

EN  
En la estimulación cerebral profunda se implantan electrodos bajo el cráneo para que modulen la actividad eléctrica anormal en personas con trastornos como el párkinson. Deben colocarse con la máxima precisión para evitar efectos indeseados.

# Tecnología conectada a las neuronas

Cuando el órgano más complejo del cuerpo humano no funciona bien, los avances tecnológicos pueden echarle una mano.

Los implantes cocleares abrieron el camino a un amplio abanico de neuroimplantes que ayudan a recuperar la visión, tratar el párkinson o mitigar algunos trastornos mentales.

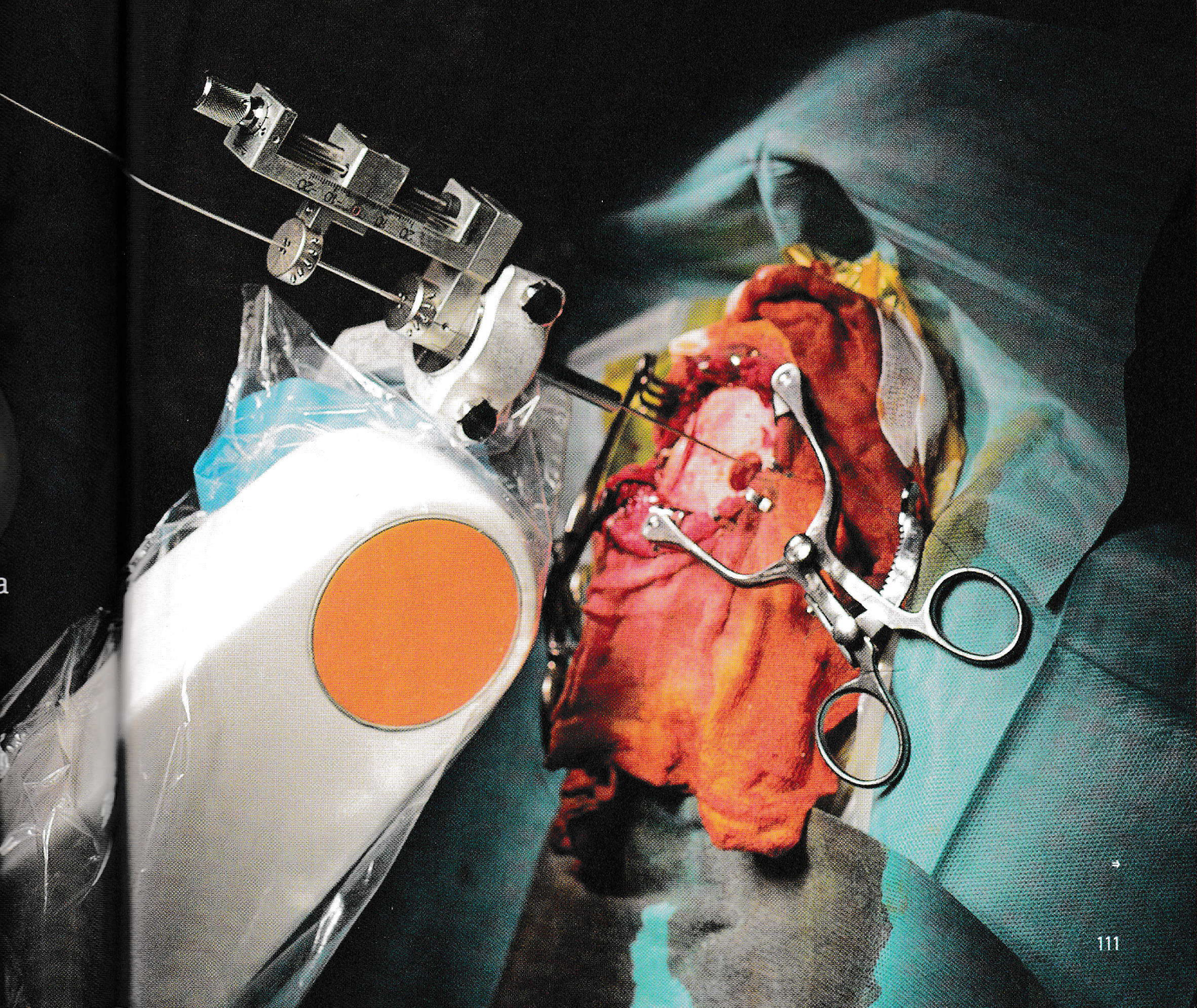
POR LAURA CHAPARRO  
Periodista

**S**i hay un órgano que se ha beneficiado del vertiginoso avance de la tecnología en las últimas décadas, ese es el cerebro. Dejando a un lado el uso de los dispositivos tecnológicos para mejorar nuestras capacidades –lo que nos iría convirtiendo poco a poco en cibernéticos–, implantes como los cocleares o los de retina ya están ayudando a escuchar y a ver a personas con profundas limitaciones sensoriales.

Para Álvaro Sánchez Ferro, coordinador del Comité Ad-Hoc de Nuevas Tecnologías (TECNOSEN) de la Sociedad Española de Neurología, la revolución de estos tratamientos se basa en que modulan la función cerebral con dispositivos o procedimientos externos. “Esto se sale del abordaje tradicional con fármacos. Ahora, me-

dante la tecnología, se puede mejorar y potenciar la función cerebral, lo que abre infinidad de nuevas oportunidades terapéuticas”, dice el doctor Sánchez.

Mientras, las interfaces cerebro-máquina, que permiten a personas con miembros amputados mover brazos robóticos y casi sentir lo que tocan, avanzan cada vez más rápido. Los expertos confían en que pronto serán prescritas por los médicos igual que lo fueron los marcapasos. Por otra parte, la estimulación cerebral profunda está siendo beneficiosa para pacientes con párkinson a quienes no les funcionaban los fármacos para paliar síntomas como el temblor y la rigidez, y está probándose en trastornos como la depresión, lo que disminuiría los efectos secundarios de la medicación.



“Ha habido avances sólidos, pero todavía queda muchísimo terreno por recorrer”, afirma Susana Martínez-Conde, catedrática de Oftalmología, Neurología, Fisiología y Farmacología y directora del Laboratorio de Neurociencia Integrativa en la Universidad Estatal de Nueva York (EE. UU.). Una idea que comparte Javier De Felipe, profesor de investigación del CSIC en el Instituto Cajal (Madrid), que recuerda que aún desconocemos datos tan importantes como el número exacto de neuronas que tenemos o cómo son sus conexiones. “Casi todo lo que sabemos del cerebro está basado en el estudio de animales de experimentación, sobre todo, de ratones”, resalta De Felipe.

#### **SI ECHAMOS UN VISTAZO A LA ÚLTIMA DÉCADA, NEUROCIENTÍFICOS,**

ingenieros y matemáticos han conseguido algo que hace solo treinta años podría considerarse ciencia ficción: que una persona con una parálisis motora sea capaz de mover los brazos o piernas simplemente con pensarlo. La responsable es una interfaz cerebro-máquina –*brain-machine interface*, en inglés–, que se basa en tres elementos: un implante neuronal diminuto que se introduce en el cerebro, en la zona de la corteza motora; un ordenador que recoge la actividad neuronal enviada por estos electrodos a un algoritmo que la descodifica en acciones motoras, y un elemento robótico, como puede ser un brazo, una pierna o, incluso, un exoesqueleto, que ejecuta estas acciones.

“Cada vez se hacen más ensayos clínicos en el mundo y empezaremos a ver cómo algunos médicos prescriben estos dispositivos a pacientes de forma más habitual”, mantiene José Carmena, catedrático de Ingeniería Electrónica y Neurociencia en la Universidad de California en Berkeley y codirector del Centro de Ingeniería Neural y Neuroprótesis, en Estados Unidos.

El avance de esta tecnología en los últimos años ha sido espectacular. Hoy, los investigadores se afanan por perfeccionarla y conseguir que los pacientes no solo sean capaces de mover sus prótesis con el pensamiento, sino que también lleguen a sentir las como si fueran naturales.

“Se trata de añadir al modelo información sensorial artificial, es decir, que al paciente,

además de que se le descodifique información para controlar el robot, también se le estimule eléctricamente con señales de tacto sobre lo que está agarrando, por ejemplo, el brazo robótico. Así, no solo podría verlo, sino también sentirlo”, describe Carmena.

El polifacético y polémico emprendedor Elon Musk también se ha dejado cautivar por la tecnología cerebro-máquina. Además de revolucionar la industria automovilística y la aeroespacial, se ha propuesto que su sello, Neuralink, consiga crear estos dispositivos a gran escala y dejen de ser prototipos. Aunque todo lo relacionado con esta empresa se mueve en el más absoluto secretismo, en su lanzamiento el pasado verano Musk destacó por qué era necesaria su compañía: para comprender y tratar

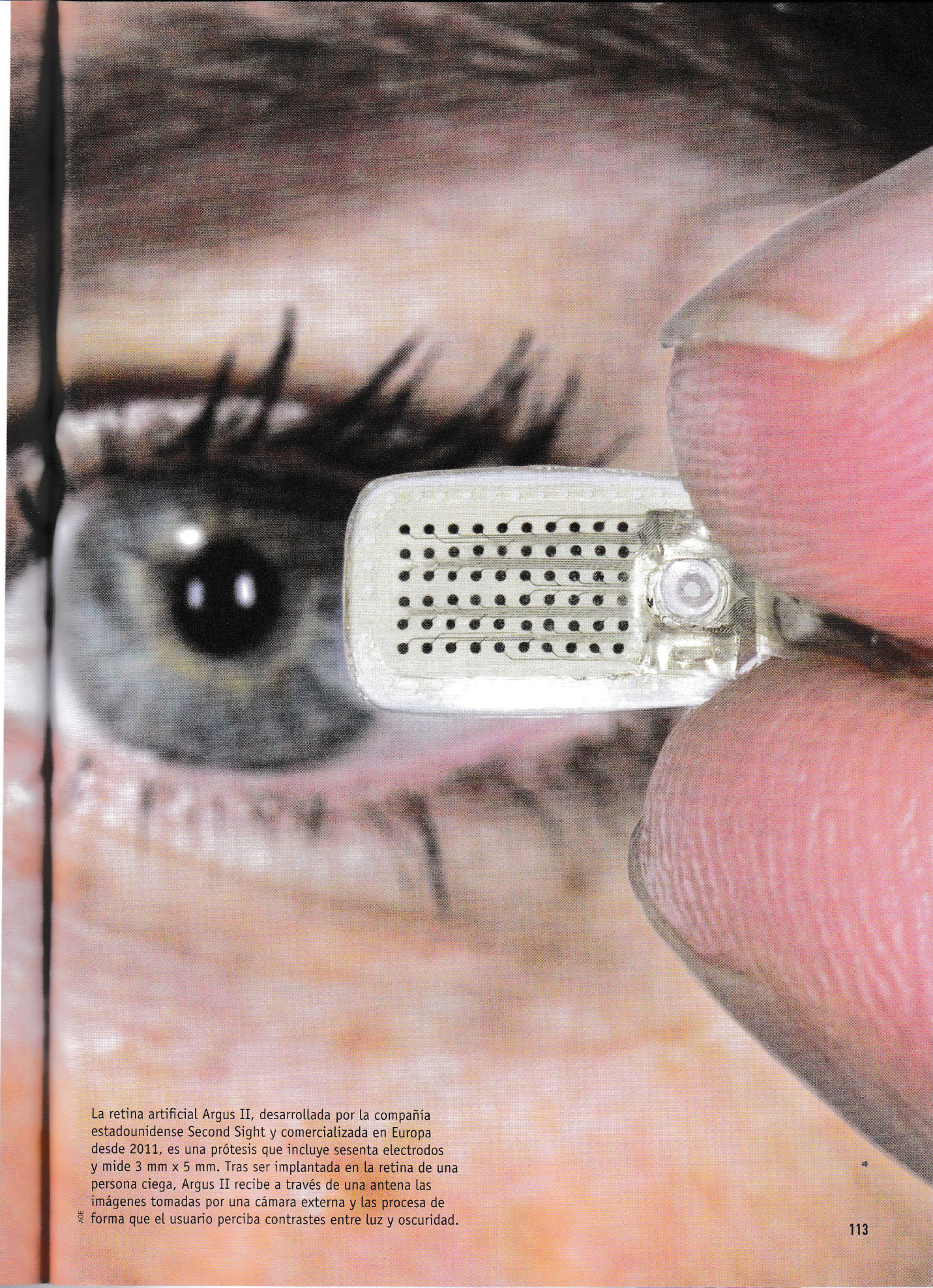
trastornos neurológicos y para preservar y mejorar el órgano pensante.

Es decir, aunque los dispositivos vayan destinados a recuperar la movilidad por accidentes o discapacidades congénitas, también podrían servir para mejorar capacidades que no están dañadas, complementándose con técnicas de inteligencia artificial (IA), según Musk. Respecto a cuándo podrán estar listas estas tecnologías, el también físico admitió que llevará su tiempo. Por el

momento, en su página web, solo aparecen tres contenidos: el vídeo de lanzamiento, un artículo científico *preprint* –es decir, que no se ha publicado en una revista científica– firmado por él mismo y en el que describe algunos prototipos de la compañía y aporta un formulario para quien quiera unirse al equipo.

**“LO QUE VAN A FABRICAR ES UNA INTERFAZ PUNTERA PARA UN TIPO DE INDICACIÓN** médica, que a fecha de hoy no se sabe cuál es”, apunta Carmena. Como experto en estos dispositivos, el ingeniero confía en que a Neuralink le vaya bien, porque eso sería positivo para la investigación. En caso contrario, acabaría repercutiendo de forma negativa en la comunidad científica y tecnológica. “Si Neuralink se convirtiera en un fiasco nos afectaría a todos, y podría acabar con una década entera de investigación, tanto pública como privada”, advierte el catedrático.

## **Si los pacientes han visto antes, se pueden corregir ciertos tipos de ceguera con la estimulación eléctrica de algunas áreas neurológicas**



La retina artificial Argus II, desarrollada por la compañía estadounidense Second Sight y comercializada en Europa desde 2011, es una prótesis que incluye sesenta electrodos y mide 3 mm x 5 mm. Tras ser implantada en la retina de una persona ciega, Argus II recibe a través de una antena las imágenes tomadas por una cámara externa y las procesa de forma que el usuario perciba contrastes entre luz y oscuridad.

AGE

## Los chips con tecnología de inteligencia artificial podrían servir para mejorar nuestras capacidades intelectuales

En la misma línea, Stephen L. Macknik, catedrático de Oftalmología, Neurología, Fisiología y Farmacología y director del Laboratorio de Neurociencia Translacional en la Universidad Estatal de Nueva York (EE. UU.), opina que el rol de Neuralink y otras compañías en la misma órbita resulta positivo. “Hay otras formas de ganar dinero mucho más rápido que hacer dispositivos médicos, así que creo que es algo loable”, resalta Macknik.

De las neuroprótesis más modernas, pasamos a otras consolidadas y que los neurocientíficos siempre toman como referencia. Es el caso del implante coclear. El primero fue practicado hace 63 años a un hombre sordo de cincuenta años en Francia por los médicos André Djourno y Charles Eyriès. En España, el primer implante data de 1985, y, en la actualidad, hay unos

17.500 implantados, el 60 % adultos y el 40 % niños, según datos de la Federación de Asociaciones de Implantados Cocleares de España.

“Antes, las personas que se quedaban sordas en la etapa prelingüística, es decir, antes de aprender a hablar, se quedaban sordomudas, en general”, recuerda Francisco Javier Díez, profesor del Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), en Madrid, y padre de un niño con un implante. “Tenían que ir a colegios especiales, y su vida social estaba reducida a guetos de personas sordas”, añade Díez.

**GRACIAS A ESTA TECNOLOGÍA, HOY LOS NIÑOS QUE NACEN SORDOS RECIBEN** uno o dos implantes cocleares a los pocos meses de nacer. Díez resalta que estos críos aprenden a ha-

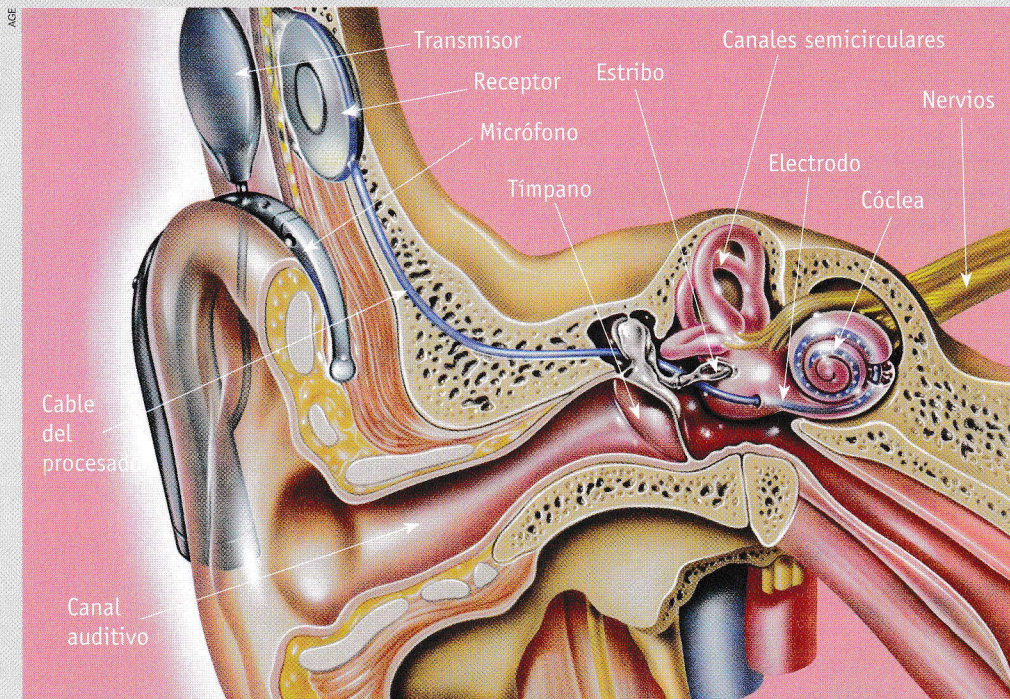


Eva Justin, de un año, es uno de los 30 millones de niños en el mundo que padecen problemas de audición. Su implante coclear le permite percibir los sonidos y, así, aprender a hablar desde pequeña. Gracias a este avance que se aplicó por primera vez con éxito hace 60 años, nacer sordo no implica tener que ser sordomudo toda la vida.

## ¿Cómo funciona un implante coclear?

Estas prótesis constan de un receptor-estimulador que se implanta detrás del pabellón auricular y envía las señales eléctricas a los electrodos. Estos se introducen en el interior de la cóclea, en el oído interno, y estimulan las células nerviosas que aún funcionan. Los estímulos pasan a través del nervio auditivo al cerebro, que los reconoce como sonidos, y así

la persona tiene la sensación de oír. En cuanto a los elementos externos, hay un micrófono, que recoge los sonidos; estos pasan al procesador, encargado de codificar los más útiles y enviarlos a un transmisor, que a su vez los lanza al receptor interno. La parte externa e interna se ponen en contacto por un cable y un imán. El dispositivo solo necesita pilas para funcionar.



En España, más de 15 000 personas llevan un implante coclear. De ellas, la tercera parte son niños que lo recibieron a temprana edad. Desde que esta tecnología se puso en práctica en nuestro país, en la década de 1980, no ha dejado de evolucionar. Se espera que en 2023, sean más de 20 000 las personas que la usen.

blar como los demás, y la mayoría asiste a colegios ordinarios. En el caso de las personas que se quedan sordas ya adultas, estos mecanismos les permiten seguir ejerciendo su profesión, aunque el tiempo de adaptación es mayor que para los niños debido a la menor plasticidad de su sistema nervioso.

Tales dispositivos están indicados para quienes padecen una sordera profunda neurosensorial bilateral y, en algunos casos, también sordera grave, siempre que no les sirvan de ayuda los audífonos convencionales. ¿Y cómo funcionan aquellos? Básicamente, lo que hacen es trans-

formar las señales acústicas externas en señales eléctricas que estimulan al nervio auditivo.

El ojo es otro de los beneficiados por esta clase de prótesis. La tecnología, al igual que ha ocurrido con el oído, se ha convertido en una gran aliada para quienes sufren diferentes tipos de ceguera. En el mundo, 217 millones de personas presentan una deficiencia visual de moderada a grave y 36 millones son ciegos, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La solución está en unos pequeños chips. “El implante de retina es un sistema de visión artificial que estimula eléctricamente las células

nerviosas de este tejido sensible a la luz situado en la superficie interior del ojo, y reemplaza la función de las células fotorreceptoras dañadas en algunos pacientes para, a partir de ahí, transmitir la información visual al cerebro a través del nervio óptico”, señalan desde el Instituto de Microcirugía Ocular, en Barcelona.

Aunque no pueden ver de la misma forma que una persona sin problemas de visión, mediante la percepción de señales de luz y un proceso de rehabilitación visual para aprender a ver de forma biónica, los pacientes consiguen localizar e identificar fuentes de luz, objetos y movimientos, lo que les ayuda a desenvolverse en su vida diaria.

“En teoría, uno puede corregir muchos tipos de ceguera a través de la estimulación eléctrica de áreas concretas del cerebro, siempre que los afectados hayan visto antes de perder la visión. Lamentablemente, las personas ciegas de nacimiento no pueden beneficiarse de estos dispositivos”, explica Guillaume Buc, director de Tecnología de Pixium Vision (Francia).

**DESDE QUE EN LOS AÑOS 90 EMPEZARÁN A UTILIZARSE ESTE TIPO DE IMPLANTES** retinianos, los últimos avances han permitido que la información visual que reciben los pacientes sea cada vez de mayor calidad. En la actualidad, se emplea un dispositivo consistente en un microchip a base de silicón que se coloca encima o debajo de la retina del paciente y que contiene electrodos. A mayor número de electrodos, mayor es la resolución de las imágenes obtenidas. Unas gafas incorporan una minicámara bioinspirada en el ojo que imita el funcionamiento de la retina humana y capta en tiempo real los cambios en el campo visual, mediante píxeles independientes. El tercer elemento es un procesador de mano, que recibe las imágenes de vídeo y las vuelve a enviar a las gafas en forma de estímulos que puedan ser interpretados por el cerebro.

Con esta idea, Pixium Vision ha desarrollado la tecnología PRIMA Bionic Vision en colaboración con la Universidad de Stanford (EE. UU.), que cuenta con 378 electrodos, lo que mejora la agudeza visual en personas con degeneración macular seca, un trastorno ocular que causa visión central borrosa o reducida debido al adelgazamiento de la mácula —una parte de la retina—. “PRIMA es totalmente inalámbrico y sus píxeles fotovoltaicos se activan externamente mediante luz infrarroja invisible proyectada por lentes especiales de realidad aumentada (RA) en el ojo”, indica el doctor Buc. En estos momentos, se están realizando ensayos clínicos con este dispositivo en Europa.



Una fisioterapeuta coloca unos electrodos en la cabeza a un paciente suizo con una grave discapacidad motora. Se trata de parte de un prototipo de interfaz cerebro-máquina que podría mejorar los movimientos del paciente.

## Charlas neuronales

Un equipo de investigadores liderados por el CSIC ha demostrado que los millones de neuronas que forman el cerebro coordinan el movimiento en base a conversaciones neuronales. El estudio se ha publicado en la revista *Nature Neuroscience* y abre una nueva vía de investigación para el diseño de neuroprótesis. Aunque ya existen prototipos preclínicos, uno de sus problemas es que las neuronas que se usan para controlar las prótesis van modificándose con el paso de los días.

“Nuestros resultados proporcionan una solución sencilla, porque permiten compensar esos cambios en la neuronas que la neuroprótesis registra en días distintos”, declara Juan A. Gallego, científico del CSIC en el Centro de Automática y Robótica (Madrid) y autor principal del estudio.

## Algún día será común ver a personas con prótesis que controlan ellas mismas con señales eléctricas cerebrales

En paralelo, la optogenética está consiguiendo logros importantes para tratar enfermedades o trastornos neurológicos. Basada en haces de luz, esta tecnología emergente, que combina métodos genéticos y ópticos, se está probando en personas que padecen degeneración macular relacionada con la edad, que causa pérdida de visión en individuos de más de sesenta años.

En 2019, Francis Collins, director de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) de Estados Unidos, escribía en su blog que tecnologías como OBServ persiguen recrear la función de la respuesta a la luz de la retina dentro del propio cerebro, en lugar de intentar reparar la retina dañada del paciente. Stephen L. Macknik y Susana Martínez-Conde lideran el proyecto OBServ, que, por ahora, se halla en fase experimental con modelos animales. El dispositivo está formado por pequeños implantes neuroprotésicos similares a los implantes cocleares. Los investigadores plantean introducirlos quirúrgicamente para dirigir el proceso visual.

Con la ayuda de unas gafas equipadas con dos cámaras que registran las imágenes visuales, se

transmite esta información de forma inalámbrica a los chips implantados en la parte posterior del cerebro. Estos procesan y proyectan la información en un conjunto específico de neuronas subcorticales que, previamente, han sido convertidas en células fotorreceptoras gracias a la optogenética. Así, funcionarán de manera similar a la retina que está dañada en estos pacientes. Y transmitirán la información visual a la corteza para que la procese. “Esta tecnología se podría extender a otras partes del cerebro”, plantea Macknik.

**EN EL CAMPO DE LA SALUD MENTAL, TRAS EL ALZHEIMER,** el párkinson es la enfermedad neurodegenerativa más frecuente entre los mayores de 65 años, con cerca de 150.000 pacientes en España. Pero, contra la creencia general, no es un problema exclusivo de personas mayores: el 15% de los pacientes no superan los cincuenta años y, también, se pueden encontrar casos en los que se inicia en la infancia o en la adolescencia. El párkinson afecta al sistema nervioso de manera crónica y progresiva, y

GETTY El CEO de BrainCo, Bicheng Han, lleva puesto en la cabeza el dispositivo inalámbrico desarrollado por su empresa para controlar prótesis robóticas mediante impulsos eléctricos cerebrales.







## La estimulación cerebral profunda puede tener efectos antidepresivos que duran entre cuatro y ocho años

se caracteriza por la pérdida o la degeneración de neuronas en la sustancia negra, ubicada en la parte media del cerebro. Esta situación provoca una carencia de dopamina, neurotransmisor que, entre otras cosas, transmite información necesaria para que realicemos movimientos con normalidad. Su déficit provoca que los pacientes tengan el control de movimiento alterado, con los síntomas motores típicos del mal de Parkinson, como el temblor y la rigidez.

**AUNQUE NO TIENE CURA, CUENTA CON UN TRATAMIENTO FARMACOLÓGICO** cuyo objetivo es restablecer los niveles dopaminérgicos en el cerebro para mejorar los síntomas y la calidad de vida del paciente. Cuando esta terapia no funciona para reducir los problemas motores, se puede optar por una intervención quirúrgica: la estimulación cerebral profunda. “Esta es una intervención en la que se implan-

tan unos electrodos en un área concreta del cerebro para administrar estimulación eléctrica en esa zona”, dice Patricia Pérez, responsable del Área de e-salud, innovación y apoyo a la investigación de la Federación Española de Parkinson. Así se consiguen modular las señales que causan las alteraciones motoras. Los electrodos están conectados a un neuroestimulador que se coloca en el tórax, como si fuera un marcapasos. Se comunican a través de una extensión que se introduce bajo la piel desde la cabeza, pasando por el cuello.

“Las personas candidatas deben tener un estado de salud general bueno, que no esté afectada por otras dolencias y que no presenten una alteración de las capacidades cognitivas o trastornos del estado de ánimo, como la depresión”, subraya la neuropsicóloga Pérez.

Además de ser un método reversible, una de sus ventajas es que, aunque la mayoría de



Un hombre tetrapléjico se entrena para participar en el Cybathlon, una competición de personas discapacitadas. Controla el avatar que lo representa en la pantalla con las señales eléctricas que emite su cerebro.

GETTY

## ¿Se llegará a leer el pensamiento?

Las interfaces cerebro-máquina se han usado para interpretar la actividad neuronal en palabras habladas, pero su precisión no llega al 40%. Aunque una nueva investigación publicada en *Nature Neuroscience* muestra cómo un algoritmo de traducción automática puede descodificar la actividad neuronal y traducirla en oraciones con altos niveles de precisión. Investigadores de la Universidad de California (EE. UU.) lo probaron con cuatro personas a las que habían implantado electrodos intracraneales para el control de sus convulsiones. Los participantes leyeron oraciones en voz alta mientras los electrodos registraban su actividad neuronal.

Según los autores, la traducción automática descodificó las oraciones habladas a partir de la actividad neuronal del paciente con una tasa de error similar a la de la transcripción del habla a nivel profesional.

los pacientes aún necesita tomar la medicación después de someterse a la estimulación cerebral profunda, muchos ven cómo sus síntomas mejoran, por lo que pueden limitar el consumo de fármacos, según el Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares de Estados Unidos. Esto, a su vez, reduce los efectos secundarios de las pastillas, como son los movimientos involuntarios. Esta estimulación no solo sirve para el párkinson. Además, está indicada para tratar los temblores conocidos como esenciales, las epilepsias, las distonías -contracciones involuntarias de los músculos- y el trastorno obsesivo compulsivo. La llamada Iniciativa Brain, que impulsó Barack Obama en 2013 con el objetivo fundamental de dibujar un mapa de la actividad de cada neurona en el cerebro humano, también incluía el uso de la estimulación cerebral aplicada a la salud mental.

En el caso de la depresión, un reciente estudio liderado por Helen S. Mayberg, neuróloga de la Facultad de Medicina Icahn en el Monte Sinaí (EE. UU.), concluyó que la técnica aporta

un efecto antidepresivo mantenido en el tiempo. Lo confirmaron con pacientes con depresión resistente al tratamiento, y la estimulación se realizó en un área del cerebro llamada giro cingulado subcaloso. Los resultados del tratamiento duraron entre cuatro y ocho años. “El procedimiento en sí fue, en general, seguro y bien tolerado por los pacientes”, aseguran los autores.

**YENDO UN PASO MÁS ALLÁ, LO IDEAL SERÍA ANTICIPARSE** a estas enfermedades con la ayuda de la tecnología, es decir, borrar de alguna forma su huella en el cerebro para que no vuelvan a aparecer y no haya que volver a estimular para curar. Carmena lo define como el *santo grial*. “Muchos de estos trastornos se adquieren por un episodio traumático que queda grabado en una red que se activa de vez en cuando y causa malestar. Lo que se quiere es inducir plasticidad en ciertos nodos de esa red para que, de alguna manera, el cerebro lo borre y lo desaprenda”, sostiene Carmena. Neurociencia de vanguardia para seguir haciendo historia en las próximas décadas. ■