

El futuro de la inteligencia artificial y la cibernética

Kevin Warwick



INTRODUCCIÓN

Durante años, la ciencia ficción miró hacia un futuro en el que los robots fueran inteligentes y los *cyborgs*, mezcla de humano y máquina, frecuentes: *Terminator*, *Matrix*, *Blade Runner* y *Yo, Robot* son buenos ejemplos de ello. No obstante, hasta la última década, cualquier estudio sobre lo que esto podría suponer en el mundo real del futuro carecía de utilidad, ya que todo se consideraba ciencia ficción y no realidad científica. Hoy, sin embargo, la ciencia no solo se ha puesto al día, sino que ha incorporado, con ayuda de algunas de las ideas lanzadas por la ciencia ficción, utilidades a las que aparentemente no lograban llegar los argumentos originales (y que en algunos casos siguen sin llegar).

Tenemos aquí en cuenta varios experimentos diferentes a la hora de enlazar la biología con la tecnología desde una óptica cibernética, que en última instancia combina sobre todo humanos y máquinas en una fusión relativamente constante. La clave es que el sistema final global es lo que importa. Cuando se trate de un cerebro, y así será probablemente, no deberá considerarse como una entidad independiente, sino más bien como parte de un sistema global que se adapta a las necesidades del sistema: la criatura cibernética, combinada en conjunto, es el sistema que nos importa.

Cada experimento se describe en su propio apartado. Aunque existe una superposición distinta entre los apartados, en cada uno se presentan reflexiones individuales. Tras una descripción de cada una de las investigaciones, se debaten algunos aspectos pertinentes del tema en

cuestión. Los puntos han surgido pensando en los avances técnicos del futuro próximo y lo que estos supondrían en la práctica. En este caso no se trata de un intento de presentar un documento concluyente, único y global; el objetivo ha sido más bien el de ampliar el alcance de investigaciones que se están llevando a cabo para ver qué es lo que realmente está en juego y tener en cuenta algunas de sus repercusiones.

CEREBROS BIOLÓGICOS EN CUERPOS DE ROBOT

Comencemos repasando un campo que en principio puede parecer totalmente desconocido para el lector. Al principio, cuando uno piensa en relacionar cerebro y tecnología, probablemente lo haga en términos de un cerebro que ya está en funcionamiento y que se ha implantado en su propio cuerpo. ¿Podría acaso ser de otro modo? Pues bien, ¡podría serlo! Estudiaremos aquí la posibilidad de una nueva fusión en la que en primer lugar se cría un cerebro y después a este se le asigna un cuerpo propio en el que funcionar.

Cuando pensamos en un robot, lo primero que nos viene a la mente es un pequeño aparato con ruedas (Bekey 2005) o tal vez una cabeza metálica más o menos parecida a la humana (Brooks 2002). Sea cual fuere su apariencia física, nos inclinamos a pensar que el robot puede ser manejado por control remoto por un humano, como en el caso de un robot capaz de desactivar bombas, que puede ser controlado por un sencillo programa informático o incluso que puede ser capaz de aprender a través de un microprocesador como un cerebro tecnológico. En todos estos casos, consideramos que el robot es simplemente una máquina. Pero ¿qué ocurre cuando el robot tiene un cerebro biológico hecho con células cerebrales (neuronas) y posiblemente incluso a base de neuronas humanas?

Las neuronas cultivadas/criadas en laboratorio, en una red de electrodos no invasivos, son una atractiva alternativa con la que establecer un nuevo modo de controlar a un robot. Una plataforma de control experimental, fundamentalmente un cuerpo de robot, podría desplazarse por una zona definida simplemente bajo el control de una red/cerebro similar y los efectos del cerebro, que controla al cuerpo, podrían atestiguar. No cabe duda de que lo más interesante reside en la perspectiva robótica, aunque también se establece un nuevo enfoque para el estudio del desarrollo del cerebro en sí, por su materialización sensorial y motora. En este sentido, podrían llevarse a cabo investigaciones orientadas hacia la formación de la memoria y las situaciones de recompensa/castigo, que son los elementos que apuntalan el funcionamiento básico de un cerebro.

Las redes de cultivo *in vitro* de células cerebrales (de 100 000 a 150 000 en la actualidad) se inician normalmente separando las neuronas obtenidas de tejido cortical de los fetos de roedores. Estas se cultivan después en cámaras especiales en las que es posible recrear condiciones medioambientales adecuadas (por ejemplo, con la temperatura apropiada) y con los nutrien-

tes adecuados. Una red de electrodos incrustada en la base de la cámara (una red de varios electrodos o MEA en sus siglas en inglés) actúa como interfaz eléctrica bidireccional hacia y desde el cultivo. Esto permite enviar señales eléctricas para estimular el cultivo y también registrar los resultados del cultivo. En estos cultivos, las neuronas se conectan, se comunican y se desarrollan espontáneamente en pocas semanas, dando respuestas útiles durante un periodo que en la actualidad se sitúa en torno a los tres meses. A todos los efectos ¡es algo así como un cerebro en conserva!

De hecho, el cerebro se cultiva en una cámara de tarros de cristal alineada con una red plana de varios electrodos (MEA), con un tamaño de 8 x 8, que puede emplearse para hacer registros en tiempo real (véase la figura 1). En este sentido, es posible separar la activación de pequeños grupos de neuronas mediante el control de las señales de salida en los electrodos. De este modo, puede formarse una imagen de la actividad global de toda la red. También es posible simular eléctricamente el cultivo a través de cualquiera de los electrodos para inducir la actividad neuronal. Una red de varios electrodos constituye por lo tanto una interfaz bidireccional con neuronas cultivadas (Chiappalone *et al.* 2007; DeMarse *et al.* 2001).

El cerebro puede entonces acoplarse a su cuerpo de robot físico (Warwick *et al.* 2010). La retroalimentación de datos sensoriales desde el robot se envía posteriormente al cultivo, cerrando así el bucle robot-cultivo. De este modo, el tratamiento de las señales puede dividirse en dos secciones distintas: a) “desde el cultivo al robot”, en donde la actividad neuronal se emplea como mecanismo en la toma de decisiones para el control del robot, y b) “desde el robot al cultivo”, que implica un proceso de medición de entradas desde el sensor del robot para estimular el cultivo.

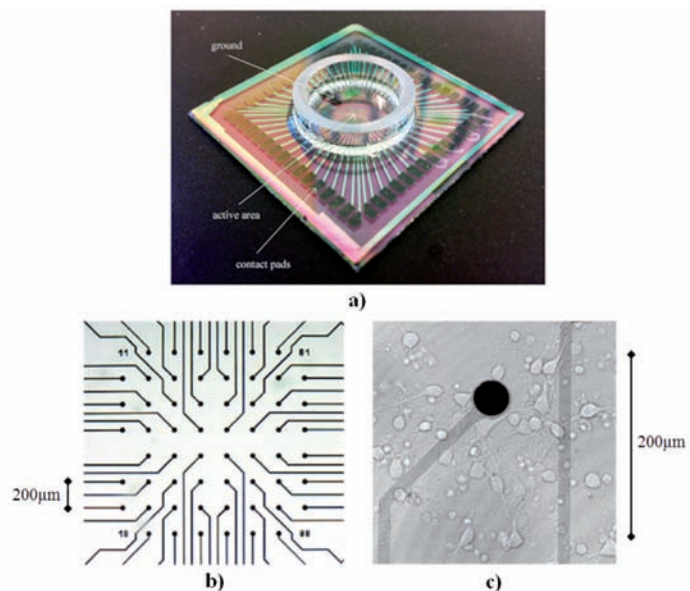


Figura 1. a) Una red de electrodos múltiples que muestra los electrodos. b) Los electrodos del centro de la pantalla en una red de electrodos múltiples vista bajo un microscopio óptico. c) Una red de electrodos múltiples con un aumento de x40, que muestra las células neuronales que se encuentran cerca de un electrodo

El número real de neuronas en un cerebro depende en primer lugar de las variaciones naturales en la densidad de la siembra del cultivo. Se muestra la actividad electromecánica del cultivo y esta se utiliza como entrada para las ruedas del robot. Mientras, las lecturas del sensor (ultrasonico) del robot se convierten en señales de estímulos recibidas por el cultivo, cerrando de este modo el bucle.

Después de que el cerebro crezca durante varios días, lo que implica la formación de algunas sinapsis neuronales elementales, se identifica un camino neuronal preexistente a través del cultivo, mediante una búsqueda de fuertes relaciones entre pares de electrodos. Estos pares se definen como aquellas combinaciones de electrodos en las que las neuronas cercanas a un electrodo responden a la estimulación del otro electrodo en el que se aplicó el estímulo durante más del 60 % del tiempo, respondiendo no más del 20 % del tiempo a la estimulación en cualquier otro electrodo.

Por consiguiente, puede trazarse un mapa de respuestas aproximadas de entrada y salida del cultivo, creando ciclos en todos los electrodos por turnos. De este modo, puede elegirse un par de electrodos de entrada/salida adecuados para obtener un camino de toma de decisiones ini-

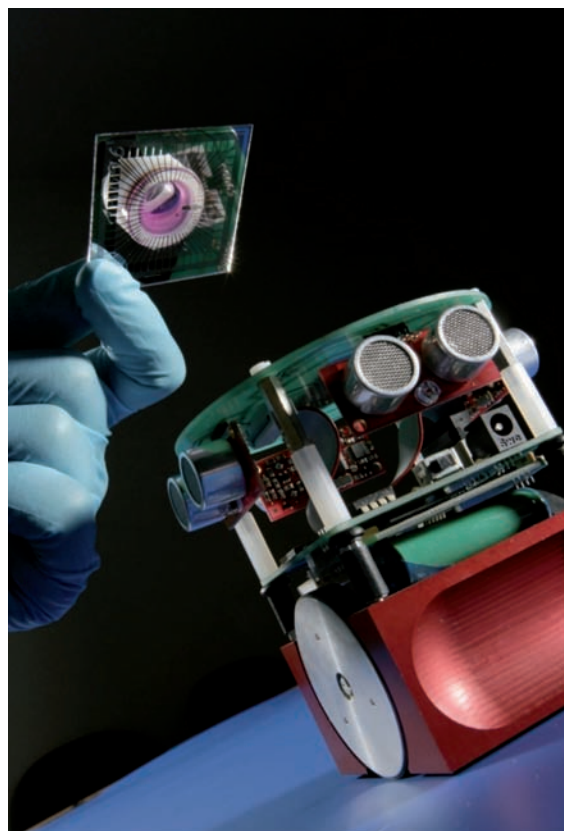


Figura 2. Cuerpo del robot sobre ruedas y cerebro juntos

cial para el robot. Esto se emplea para controlar el cuerpo del robot –por ejemplo, cuando el sensor ultrasónico está activado y deseamos que la respuesta haga que el robot gire y se aleje del objeto situado ultrasónicamente (probablemente una pared) para mantenerlo en movimiento.

En esta ocasión, a efectos de experimentación, la intención es que el robot (que puede verse en la figura 2) siga un camino recto hasta alcanzar una pared, en cuyo punto el valor del s3nar frontal disminuye por debajo de un umbral, activando un impulso estimulante. Si el electrodo de respuesta/salida registra una respuesta, el robot se gira para evitar la pared. En los experimentos realizados, el robot se gira de forma espont3nea cuando se registra actividad en el electrodo de respuesta. El resultado m3s relevante es la aparici3n de una cadena de sucesos: detecci3n de la pared-estimulaci3n-respuesta. Desde una perspectiva neurol3gica, sin duda tambi3n resulta interesante especular sobre por qu3 existe actividad en el electrodo de respuesta cuando no se ha aplicado un impulso estimulante.

Como elemento de control general para la direcci3n y evasi3n de la pared, el cerebro de cultivo actúa como única entidad en la toma de decisiones durante la realimentaci3n general: un aspecto importante que implica cambios en el camino neuronal del cultivo, en cuanto al tiempo, entre los electrodos que generan estímulos y los que los registran.

En t3rminos de investigaci3n, los estudios sobre el aprendizaje y la memoria se realizan en general en una primera fase. No obstante, con el tiempo puede verse claramente la mejora en el rendimiento del robot, en lo que respecta a su habilidad para esquivar la pared en el sentido de que los caminos neuronales que provocan una acci3n satisfactoria tienden a reforzarse, aunque el proceso se ejecute con regularidad, es decir, aprendiendo gracias a la formaci3n de un h3bito.

No obstante, el n3mero de variables implicadas es considerable y el proceso de plasticidad, que se produce durante bastante tiempo, depende (muy probablemente) de factores como la siembra inicial y el crecimiento cerca de los electrodos, as3 como de elementos medioambientales variables, como la temperatura y la humedad. El aprendizaje mediante refuerzo (recompensa de las buenas acciones y castigo de las malas), se da m3s en este momento en t3rminos investigadores de comprobaci3n.


En muchas ocasiones, el cultivo responde de acuerdo a lo previsto. En otras ocasiones no sucede as3 y en algunos casos da una seña1 motora cuando no se espera que lo haga. Pero ¿tom3 una decisi3n distinta a la que esper3bamos “intencionadamente”? No podemos afirmarlo, solo suponerlo.

En t3rminos de rob3tica, esta investigaci3n ha demostrado que un robot puede tener éxito con un cerebro biol3gico que le permite tomar sus “decisiones”. El tamaño de 100 000-150 000 neuronas se debe simplemente a las limitaciones del experimento descritas y existentes hoy d3a. De hecho, ya se est3n investigando estructuras tridimensionales. Aumentar la complejidad de dos a tres dimensiones genera aproximadamente una cifra de 30 millones de neuronas en el caso tridimensional, sin que aú n se alcancen los 100 000 millones de neuronas de un cerebro humano

perfecto, pero que en gran parte está en línea con el tamaño medio del cerebro de muchos otros animales.

Esta área de investigación se amplía rápidamente. No solo aumenta el número de neuronas, sino que se amplía el rango de entradas sensoriales que incluyen estímulos auditivos, infrarrojos e incluso visuales. Esta riqueza estimuladora tendrá sin duda efectos espectaculares en el desarrollo del cultivo. El potencial de dichos sistemas, incluido el rango de tareas que podrían realizarse, significa también que el cuerpo físico podría adoptar diferentes formas. Por ejemplo, no existe ninguna razón que impida que el cuerpo resultante sea un robot que camine sobre dos piernas, que tenga una cabeza que gire y que sea capaz de andar por un edificio.

Es obvio que comprender la actividad neuronal resulta más difícil cuanto mayor sea el tamaño del cultivo. Con una estructura tridimensional, controlar la actividad dentro de la zona central, como ocurre con un cerebro humano, se vuelve extremadamente complicado, incluso con electrodos como agujas. De hecho, los cultivos actuales de 100 000-150 000 neuronas son ya demasiado complejos para que podamos lograr entenderlos globalmente. Cuando han alcanzado tamaños con más de 30 millones de neuronas, el problema se magnifica ostensiblemente.



Consideramos que el robot es simplemente una máquina. Pero ¿qué ocurre cuando el robot tiene un cerebro biológico hecho con células cerebrales (neuronas) y posiblemente incluso a base de neuronas humanas?

Si nos adelantamos en algunos años, parece bastante posible prever que dichos cultivos se amplíen creciendo potencialmente hasta alcanzar tamaños de miles de millones de neuronas. Además, la naturaleza de las neuronas podría diversificarse. Actualmente, en los estudios se emplean por lo general neuronas de rata. No obstante, también se cultivan ya neuronas humanas, que pueden dar lugar a un robot con un cerebro neuronal humano. Si este cerebro se compusiese entonces de miles de millones de neuronas, se deberían plantear muchas preguntas sociales y éticas (Warwick 2010).

Por ejemplo, si el cerebro del robot tiene aproximadamente el mismo número de neuronas humanas que un cerebro humano normal, ¿podría/debería tener entonces los mismos derechos que las personas? Además, ¿qué ocurriría si estas criaturas tuvieran muchas más neuronas humanas que un cerebro humano normal, por ejemplo, un millón de veces más? ¿Ocuparían en el futuro el lugar de los humanos normales en la toma de decisiones? Ciertamente, esto significa que si pensamos en un futuro cercano, no tardaremos en ser testigos de robots pensantes con cerebros no muy distintos a los de los humanos.

IMPLANTES DE CEREBROS CON FINES GENERALES

Muchas son las interfaces del cerebro humano-ordenador que se utilizan con fines terapéuticos para vencer un problema médico/neurológico: un ejemplo son los electrodos de estimulación cerebral profunda que se utilizan para vencer los efectos de la enfermedad de Parkinson (Pinter *et al.* 1999; Pan *et al.* 2007; Wu *et al.* 2010). No obstante, incluso en este caso es posible considerar el uso de dicha tecnología de formas alternativas para ofrecer al individuo habilidades que el ser humano no posee normalmente, lo que supondría una mejora de la especie humana.

Con interfaces más generales de cerebro-ordenador la terapia/situación de mejora es más compleja. En algunos casos, existen personas que han sufrido una amputación o que han padecido una lesión espinal por culpa de un accidente, que podrían recuperar el control de aparatos a través de sus señales neuronales aún en funcionamiento (Donoghue *et al.* 2004). En otros casos, existen pacientes que han sufrido algún tipo de ictus y que pueden tener un control limitado a su entorno, como aquellos que padecen una enfermedad neuronal motora.

En estos casos, la situación no es sencilla pues cada individuo recibe habilidades que un ser humano normal no posee, como por ejemplo la habilidad de mover un cursor por la pantalla del ordenador utilizando únicamente señales neuronales (Kennedy *et al.* 2004). El mismo dilema se presenta en las personas ciegas que pueden recibir incorporaciones extrasensoriales, como por ejemplo el sónar (un sentido parecido al de los murciélagos). Esto no soluciona su ceguera, aunque les permite hacer uso de un sentido alternativo.

Algunas de las investigaciones humanas más sorprendentes hasta la fecha han sido llevadas a cabo utilizando redes de microelectrodos, como se muestra en la figura 3. Los electrodos individuales miden 1,5 mm y se estrechan hasta un diámetro en punta inferior a los 90 micrones. Aunque se ha realizado una serie de ensayos cuyo objeto de estudio no ha sido el ser humano, en la actualidad los ensayos con humanos se limitan a dos grupos de estudios. En el segundo de estos grupos, la red se utiliza en particular únicamente a modo de grabación y más recientemente como parte de lo que se denomina sistema “BrainGate”.

Básicamente, se ha descodificado la actividad eléctrica de unas cuantas neuronas controladas por electrodos de la red, para convertirla en una señal capaz de dirigir el movimiento del cursor. Esto permitió a un individuo colocar un cursor en la pantalla de un ordenador con la ayuda de señales neuronales de control combinadas con una retroalimentación visual. La misma técnica se empleó más tarde para permitir que el individuo receptor, que sufría una parálisis, manejase un brazo de robot (Hochberg *et al.* 2006). No obstante, el primer uso de la red de microelectrodos (que se muestra en la figura 3) tiene repercusiones considerablemente mayores que amplían las habilidades del receptor humano.

Derivar una señal de orden fiable desde un conjunto de señales neuronales controladas no es necesariamente una tarea sencilla, debido en parte a la complejidad de las señales registradas

y en parte a las limitaciones en tiempo real en el manejo de los datos. En algunos casos, no obstante, puede ser relativamente fácil buscar y obtener una respuesta del sistema ante ciertas señales neuronales anticipadas, especialmente cuando el individuo ha entrenado mucho con el sistema. De hecho, la forma, la magnitud y la onda con respecto al tiempo de la señal neuronal, son considerablemente distintas a otras señales aparentes (tales como el ruido) y esto incrementa un poco el grado de dificultad.

La interfaz a través de la que un usuario interactúa con la tecnología proporciona una línea divisoria entre lo que el usuario quiere que la máquina haga y lo que la máquina hace en realidad. Esta división impone una carga cognitiva al individuo en cuestión proporcional a las dificultades que experimenta. La cuestión principal es interrelacionar los canales motores y sensoriales humanos con la tecnología de una forma fiable, duradera, efectiva y bidireccional. Una solución que pasa por evitar este embotellamiento sensomotriz general interactuando directamente con el sistema nervioso humano.

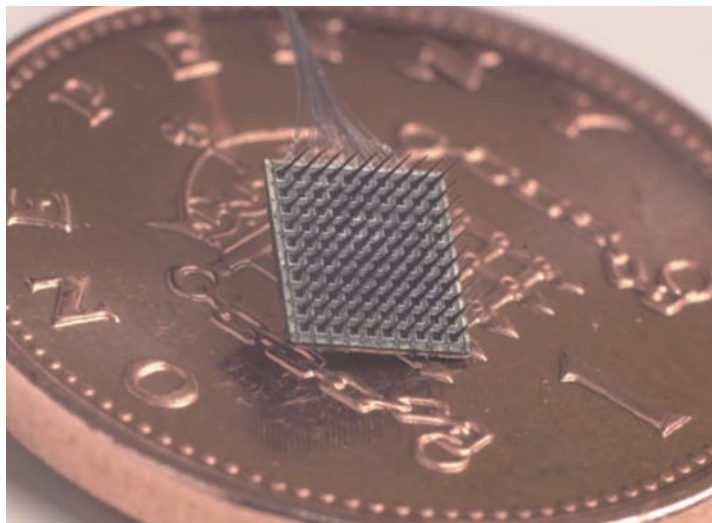


Figura 3. Red de 100 electrodos, con microelectrodos de 4 x 4 mm, mostrada sobre una moneda de un penique para comparar su tamaño

Un individuo que se conecte así podría beneficiarse de algunas de las ventajas que tienen las máquinas o la inteligencia artificial, como por ejemplo habilidades matemáticas combinadas con una gran rapidez y una extrema precisión en el cálculo mental, o contar con una base de conocimientos a modo de internet de máxima velocidad, casi infinita y una memoria precisa a largo plazo. Además, es de sobra conocido que los humanos solo tenemos cinco sentidos, que separamos, mientras que las máquinas ofrecen una visión del mundo que incorpora señales infrarrojas, ultravioletas y ultrasónicas, por mencionar solo algunas.

Los humanos tienen también la limitación de poder visualizar y entender solamente el mundo que los rodea a través de una percepción tridimensional, mientras que los ordenadores tienen sobradas capacidades para manejar cientos de dimensiones. Tal vez lo más importante sea el medio de comunicación humano, que básicamente transmite una señal electroquímica compleja de un cerebro a otro a través de un intermediario, a menudo un medio (por ejemplo, el habla) que tiene una mecánica lenta y es propenso a fallar, y que es además muy pobre en cuanto a velocidad, potencia y precisión. Está claro que conectar un cerebro humano, a través de un implante, con una red informática podría ampliar a largo plazo las claras ventajas de la inteligencia de las máquinas, así como las habilidades comunicativas y sensoriales del individuo implantado.

Muchas son las interfaces del cerebro humano-ordenador que se utilizan con fines terapéuticos para vencer un problema médico/neurológico: un ejemplo son los electrodos de estimulación cerebral profunda en la enfermedad de Parkinson. Es posible considerar el uso de dicha tecnología para ofrecer al individuo habilidades que no posee, lo que supondría una mejora de la especie humana

Como paso previo hacia un concepto más amplio de la interacción cerebro-ordenador, la red de microelectrodos (que se muestra en la figura 3) se implantó en las fibras del nervio mediano de un individuo sano (el autor) durante dos horas de neurocirugía, para probar la funcionalidad bidireccional de una serie de experimentos. Una corriente de estimulación aplicada directamente en el sistema nervioso permitió enviar información al usuario mientras se decodificaban las señales de control de la actividad neuronal en la región de los electrodos (Warwick *et al.* 2003). De este modo, se concluyeron con éxito una serie de ensayos (Warwick *et al.* 2004), que en concreto fueron los siguientes:

1. Se implantó con éxito una entrada extrasensorial (ultrasónica). Véase la figura 4 con el experimento.
2. Se logró un mayor control de una mano robótica a través de internet, con retroalimentación desde las yemas de los dedos robóticos, convertida en estimulación neuronal para dar una sensación de fuerza aplicada a un objeto (esto se logró en la Universidad de Columbia, Nueva York, Estados Unidos y en la Universidad de Reading, en el Reino Unido).
3. Se desarrolló una forma primitiva de comunicación telegráfica directa entre los sistemas nerviosos de dos humanos con la colaboración de la mujer del autor (Warwick *et al.* 2004).
4. Se condujo con éxito una silla de ruedas a través de señales neuronales.
5. Se cambió el color de joyas como consecuencia de las señales neuronales, al igual que el comportamiento de un grupo de pequeños robots.

En la mayoría de los casos anteriores, aunque no en todos, el ensayo podía considerarse útil por razones puramente terapéuticas; así, por ejemplo, el sentido ultrasónico podría ser útil para un individuo ciego; la comunicación telegráfica podría ser de gran utilidad para aquellas personas con ciertas formas de discapacidad de las neuronas motoras.

No obstante, cada ensayo puede considerarse también como una posible forma de mejoramiento más allá de las normas humanas de un individuo. De hecho, el autor no necesitaba el implante con fines médicos para solucionar un problema, sino que el experimento se realizó únicamente para realizar una exploración científica. Se plantea por consiguiente la siguiente pregunta: ¿hasta dónde deberíamos llegar? Sin duda, el mejoramiento a través de interfaces cerebro-ordenador nos ofrece muchas oportunidades tecnológicas e intelectuales, aunque suscita, no obstante, un montón de distintas consideraciones éticas que necesitan una respuesta directa.

Cuando en experimentos del tipo descrito participan individuos sanos que no necesitan reparación alguna que exija una interfaz de cerebro-ordenador, sino que más bien el objetivo principal del



Figura 4. Experimento con un sensor ultrasónico

implante es el de mejorar las habilidades de un individuo, es difícil argumentar que la operación tenga fines terapéuticos. De hecho, con este experimento, el autor deseaba investigar en concreto las posibilidades reales y prácticas de mejoramiento (Warwick *et al.* 2003; Warwick *et al.* 2004).

Los ensayos demuestran claramente que la entrada extrasensorial es una posibilidad práctica que podría tener éxito; no obstante, mejorar la memoria, pensar en varias dimensiones y comunicarse a través del pensamiento son solo otras ventajas que presentan un marcado potencial y que, siendo realistas, pueden investigarse en cierta medida. Para ser claro, todas estas cosas parecen posibles (al menos desde un punto de vista técnico) para el ser humano en general.

Llegados a este punto, obtener vía libre para un implante en cada caso (al menos en el Reino Unido) requiere la aprobación ética de la autoridad local responsable del hospital en el que se lleve a cabo el procedimiento y, si se considera oportuno para el proceso de una investigación, también se necesita la aprobación del comité de investigación y de ética del centro implicado. Todo ello independientemente de la aprobación de la Agencia de Aparatos cuando la pieza de un equipo, como por ejemplo un implante, deba emplearse en varios individuos. Curiosamente, no se necesita la autorización ética de ningún organismo social, así que el asunto tiene su complejidad.

Sin embargo, si miramos hacia el futuro, parece bastante probable que las influencias comerciales, unidas al deseo social de comunicarse de forma más efectiva y percibir el mundo de una forma más rica, nos conduzcan a un deseo mercantil. Por último, la comunicación directa de cerebro a cerebro, utilizando posiblemente implantes del tipo que se ha descrito, se presenta como una propuesta tremendamente fascinante, que tiene como resultado la transmisión de pensamientos, emociones, sentimientos, colores e ideas básicas directamente de un cerebro a otro. Aunque se suscitan muchas preguntas sobre su funcionamiento en la práctica, seríamos claramente insensatos si no siguiésemos intentándolo.

Pero nos topamos con grandes preguntas. Dado que la comunicación es una parte tan importante de la inteligencia humana, es probable que todo individuo con un implante de este tipo experimente necesariamente un aumento considerable de su inteligencia. Esto ampliaría claramente el rendimiento intelectual en la sociedad, superando la parte implantada a la parte que decida permanecer en un plano humano (sin chip). ¿Traería esto consigo una división digital, una situación “nosotros y ellos”, dejando a los humanos normales bastante por detrás en la carrera de la evolución? Bueno, esto es algo que ya se verá.

INTERFACES NO INVASIVAS CEREBRO-ORDENADOR

Para algunos, las interfaces cerebro-ordenador del tipo descrito tal vez se encuentran demasiado lejos, sobre todo si representan la manipulación directa del cerebro. Como resultado, la interfaz cerebro-ordenador más estudiada hasta la fecha es la que incorpora la electroencefalografía y ello

se debe a diversos factores. En primer lugar, no es invasiva; por tanto, no se necesita recurrir a la cirugía, con los consiguientes riesgos de infección o los efectos colaterales que conlleva. Por ello, los requisitos de aprobación ética son significativamente menores y dado que los electrodos se obtienen con facilidad, los costes son mucho menores que con otros métodos.

La electroencefalografía es también un mecanismo portátil, con electrodos que simplemente se colocan fuera de la cabeza de la persona y puede hacerse en un laboratorio sin requerirse demasiada formación, ni conocimientos de fondo y que además puede hacerse en poco tiempo, es decir, puede hacerse donde y cuando se necesite.

El número de electrodos que realmente se utiliza en los experimentos puede variar de un pequeño número (de 4 a 6) a unos 26-30 (lo que suele ser lo más común) o incluso superar los 100 en aquellos casos en los que se pretenda lograr una mejor resolución. Como resultado, pueden acoplarse electrodos individuales en posiciones específicas o utilizar un gorro en el que los electrodos se encuentren ya precolocados. El cuidado y la gestión de los electrodos varía también considerablemente de experimento a experimento: existen casos en los que los electrodos se colocan en seco y encima del cabello, y otros casos en los que se debe afeitar el cabello y utilizar geles para mejorar el contacto.

Algunos estudios se aplican más al ámbito médico, por ejemplo, para estudiar el inicio de ataques epilépticos en pacientes; no obstante, el rango de aplicaciones es diverso. Algunos de los más típicos o interesantes se incluyen aquí para dar una idea de las posibilidades y del trabajo continuo, en vez de ofrecer una perspectiva general completa de la situación actual.

Son típicos aquellos en los que los sujetos aprenden a manejar un cursor de ordenador de esta forma (Trejo *et al.* 2006). Debemos puntualizar que incluso tras periodos importantes de entrenamiento (varios meses), el proceso es lento y requiere, por lo general, varios intentos antes de lograrlo. En la misma línea, existen numerosos grupos de investigación que han usado los registros de la electroencefalografía para encender luces, controlar pequeños vehículos robóticos y controlar otras señales análogas (Millan *et al.* 2004; Tanaka *et al.* 2005). Un método similar, con un casquete de 64 electrodos, se ha utilizado para permitir que un tetrapléjico realice algunas tareas, movimientos sencillos con la mano mediante la estimulación a través de controladores de neuronas integrados (Kumar 2008).

También es posible considerar la unicidad de las señales específicas de la electroencefalografía, en particular y potencialmente, como respuesta a los estímulos asociados, como una herramienta de identificación (Palaniappan 2008). Mientras tanto, se han obtenido interesantes resultados usando la electroencefalografía, para identificar los golpecitos que se dan intencionadamente con los dedos, para determinar si los golpecitos se daban o no, consiguiendo una gran precisión. Esto es útil como método de interfaz rápida y también como posible método protésico (Daly *et al.* 2011).

Aunque la experimentación con electroencefalografía sea relativamente barata, portátil y fácil de realizar, sigue siendo difícil vislumbrar un uso generalizado de la misma en el futuro. Sin duda,

tiene un papel que representar en la valoración externa de algunos aspectos del funcionamiento cerebral con fines médicos (por ejemplo, la valoración de los ataques epilépticos y la actividad neuronal durante trastornos compulsivos obsesivos) y seguramente el uso de estas aplicaciones irá en aumento con el tiempo. No obstante, la posibilidad de que las personas normales se desplacen con un casco de electrodos puesto, sin necesidad de un volante, no resulta del todo realista; antes será más probable que veamos vehículos completamente autónomos en las carreteras.

CONCLUSIÓN

En este capítulo hemos hecho un repaso de los distintos mejoramientos cibernéticos y de los tipos de inteligencia artificial resultantes. Se han mencionado experimentos concretos para indicar cómo podrían fusionarse en este sentido los humanos o los animales, en su caso, con la tecnología, lo que arroja una plétora de consideraciones sociales y éticas, además de muchas otras consideraciones técnicas. Se han facilitado en cada caso informes sobre la experimentación práctica real, en lugar de limitarnos a mencionar únicamente algunos conceptos teóricos.

En particular, que los robots se traten con cerebros biológicos tal vez podría llevar finalmente a cerebros humanos funcionando en un cuerpo robot. Por tanto, ¿deberían tener estos robots algún tipo de derechos? Y lo que es más importante llegados a este punto, ¿deberían proseguir las investigaciones pese a todo? No falta mucho para que también tengamos robots con cerebros creados con neuronas humanas que tengan el mismo tipo de habilidades que los cerebros humanos.

En el apartado sobre implantes de cerebros invasivos con fines generales y también el uso de implantes para terapias, repasamos el potencial del mejoramiento humano. La ciencia ya ha logrado la entrada extrasensorial, que amplía el sistema nervioso a través de internet y una forma básica de comunicación del pensamiento, de modo que sería posible que muchos humanos se actualicen y sean ellos mismos los que se conviertan parcialmente en máquinas. Esto podría dar lugar a que los humanos normales (sin implantes) se queden en el camino. Si pudiese usted mejorar, ¿le supondría algún problema el hacerlo?

Más adelante nos encontramos con el apartado sobre los electrodos más estándares de la electroencefalografía, que se colocan externamente y por tanto se encuentran con mucha mayor frecuencia. Por desgracia, la resolución de dichos electrodos es relativamente pobre y de hecho, solamente son útiles para controlar y no para estimular, de ahí que los temas que giran en torno a dicha posibilidad sean limitados de alguna manera. Ciertamente, podemos usarlos para aprender un poco más sobre el funcionamiento del cerebro, pero es difícil que veamos cómo se utilizan en operaciones de control de gran sensibilidad en las que varios millones de electrodos introducen la información transmitida a través de cada electrodo.

Además de revisar los procedimientos implicados, el objetivo de este artículo ha sido también repasar algunos de los aspectos éticos y sociales más destacados. Se han evaluado además algunos aspectos tecnológicos con el fin de abrir una ventana en la dirección que llevan los últimos avances. En cada caso, no obstante, se ha planteado un punto de apoyo firme sobre la tecnología práctica y real y sobre las situaciones realistas en el futuro, en lugar de adelantar simples ideas especulativas. En cierto sentido, la idea general es abrirse paso hacia la reflexión para que los futuros experimentos de los que seremos testigos puedan guiarse a través de una correcta realimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bekey, G. 2005. *Autonomous Robots: from Biological Inspiration to Implementation and Control*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Brooks, R. A. 2002. *Robot: the Future of Flesh and Machines*. Londres: Penguin.
- Chiappalone, M. et al. 2007. "Network dynamics and synchronous activity in cultured cortical neurons". *International Journal of Neural Systems* 17: 87-103.
- Daly, I., S. Nasuto y K. Warwick. 2011. "Single Tap Identification for Fast BCI Control", *Cognitive Neurodynamics* 5 (1): 21-30.
- DeMarse, T. et al. 2001. "The Neurally Controlled Animat: Biological Brains Acting with Simulated Bodies", *Autonomous Robots* 11: 305-310.
- Donoghue, J. et al. 2004. "Development of a Neuromotor Prosthesis for Humans", *Advances in Clinical Neurophysiology, Supplements to Clinical Neurophysiology* 57: 588-602.
- Hochberg, L. et al. 2006. "Neuronal Ensemble Control of Prosthetic Devices by a Human with Tetraplegia", *Nature* 442: 164-171.
- Kennedy, P. et al. 2004. "Using Human Extra-Cortical Local Field Potentials to Control a Switch", *Journal of Neural Engineering* 1 (2): 72-77.
- Kumar, N. 2008. "Brain Computer Interface", *Informe de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Cochín* (agosto).
- Millan, J. et al. 2004. "Non-Invasive Brain-Actuated Control of a Mobile Robot by Human EEG", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 51 (6): 1026-1033.
- Palaniappan, R. 2008. "Two-Stage Biometric Authentication Method using Thought Activity Brain Waves", *International Journal of Neural Systems* 18 (1): 59-66.
- Pan, S. et al. 2007. "Prediction of Parkinson's Disease Tremor Onset with Artificial Neural Networks", IASTED conference papers, *Artificial Intelligence and Applications*. Innsbruck (14-16 febrero): 341-345.
- Pinter, M. et al. 1999. "Does deep brain stimulation of the nucleus ventralis intermedius affect postural control and locomotion in Parkinson's disease?", *Movement Disorders* 14 (6): 958-963.
- Tanaka, K., K. Matsunaga y H. Wang. 2005. "Electroencephalogram-Based Control of an Electric Wheelchair", *IEEE Transactions on Robotics* 21 (4): 762-766.
- Trejo, L., R. Rosipal y B. Matthews. 2006. "Brain-computer interfaces for 1-D and 2-D cursor control: designs using volitional control of the EEG spectrum or steady-state visual evoked potentials", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 14 (2): 225-229.
- Warwick, K. 2010. "Implications and Consequences of Robots with Biological Brains", *Ethics and Information Technology* 12 (3): 223-234.
- Warwick, K. et al. 2003. "The application of implant technology for cybernetic systems", *Archives of Neurology* 60 (10): 1369-1373.
- Warwick, K. et al. 2004. "Thought Communication and Control: A First Step Using Radiotelegraphy", *IEE Proceedings on Communications* 151 (3): 185-189.
- Warwick, K. et al. 2011. "Experiments with an In-Vitro Robot Brain", *Computing with Instinct: Rediscovering Artificial Intelligence*, editado por Yang Cai. Nueva York: Springer, 1-15.
- Wu, D. et al. 2010. "Prediction of Parkinson's Disease Tremor Onset using Radial Basis Function Neural Networks", *Expert Systems with Applications* 37 (4): 2923-2928.

EN ESTE CAPÍTULO SE REPASAN ALGUNOS DE LOS AVANCES QUE SIN DUDA TENDRÁN UN IMPACTO ESPECTACULAR EN EL FUTURO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA CIBERNÉTICA. EN PARTICULAR, SE CENTRA EN LAS INTERFACES ENTRE TECNOLOGÍA Y CEREBRO HUMANO. ÉSTO SE HA HECHO DESDE UNA PERSPECTIVA PRÁCTICA, TENIENDO EN MENTE LAS POSIBLES APLICACIONES; NO OBSTANTE, SE HAN TENIDO EN CUENTA TAMBIÉN ALGUNAS DE SUS IMPLICACIONES. SE DEBATEN EN CONCRETO LOS RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS POR LO QUE REPRESENTAN, ASÍ COMO SUS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN. EL ARTÍCULO ESTÁ ESCRITO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA EXPERIMENTACIÓN CIENTÍFICA Y PLANTEA OPORTUNIDADES REALISTAS PARA EL FUTURO, SIN LIMITARSE ÚNICAMENTE A LLEGAR A CONCLUSIONES. LOS IMPLANTES EN EL CUERPO HUMANO Y LA FUSIÓN ENTRE BIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA SON ELEMENTOS IMPORTANTES Y SU DESARROLLO SUPONDRÁ EN EL FUTURO UN INTERESANTE DEBATE ÉTICO.

CURRÍCULO

Kevin Warwick

Universidad de Reading

Kevin Warwick nació en Coventry (Reino Unido) y a los dieciséis años entró a formar parte de British Telecom. Seis años después obtuvo su primer título en la Universidad de Aston, más tarde se doctoró, y trabajó como investigador en el Imperial College de Londres. Ha desarrollado su actividad en las universidades de Oxford, Newcastle y Warwick antes de trasladarse a Reading, donde es profesor de Cibernética e investiga sobre inteligencia artificial, robótica y *cyborgs*.

Ha recibido doctorados superiores del Imperial College y de la Academia de las Ciencias checa en Praga, así como otros seis doctorados honorarios. Ha sido galardonado con el Premio The Future of Health Technology del MIT, es miembro honorario de la Academia de las Ciencias de San Petersburgo y ha reci-

do la Medalla Mountbatten y la Medalla Ellison-Cliffe de la Sociedad Real de Medicina.

Warwick ha inventado un estimulador cerebral para contrarrestar los efectos de la enfermedad de Parkinson que puede pronosticar los temblores y aplicar corriente para detenerlos antes de que comiencen. Otro de sus proyectos conlleva el uso de neuronas biológicas para dirigir robots. Es conocido por sus experimentos pioneros entre los que se encuentra un implante que conecta el sistema nervioso directamente con un ordenador para mejorar la movilidad de las personas discapacitadas. Warwick ha logrado la primera entrada extrasensorial en un ser humano y la primera comunicación telepática puramente electrónica entre los sistemas nerviosos de dos individuos.