



INVESTIGA I+D+i 2017/2018

GUÍA ESPECÍFICA DE TRABAJO SOBRE "PRÓTESIS CIBERNÉTICAS"

Texto de D. Óscar Herreras

Octubre de 2017

[Introducción](#)

Quien más, quien menos, todos hemos estado interesados en la posibilidad de interferir en el medio que nos rodea mediante el pensamiento, unos por su afición al cine de ficción, otros por su actividad profesional. Hace apenas tres décadas, todo quedaba en la parte lúdica, pero hoy, lo que antaño parecía una ficción inalcanzable ya ha sido alcanzado por la realidad. La investigación de los mecanismos cerebrales que controlan los procesos cognitivos, y motores por un lado, y el avance vertiginoso de diversas tecnologías por otro, ha puesto en la rampa de lanzamiento al que sin duda será el campo de investigación y desarrollo más intrigante y con mayor impacto sobre la vida humana en un futuro cercano.

El interés por el desarrollo de interfaces cerebro-máquina es máximo: prótesis artificiales de audición, exoesqueletos operados por interfaces que leen la actividad eléctrica del cerebro, incluso retinas artificiales. Una persona se puede comunicar con un ordenador u otro dispositivo electrónico utilizando exclusivamente el pensamiento, y por ello, y más allá de la aplicación clínica, las oportunidades sociales, culturales e

industriales comienzan a abrir caminos cuyo límite es aún desconocido. No queda, pues, lejos el día en que podamos llevar una interfaz implantada al estilo de Yonduen “Los guardianes de la galaxia” como quien lleva un simple marcapasos.

Prótesis e interfaces

Una prótesis es cualquier dispositivo artificial que se implanta en el cuerpo para desarrollar una función perdida o deficiente en un órgano natural. En el contexto que nos ocupa, el de las prótesis cibernéticas, el control de esta función se realiza mediante dispositivos mecánicos o electrónicos y, en general, requiere o utiliza sistemas de retro-alimentación (feed-back). El feedback sirve para adaptar el funcionamiento de la prótesis a las necesidades del individuo, que son extremadamente cambiantes y requieren un ajuste continuado dependiendo de la situación. Pongamos por ejemplo la locomoción. El aparato locomotor se utiliza de distintas maneras dependiendo del objetivo, de las condiciones del individuo y del entorno. No utilizamos las piernas de igual manera para andar que para correr o para subir escaleras. Estos ajustes, en un individuo sano, los realiza el sistema nervioso, que regula el tipo de movimiento coordinando un gran número de músculos con precisión gracias a la información que de manera continua está recibiendo del entorno y de la propia eficacia con que está ejecutando la acción deseada, todo gracias al feedback proporcionado por la información sensorial.

El sistema nervioso de un organismo vivo es el encargado de obtener información tanto propia (propioceptiva, de su propio estado y condición) como del entorno, de analizarla, elaborarla, guardarla y, en el momento oportuno, generar comandos motores mediante los que el individuo responde o se adapta a las situaciones cambiantes. Cada una de estas funciones involucra la actividad de subsistemas de circuitos nerviosos o redes neuronales. Una parte esencial, la más primitiva, es la encargada de la captación de información del medio ambiente y del propio cuerpo. La información en su medio original está en forma de variables físicas, luz, color, humedad, presión, concentración de moléculas, etc, con la que se genera una imagen virtual del exterior y de uno mismo. La parte del sistema nervioso que capta estas

variables se puede definir como una interfaz, y está formada por un conjunto de células nerviosas muy especializadas que residen en los órganos sensoriales (ojos, piel, nariz), miden estas variables y generan series de impulsos eléctricos en diferentes combinaciones. Son células transductoras, esto es, células que transforman un tipo de energía en otro mediante unos códigos o funciones de transferencia. En esencia, esto define una interfaz. En el mundo de las aplicaciones, las interfaces tienen un rol similar, son dispositivos que transforman un tipo de señal en otro con el objetivo de hacerla comprensible dentro de otro sistema diferente al de partida. Una pantalla de ordenador, un micrófono, la Wii, son interfaces que transforman diferentes señales (luz, ondas sonoras, posición y movimiento) desde o hacia el sistema nervioso.

Interfaces cerebro-máquina

Hoy día, de manera controlada y bajo la estricta supervisión de las variables ambientales y fisiológicas del individuo, ya es posible establecer una comunicación más o menos directa entre el mundo físico y el cerebro utilizando dispositivos mecánicos o electrónicos, es decir, sustituyendo la función de los transductores naturales. Para ello se necesitan interfaces cerebro-máquina, también conocidas como interfaces cerebro-ordenador o BCI (brain-computer interface), por ser estos los más comúnmente utilizados aprovechando su gran facilidad para, a su vez, interactuar con otra persona, por ejemplo, un programador o controlador, o ejecutar un comando sobre un actuador externo.

En terminología informática, las principales salidas que genera el sistema nervioso son de tipo neuromuscular u hormonal. En última instancia, todas las salidas se pueden transformar en movimiento (sistema locomotor para caminar, musculatura facial para hablar, etc). Un BCI provee al sistema nervioso de nuevos tipos de salida de origen artificial. En palabras de un conocido investigador del campo (J. Wolpaw), una BCI es un sistema que mide la actividad del sistema nervioso y la convierte en una salida artificial que reemplaza, restaura, aumenta, suplementa o mejora las salidas naturales del sistema nervioso y en consecuencia cambia sus interacciones con el medio externo o interno.

Cómo funcionan

Distinguimos varias etapas en el uso de un BCI, desde que se lee la actividad neural hasta que se genera una salida hacia un actuador o dispositivo externo. En la primera etapa se procede a la lectura de la actividad nerviosa, y a la extracción de información relevante. Esta información es esencial y debe contener características específicas que implican de una u otra manera la intención del usuario que porta el BCI. Recordemos que la actividad cerebral tiene, entre otras funciones, la de enviar comandos a los órganos efectores del cuerpo. Se pretende, por tanto, reconocer señales cerebrales que indiquen, por ejemplo, que el usuario desea moverse. En general, este procesamiento es llevado a cabo por un ordenador o microordenador dedicado al reconocimiento de patrones temporales específicos del potencial eléctrico cerebral (ondas, ritmos, etc). Una vez detectadas las señales de interés que implican la intención del usuario, se han de traducir a comandos entendibles por el actuador o dispositivo que ejecuta la acción deseada en el medio físico o en el propio cuerpo del sujeto.

Tipos de interfaces cerebro-ordenador

Atendiendo a la colocación de las interfaces, se pueden clasificar en invasivas o no invasivas. Las primeras se implantan directamente en el parénquima cerebral y requieren complejas operaciones de neurocirugía intracerebral. Este tipo de interfaces proporciona una gran calidad en cuanto a la lectura de la actividad cerebral, pues se encuentran en el propio sitio de generación en el interior del cerebro. Su principal desventaja, es la escasa bio-compatibilidad. El organismo tiene mecanismos muy eficaces para reconocer lo que es propio de lo que no, y es extraordinariamente hostil para lo extraño. El sistema inmune se activa e intenta descomponer y metabolizar los materiales extraños, bien sean de tipo orgánico o inorgánico, y cuando no puede, lo aísla, generando capas envolventes de células gliales con las que intenta mantener la actividad neuronal de las regiones cercanas con sus funciones normales. Es un mecanismo desarrollado para situaciones de daño cerebral causado por accidente (p.ej. un ictus, o un traumatismo cráneo-encefálico) en los que es necesario reabsorber

una parte del tejido muerto o aislar una región con actividad anormal o potencialmente peligrosa (ej. un tumor), pero que actúa igualmente sobre cuerpos extraños. Los materiales implantados son atacados por el medio ácido, se degradan y pierden su función. Este es uno de los problemas que se investiga con mayor intensidad, pues de su solución depende la viabilidad de las interfaces intracerebrales. Hemos de tener en cuenta que una interfaz debe ser muy duradera y en lo posible permanente, ya que la actividad cerebral difiere en desplazamientos microscópicos y el reemplazo por una sonda nueva difícilmente conseguirá la misma colocación. En consecuencia la actividad será diferente y los parámetros que se han extraído de la primera no serán válidos en las siguientes, lo que implica un re-aprendizaje o recalibración del sistema completo que puede tener distinta eficacia sobre el control del actuador. A este tipo de interfaces pertenecen aquellas que utilizan electrodos intracerebrales entre sus componentes.

Otro tipo de interfaces, denominadas semi-invasivas requieren una cirugía menor y, en general presentan menos problemas de bio-compatibilidad. Los dispositivos lectores de actividad son electrodos que registran la actividad de la corteza y se colocan bajo el hueso craneal, sobre la membrana duramadre que protege el cerebro. La actividad que registran se denomina electrocortigrama (ECoG), del que se extraen fluctuaciones características mediante algoritmos matemáticos que informan de la activación de una determinada región de la corteza cerebral.

Finalmente, como interfaces no invasivas se encuentran aquellas que utilizan electrodos externos, sobre la piel del cráneo (electroencefalografía, o EEG), o bien técnicas de imagen cerebral como la resonancia magnética funcional (fMRI) o la magnetoencefalografía. Las dos últimas requieren dispositivos de gran tamaño y enormemente caros y su uso está restringido a situaciones muy concretas, en general relacionadas con el diagnóstico clínico de patología cerebral.

Aplicaciones presentes de las BCI

Una BCI dota al usuario en el que se registra la actividad cerebral de nuevas capacidades y pueden tener diferentes aplicaciones controlando una enorme variedad de dispositivos físicos o virtuales. Según el dispositivo controlado por la interfaz podemos manejar desde avatares en un videojuego, robots como un brazo articulado para manipular objetos, robots humanoides, generadores de texto como un deletreador, drones, exoesqueletos para ayudar a la movilidad de personas, prótesis en el caso de pacientes con miembros amputados, o electrodos para estimular una región cerebral con el fin de ayudar a moverse a pacientes que han perdido esta capacidad por cualquier enfermedad (por ej., Parkinson).

En general, se puede manejar cualquier tipo de software o hardware para el que se desarrolle una interfaz válida de control. Por ello, las aplicaciones que podemos encontrar en la actualidad, tanto en el medio comercial, como en el campo de la investigación, se dirigen a reemplazar, restablecer, aumentar, complementar o mejorar las capacidades naturales del sistema nervioso.

Aplicaciones futuras

Gracias a los avances tecnológicos, hoy se puede realizar el diagnóstico de algunas patologías cerebrales mediante el EEG para discriminar actividad normal y anómala, e incluso se tratan otras mediante electroestimulación de núcleos cerebrales con electrodos implantados en el cerebro. Modular la actividad cerebral se ha convertido en un objetivo prioritario para la Neurorehabilitación. Se busca, no sólo reconducir la actividad cerebral anómala, sino re-activar circuitos dañados, e incluso, rediseñarlos mediante actividad impuesta por dispositivos externos, tales como potentes imanes. Las interfaces cerebrales permitirán leer la actividad cerebral, analizarla, catalogarla y actuar sobre ella para corregirla cuando fuere necesario. Hoy día ya se utilizan dispositivos comerciales que contienen imanes para paliar el dolor asociado al ataque de migraña. ¿Será la estimulación magnética el sustituto de la “aspirina”? Es sin duda uno de los campos más prometedores.

La ficción nos muestra una gran variedad de posibilidades mediadas por BCIs. Las prótesis pueden sustituirse por dispositivos muy variados que actúan sobre el entorno. De hecho, la Ciencia ya ha conseguido materializar algunas de esas fantasías cuya mera posibilidad ha intrigado e incluso atemorizado durante siglos a personas de toda condición, como son la telepatía y otros inexistentes poderes psíquicos. Cualquier interacción con el medio exterior requiere una transducción de la actividad cerebral a otro tipo de energía. El cerebro no tiene tal capacidad, pero una interfaz BCI sí, y la ejecuta con la misma facilidad que un diminuto control remoto es capaz de encender la televisión, lanzar un misil, o abrir la puerta del coche. La miniaturización electrónica y el dominio de las ondas electromagnéticas han hecho posible lo que hasta hace pocos años era materia de mofa para unos y de inquietud para otros.

Mediante interfaces ya ha sido posible hacer que dos cerebros de rata se comuniquen. ¿Cuánto tardaremos en hacerlo entre cerebros humanos? ¿O en utilizar extensiones electrónicas del cerebro para aumentar nuestra capacidad? ¿Utilizaremos interfaces cerebrales para controlarlos temidos dispositivos que utilizan inteligencia artificial? ¿Dónde se situarán los límites de lo que es un individuo en un futuro próximo?

Fuentes de información

- Brain-Computer interfaces. Principles and practice. J.R.Wolpaw. Oxford Univ Press
- <https://www.youtube.com/watch?v=aHRJQjJcMNw>
- <https://www.slideshare.net/vijayrocks123/brain-computerinterfaces-ppt>
- https://www.slideshare.net/asertseminar/bci-32898921?next_slideshow=1