Neurotecnologías: los desafíos de conectar el cerebro humano y computadores

Portada de la revista The Economist del 4 de enero de 2018[1]

Desde 2013, entidades públicas de Estados Unidos de América (EE.UU.)[2], la Unión Europea[3] y China[4] (principalmente) están invirtiendo miles de millones de dólares en el estudio del cerebro humano[5], en una competencia similar a la "Carrera espacial", entre EE.UU. y la ex URSS en el siglo veinte.

Mega iniciativas de investigación del cerebro humano

Unión Europea: "Human Brain Project", 2013.
Es uno de los programas más ambiciosos de la UE en investigación. Involucra a cerca de 500 científicos en 100 universidades europeas, en colaboración con entidades norteamericanas y chinas, en el estudio de neurociencia, robótica e informática, entre otras. ¿Financiamiento? Cercano a los 1.300 millones de dólares en 10 años.

EE.UU.: "NIH The BRAIN Initiative", 2013.

Su nombre es la sigla de, en español, "Investigación del Cerebro a través de Neurotecnologías Avanzadas e Innovadoras". La iniciativa BRAIN tiene como objetivo general "revolucionar nuestra comprensión del cerebro humano", involucra ya a mas de 500 laboratorios, y supone una inversión principalmente pública estimada de 6.000 millones de dólares en una década.

China: "Chinese Institute for Brain Research".

Presentado en 2016 e inaugurado en 2018, es una de las iniciativas científicas estratégicas del gobierno chino, y su objetivo es el estudio del cerebro y de tecnologías de inteligencia similar al cerebro. Espera contar con 1200 investigadores y técnicos al 2022.

Elaborado por:
Raimundo Roberts.
Email: rroberts@bcn.cl
Tel.: (56) 2270 1791
(32) 226 3199

Agradecemos el trabajo de revisión científica realizado por las siguientes personas, en orden alfabético:

- Dr. Rómulo Fuentes, Director de investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile
- Dra. María Cecilia Hidalgo, Presidenta de la Academia de Ciencias de Chile
- Dr. Rafael Yuste, Director del Centro de Neurotecnología de la Universidad de Columbia (Nueva York, EE.UU.)

Este impulso político a la ciencia estuvo marcado por avances científicos previos: entre 2009 y 2013 el 16% de los artículos publicados en el mundo trataron sobre el cerebro -creciendo un 3,9% por año[6]- con estas tres potencias liderando la investigación. En cierta forma, este impulso es el avance natural de los estudios del comportamiento para desentrañar los (aún desconocidos) mecanismos de interacción de billones de neuronas.

De hecho, ya se pueden ver impresionantes resultados en la comunicación entre el cerebro y dispositivos electrónicos, con órtesis, prótesis y tratamientos relativamente efectivos para el tratamiento del Parkinson, la sordera, la ceguera y otras discapacidades y enfermedades.

Con más de mil millones de personas con discapacidad en el mundo[7] (y cerca de tres millones sólo en Chile[8]) las posibilidades de mejorar sus vidas gracias a la tecnología son cada vez más reales. También existe un amplio campo de aplicación de las neurotecnologías en personas sanas, en áreas que van desde la defensa, el entretenimiento y la potenciación de sus capacidades cognitivas e intelectuales, a los que apuntan empresas y gobiernos.

Se trata de proyectos impulsados desde los gobiernos con plazos de una década, para conocer el cerebro humano y aprovechar este conocimiento.

Pero no sólo con un fin aventurero: en 2013, un estudio del *European Brain Council* calculaba en casi 800 mil millones de Euros los gastos (directos e indirectos) incurridos en tratamientos asociados a desórdenes cerebrales. Esta cifra es superior a lo gastado en enfermedades cardiovasculares y cáncer juntos[9]. Ya en 2011, el Senador norteamericano Newt Ginrich estimó que la enfermedad de Alzheimer costará al sistema de salud de los EEUU más de 20 trillones de dólares en el 2050, debido al envejecimiento de su población[10].

Aparte de estas implicaciones clínicas, la posibilidad de que la neurotecnología lleve a la *aumentación cognitiva*[11], o a crear un "iPhone" cerebral que permita conectarse directamente con la red sin necesidad de teclear en una pantalla o un teclado, tiene un inmenso interés económico.

De hecho, el financiamiento privado es creciente y en muchos casos secreto, con equipos de especialistas ya formados en empresas como Facebook, Microsoft y Google, así como en nuevas empresas creadas solamente para desarrollar neurotecnologías, como Kernel (fundada por el billonario Brian Johnson) o Neuralink (del inventor Elon Musk). Esta nueva carrera tecnológica ha ocupado portadas de medios en todo el mundo, incluyendo un número especial de The Economist en enero de 2018[12], hablando de superhumanos e Inteligencia Artificial.

Estos avances han mostrado desafíos éticos y regulatorios que requieren con apremio una respuesta, ¿es el cerebro una frontera de la intimidad e integridad humana? O ¿debe serlo? ¿Cuál es el límite de la privacidad de una persona? ¿Un paciente sería responsable por agredir a una persona a través de un dispositivo prostético (una prótesis), si no tiene total control sobre él? ¿Cómo se regula el uso de información cerebral para fines comerciales? ¿Cómo se debe regular el acceso a tecnologías que permitan la aumentación intelectual de las personas?

Estas preguntas son parte de una discusión ética y normativa en distintos países, en un marco que se está construyendo justo ahora y que, según algunos analistas, es urgente definir. Lo que está en juego es la posibilidad que tienen estas nuevas tecnologías, particularmente cuando se utilizan en conjunto con la Inteligencia Artificial, de redefinir lo que significa el ser humano.

Mientras tanto, el conocimiento creciente del sistema nervioso, apoyado con mejores equipos y nuevos enfoques, permiten que hoy exista una fuerte competencia en el campo de la interacción dispositivo-cerebro, donde confluyen diversas ramas de la ciencia y la tecnología (como Inteligencia Artificial, Nanotecnología, Bioinformática), todas unidas con la ingeniería requerida para traducir el conocimiento en dispositivos o aplicaciones neurotecnológicas

¿Qué es la neurotecnología?

La neurotecnología es "*el conjunto de métodos e instrumentos que permiten una conexión directa de dispositivos técnicos con el sistema nervioso*"[13].

Desde implantes cocleares para la sordera y estimuladores de la médula espinal para tratar el Parkinson, hasta lectores de ondas cerebrales para uso educativo: cada día se desarrollan nuevos avances médicos y comerciales que son, de hecho, neurotecnologías.

Sus desarrollos, en general, están buscando un objetivo: lograr una interfaz de conexión entre el cerebro y un dispositivo computarizado que sea capaz de responder en tiempo real, que aprenda, se adapte, y logre funcionar de forma integrada (como un circuito cerrado). Este sería, en sentido figurado, el llegar a la Luna, en la carrera espacial.

Una manera más exacta de definir este dispositivo o "Brain-Computer Interface" (BCI) es "*un sistema que mide la actividad del sistema nervioso central (SNC) y la convierte en una salida (respuesta) artificial que reemplaza, restaura, complementa o mejora la salida (respuesta) del SNC natural y, por tanto, modifica las interacciones en curso entre el SNC y su entorno externo o interno*"[14].

Es importante mencionar que, en situaciones muy controladas, ya se ha logrado una comunicación "natural" del cerebro con un dispositivo electrónico, utilizando BCIs[15].

Hoy en día, en algunos centros de punta del mundo, gracias a la actual confluencia de conocimientos y tecnologías[16], una persona con discapacidad motora puede utilizar extremidades prostéticas de forma similar a como lo haría con sus piernas o brazos. De hecho, el puntapié inicial del último Campeonato Mundial de Fútbol en Brasil fue dado por uno de estos pacientes. De la misma manera, pacientes que tienen discapacidades sensoriales, empiezan a poder recibir estímulos directamente en su cerebro de modo que puedan, por ejemplo, ver, oír o sentir táctilmente.

Esquemáticamente[17], un BCI es un sistema formado por tres elementos: 1) sensores conectados al sistema nervioso, que pueden recibir y/o enviar señales; 2) un sistema de procesamiento (un micro o nano computador) que puede distinguir e interpretar las señales del sistema nervioso y elaborar una respuesta, y 3) un dispositivo que pueda realizar la acción que se espera en el mundo real: ya sea enviar información para mover un objeto, o estimular o inhibir procesos fisiológicos (secreciones de hormonas o enzimas, por ejemplo).

Sensores. Pueden ser no invasivos (como un Electroencéfalografo o EEG) o invasivos, implantando quirúrgicamente los electrodos dentro del cerebro. Actualmente se está experimentando con nano electrodos (por ejemplo, estructuras de grafeno) para interactuar entre el tejido cerebral y equipos electrónicos, reemplazando eventualmente a los incómodos electrodos actuales[18].

Sistemas de procesamiento. Han progresado mucho, pero aún deben resolver varios cuellos de botella: su entrenamiento es lento o limitado, y deben superar condiciones ambientales y orgánicas cambiantes, como es el deterioro causado por una enfermedad (en la sordera, por ejemplo, el nervio auditivo se retrae y degrada al no recibir estímulos). Para superar este desafío, se está trabajando en Inteligencia Artificial, específicamente en aprendizaje automático, para que el propio sistema "aprenda" a discernir las señales cerebrales "significativas" dentro de un gran número de señales.

Otras áreas del conocimiento (como bioinformática, química, e ingeniería de sistemas, entre otras) se entrelazan e interactúan para desarrollar distintos enfoques en esta carrera por el conocimiento del cerebro.

Tecnologías de asistencia

En 2011, mil millones de personas en el mundo (de un total de 7 mil millones), tenían algún tipo de discapacidad. Es cerca de un 15% de la población, cifra que en Chile es ligeramente más alta (casi un 17%, es decir, cerca de tres millones).

En muchos países, solo entre el 5 y el 15% de las personas que requieren dispositivos y tecnologías de asistencia tienen acceso a ellos. Mientras por una parte se realizan esfuerzos de política nacionales e internacionales para promover su disponibilidad y mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, por otra parte investigaciones científicas y tecnológicas buscan comprender mejor el cuerpo humano y desarrollar tecnologías y dispositivos más avanzados.

No sólo se trata de bastones, anteojos, sillas de ruedas o prótesis: también de implantes cocleares (para la audición), extremidades robotizadas o dispositivos contra las limitaciones motoras del Parkinson, entre otros.

El creciente desarrollo tecnológico impulsado por los proyectos "Brain" internacionales y las compañías tecnológicas llevaría muy pronto al uso de prótesis no invasivas. Un ejemplo temprano fueron los "Google Glasses", que permiten a las personas utilizar su mirada para navegar enormes bases de datos durante el transcurso de su día.

Ejemplos de neurotecnologías

Mientras se persigue este hito (la conexión cerebro-máquina) se han logrado otros desarrollos, que ya están a disposición de las personas, en especial en el campo de la medicina y las tecnologías de asistencia[19].

Un ejemplo son los implantes cocleares. La pérdida auditiva severa afecta a más personas que a las afectadas por epilepsia, esclerosis múltiple, lesión medular, apoplejía, enfermedad de Huntington y Parkinson juntas[20], por lo que su desarrollo tendría un efecto relevante a nivel mundial.

Éstos comenzaron de forma experimental, muy rudimentaria, en la década de 1950. Recién en 1984 en Estados Unidos de América se autorizó su uso en adultos y en 1990 para infantes. Inicialmente eran unos pocos electrodos conectados a sensores de presión (ondas de sonido), insertados en el nervio auditivo. Junto con las mejoras en la calidad de procesadores, sensores y electrodos, hoy también se desarrollan técnicas de ingeniería genética, como la implantación de ADN en las zonas afectadas[21],[22] consiguiendo la regeneración del nervio auditivo.

Otro hito es la investigación en dispositivos para tratar el Parkinson. El doctor Rómulo Fuentes, quien trabajó con el doctor Miguel Nicolelis (cuyo grupo logró en 2003 que dos primates movieran, cada uno, un brazo robótico con señales neuronales[23]), está desarrollando en la Universidad de Chile técnicas para estimular con electrodos la médula espinal y así aminorar los efectos del mal de Parkinson[24]

Su trabajo está siendo aplicado actualmente a pacientes humanos en distintos países; en Chile, durante febrero de 2018, se realizó la primera cirugía de estimulación medular del país[25] a un ex policía de la PDI, de 71 años. En nuestro país, la estimulación cerebral profunda para la distonía fue incorporada dentro de los tratamientos del Sistema Público de Salud en 2018[26].

La utilización de BCI ha permitido la conexión directa de los cerebros de varios sujetos.

Esto no es ciencia ficción: se realizó la primera vez por Nicolelis y su equipo, quienes conectaron a varios monos a una sola BCI para mover juntos un brazo robótico en el 2015[27]. La conexión de varios sujetos a un mismo BCI también se ha realizado recientemente con pacientes humanos por el equipo de Rahesh Rao en la Universidad de Washington, permitiendo la comunicación directa de persona a persona[28],[29], [30].

Otro avance de rápido crecimiento (incluso en Chile) es el uso de técnicas optogenéticas, es decir, que permiten usar luz láser para activar grupos de neuronas, en animales modificados genéticamente, con lo que se ha logrado cambiar su comportamiento o su percepción sensorial[31]. Algunos investigadores como Parisa Mahmoudi señalan que este tipo de técnicas podrían ser utilizados en un futuro no distante en humanos[32], tal como hoy se usan técnicas de estimulación eléctrica. Sin embargo, el uso de estas técnicas requiere un serio análisis ético, por las implicaciones que tienen en el control de la conducta humana (ver más adelante).

Ejemplo de neurotecnología en medicina

La estimulación cerebral profunda (Deep Brain Stimulation – DBS), también llamada "marcapasos cerebral", es una terapia que consiste en la micro-estimulación eléctrica crónica de núcleos cerebrales profundos para el alivio de patologías neurológicas que no responden a los tratamientos de primera línea (por ejemplo farmacológicos) .

Esta tecnología, aunque invasiva, es tan efectiva que se estima que hay más de 40 mil pacientes en el mundo con electrodos implantados para DBS. Se logra mediante el implante crónico de electrodos en el cerebro que proporcionan micro-pulsos eléctricos a un frecuencia dada, modulando así la actividad cerebral (Benabid, 2003) .

Actualmente la estimulación cerebral profunda se usa para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson (Benabid et al., 1991; Ashkan, Wallace, Bell, & Benabid, 2004), para la distonía (Hale, Monsour, Rolston, Naftel, & Englot, 2018), para el trastorno obsesivo-compulsivo desde 2009 (Hirschtritt, Bloch, & Mathews, 2017), y para la epilepsia (Li & Cook, 2018), y se investiga su efectividad en el tratamiento de otras patologías, como el Alzheimer (Xu & Ponce, 2016).

([1])

Con el conocimiento disponible también se están desarrollando prótesis controladas por impulsos eléctricos de nervios[33] (sin involucrar BCI), o incluso más simplificadas en varios lugares del mundo.

Jorge Zúñiga[34], investigador chileno especialista en biomecánica y funcionamiento muscular, desarrolló una mano prostética mecánica llamada “CyborgBeast”, con un costo de menos de 50 dólares y que se fabrica con una impresora 3D. Zúñiga liberó los derechos de fabricación de su invento, lo que podría ayudar a millones de personas en el mundo sin acceso a

[1] **Referencias recuadro:**

Ashkan, K.et.al. (2004). British Journal of Neurosurgery, 18(1), 19–34. Disponible en: http://bcn.cl/29uhj (Abril, 2019).
Benabid, A L., et.al (1991). Lancet, 337(8738), 403–406. Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1671433 (Abril, 2019).
Benabid, A. L. (2003). Current Opinion in Neurobiology, 13(6), 696–706. https://doi.org/10.1016/j.conb.2003.11.001 (Abril, 2019).
Hale, A. T. et.al. (2018). Neurosurgical Review. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s10143-018-1047-9 (Abril, 2019).
Hirschtritt, M. E. et.al. (2017). JAMA, 317(13), 1358. Disponible en: https://doi.org/10.1001/jama.2017.2200 (Abril, 2019).
Li, M. C. H., & Cook, M. J. (2018). Epilepsia, 59(2), 273–290. Disponible en: https://doi.org/10.1111/epi.13964 (Abril, 2019).
Xu, D., & Ponce, F. (2016). Current Alzheimer Research, 13(999) 1-1. Disponible en: http://bcn.cl/29uhk (Abril, 2019).

prótesis. Mario Olivares, ingeniero de la Universidad Andrés Bello, diseñó en 2018 una mano prostética de bajo costo, controlada con impulsos eléctricos del antebrazo[35]. Fue su proyecto final de carrera y hoy está disponible en clínicas de varios países del cono sur.

Fuera del área médica (que cuenta con una estricta regulación ética para la protección de los seres humanos), también se están desarrollando aplicaciones neurotecnológicas que están disponibles directamente para el consumo[36].

Actualmente, varios laboratorios públicos y privados trabajan en desarrollar dispositivos que, al pensar, lleven ese pensamiento a una pantalla o a voz [37],[38]. De hecho (y utilizando electrodos implantados), un equipo en California logró la reconstrucción sintética del habla humana basada en registros cerebrales de pacientes[39]. No es descabellado pensar que se logre algo parecido muy pronto con técnicas no invasivas.

Muchos de estos aparatos están pensados para la educación, comercio y entretenimiento, y no para pacientes sino para consumidores sanos. Existen ya, por ejemplo, equipos caseros de EEG que ayudan a aprovechar los momentos de concentración, utilizando sensores que despliegan información sobre la intensidad y composición de las ondas cerebrales, apoyando actividades como meditación y biofeedback, determinan el nivel de atención y usan aplicaciones para celulares[40].

La industria de defensa[41] y la de videojuegos asociados a neurotecnologías tienen también un incremento importante y sostenido.

Algunos cálculos sobre el mercado mundial de equipos de venta directa de neurotecnologías (para salud, educación y juegos) lo cifran en más de 8 mil millones de dólares, sólo en 2018, y se espera que llegue a más de 13 mil millones para 2022. Cada vez menos invasivos, estos equipos tienen un valor entre 50 y 500 dólares. Las patentes, por su parte, se han más que duplicado en los últimos 10 años[42].

Desafíos éticos

Gran parte de este equipamiento está comercializado bajo parámetros médicos: tecnologías de asistencia o tratamientos para curar enfermedades. Estos cuentan con resguardos éticos amparados entre otros en la Declaración de los Derechos Humanos[43], el Código de Nuremberg[44] (1947), la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, AMM[45], las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Biomédica en Seres Humanos[46] (2002) del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la OMS. También existen acuerdos internacionales más específicos, como la Declaración Internacional sobre los Datos Genéticos Humanos de la UNESCO (2003)[47]. Esto implica que tanto la investigación como el desarrollo tecnológico son autorizados por Comités de Bioética o similares.

Pero en el caso de productos pensados para otros fines, no se ha desarrollado todavía una regulación específica en el área, ni tampoco parámetros éticos para, por ejemplo, el mejoramiento humano, o el uso de datos que provengan de la actividad del cerebro.

Estos “neurodatos” son categóricamente distintos a los datos normalmente acumulados por dispositivos móviles o electrónicos, ya que pueden permitir la decodificación de la actividad mental del usuario.

Los avances científicos en el área se acercan cada día más a decodificar patrones de ondas cerebrales que, en principio, serían capaces de identificar patrones de señales de movimientos voluntarios y traspasarlos a brazos o piernas robóticas[48]. Pero también pueden identificar otros patrones como intereses, prejuicios, mentiras, trastornos de personalidad, entre otros.

Sus aportes para el diagnóstico clínico pueden ser evidentes, así como la confianza en un marco ético adecuado gracias a los avances en bioética. Pero sus aplicaciones en otros contextos (comerciales, educativos, policiales) no cuentan aún con regulaciones técnicas o legislativas.

A inicios de 2019, el investigador israelí de origen francés Moran Cerf comentó en la revista estadounidense Time que la tecnología que más temor le produce es la inequidad neural, donde algunas personas (por medio de neurotecnologías) podrían volverse “desproporcionadamente más inteligentes” que el promedio[49]. Su preocupación no es sólo un asunto periodístico y social, es un creciente tema de estudio científico, ético y legal[50],[51].

Las posibilidades de inequidad de acceso, de vulneración de la libertad y la autonomía de pacientes y consumidores, así como de su uso comercial, son cuestiones éticas que se desprenden del conocimiento del cerebro y de sus aplicaciones. Su uso con fines militares o policiales también está en el centro del debate, así como las posibilidades de manipulación para fines políticos o comerciales.

Propuestas desde la ciencia

Hay consenso en el mundo de la ética sobre las implicancias de las neurotecnologías en la sociedad y en ese límite hasta ahora infranqueable que es el cerebro humano. Agrupados bajo el amparo de la neuroética[52], el neuroderecho e iniciativas científicas (como la desarrollada por Martha Farah en 2016[53], que propuso una serie de conceptos base para desarrollar un debate ético sobre neurotecnologías) se está configurando un marco común de temas a atender desde la política pública y los legisladores.

Una de las propuestas más avanzadas y consensuadas es la del *Morningside Group*, liderado por Rafael Yuste y Sara Goering, junto a 27 de las más destacadas personalidades de la ciencia y la ingeniería en este campo. En 2017, este grupo propuso que las interfaces cerebro-computador y la inteligencia artificial deben respetar y preservar cuatro principios[54]:

- resguardar la privacidad y autonomía personal;
- proteger la identidad y agencia (entendida esta última desde su acepción sociológica: habilidad de elegir nuestras acciones con libre albedrío);
- regular la "aumentación artificial" de capacidades cerebrales (que podría producir inequidades),
- controlar los posibles sesgos de algoritmos o procesos automatizados de toma de decisiones.

Estas cuatro prioridades tienen como fin el desarrollo responsable de estas tecnologías, de forma similar a como se ha regulado la ingeniería genética o la energía atómica.

Avances desde el Derecho

Estudios en el ámbito jurídico muestran similitudes sobre las áreas a regular. Carlos Alberto Amoedo-Mouto, en 2018, sintetizó los avances en la materia en un completo artículo donde identifica dos trabajos sobre el futuro de la regulación. El primero es el manual *Law and Neuroscience*, de la Red de Investigación en Legislación y Neurociencias de la Fundación MacArthur, de Estados Unidos, que propone como temas que serán prioritarios para el legislador el acrecentamiento artificial de la capacidad cognitiva, las interfaces cerebro-computador y la Inteligencia artificial[55].

El segundo, es un análisis de legislación comparada en casi treinta países[56], que sugiere: la responsabilidad criminal; la utilización pericial de los avances neurocientíficos; acceso al nivel cerebral primario del consumidor (neuromarketing y neuroeconomía); BCI´s; muerte cerebral, y regulación de los estándares de investigación neurocientífica, "en especial de los frecuentes hallazgos casuales que genera la exploración cerebral experimental".

Algunos países ya cuentan con normas regulatorias, aunque son pocos. Francia incorporó en su Código Civil una modificación a su legislación en bioética para regular el uso de la información cerebral como pruebas periciales[57]. En Latinoamérica el neuroderecho está aún en el ámbito académico[58], aunque existen ejemplos del uso de neurotecnologías como pruebas judiciales en países como México, por ejemplo.

Además, el Parlamento Europeo, en 2017, aprobó las "Normas de Derecho civil sobre robótica" una de las primeras acciones concretas en regulación, en este caso con recomendaciones a la Comisión Europea sobre normas de Derecho Civil sobre robótica[59].

Así como la investigación espacial culminó con la conquista del espacio, y la investigación genómica con la secuenciación del genoma humano, la investigación en el cerebro está acercándose a pasos de gigante al descubrimiento de una de las últimas fronteras: el cerebro.

De la misma forma en que hoy tenemos una legislación espacial y sobre genética con bases compartidas en todo el mundo, estamos a las puertas del desarrollo de una regulación que tendrá alcances globales en el uso responsable de la información cerebral, y de lo que nos hace humanos.

La regulación y definición de un marco legal para el desarrollo y uso de estas nuevas neurotecnologías, lejos de ser un problema, se podría considerar como una oportunidad de liderazgo internacional para Chile en este tema, que puede tener una importancia histórica para la sociedad del futuro.

Este documento es un análisis especializado, sujeto a los criterios de validez, confiabilidad, neutralidad y pertinencia que orientan la labor de Asesoría Técnica Parlamentaria, en el apoyo al debate legislativo. El tema y el contenido del mismo responden a los criterios y plazos acordados previamente con el requirente.

Creative Commons Atribución 3.0
(CC BY 3.0 CL)

Referencias:

[1]"Using thought to control machines", The Economist, jan 4th 2018. Disponible en: http://bcn.cl/29u86 (Abril, 2019).
[2] The BRAIN Initiative. Instituto Nacional de Salud (NIH) de Estados Unidos. Disponible en: http://bcn.cl/29rl0 (Abril, 2019).
[3] European Union: Human Brain Project. Disponible en: http://bcn.cl/29rl2 (Abril, 2019).
[4] Instituto Chino de Investigación del Cerebro, Beijing. Disponible en: http://bcn.cl/29rl3 (Abril, 2019).
[5] Grillner Sten, et. al. "Worldwide initiatives to advance brain research", Nature Neuroscience volume 19, pages 1118–1122 (2016). Disponible en: https://www.nature.com/articles/nn.4371 (Abril, 2019).
[6] "BRAIN SCIENCE: Mapping the Landscape of Brain and Neuroscience Research". A report prepared by Elsevier Research Intelligence Analytical Services, 2014. Disponible en: http://bcn.cl/29rl4 (Abril, 2019).55/ElsevierBrainScienceReport2014-web.pdf (Abril, 2019).
[7] Informe Mundial sobre la Discapacidad, ONU, 2011. Disponible en: http://bcn.cl/29rl5 (Abril, 2019).
[8] Segundo Estudio Nacional de la Discapacidad, SENADIS, 2016. Disponible en: http://www.senadis.gob.cl/descarga/i/3959 (Abril, 2019).
[9] Monica Di Luca, President of the Federation of European Neuroscience Societies (FENS) and Board Member of the European Brain Council (EBC) en ""BRAIN SCIENCE: Mapping the Landscape of Brain and Neuroscience Research", pag 27. (Abril, 2019).
[10] "Gingrich reckons Alzheimer's could cost $20 trillion", Aging 2.0, 2011 Disponible en: http://bcn.cl/29rl7 (Abril, 2019).
[11] El término es una traducción del inglés "cognitive augmentation". Más información en Cinel C, et.al. "Neurotechnologies for Human Cognitive Augmentation: Current State of the Art and Future Prospects", Front. Hum. Neurosci., 31 January 2019. Disponible en: https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00013 (Abril, 2019).
[12] "The next frontier. When thoughts control machines". The Economist, 4 enero 2018. Disponible en: http://bcn.cl/29rl8 (Abril, 2019).
[13] Müller, O., & Rotter, S. "Neurotechnology: Current Developments and Ethical Issues". Frontiers in systems neuroscience, 11, 93. 2017. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5733340/ (Abril, 2019).
[14] Wolpaw JR, et al. "Brain-computer interfaces for communication and control". Clin Neurophysiol. 2002;113(6):767–791. pmid:12048038 Disponible en: https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3 (Abril, 2019).
[15] Stocco, A. et al, "Playing 20 Questions with the Mind: Collaborative Problem Solving by Humans Using a Brain-to-Brain Interface", PLOS ONE 10(9): e0137303, 2015. Disponible en: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137303
[16] Silva Gabriel, "A New Frontier: The Convergence of Nanotechnology, Brain Machine Interfaces, and Artificial Intelligence ", Frontiers in Neuroscience, Vol 12, 2018. Pag 843. Disponible en: https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2018.00843 (Abril, 2019).
[17] "Brain-Computer Interface", compilación de artículos sobre BCI, ScienceDirect. Disponible en: http://bcn.cl/29rla (Abril, 2019).
[18] Bramini, M. et al. "Interfacing Graphene-Based Materials With Neural Cells", Front. Syst. Neurosci., 11 April 2018 Disponible en: https://doi.org/10.3389/fnsys.2018.00012 (Abril, 2019).
[19] Tecnologías y dispositivos de asistencia según las Naciones Unidas. Disponible en: http://bcn.cl/29rlb (Abril, 2019).
[20] Zhang, W., et al. (2018). "Cochlear Gene Therapy for Sensorineural Hearing Loss: Current Status and Major Remaining Hurdles for Translational Success", Frontiers in molecular neuroscience, 11, 221. doi:10.3389/fnmol.2018.00221. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6028713/ (Abril, 2019).
[21] "Un implante coclear regenera nervio auditivo", K. Bourzak, MIT Tech Review, 2014. Disponible en: http://bcn.cl/29rlc (Abril, 2019).
[22] Pinyon, J et.al. "Dual-Plasmid Bionic Array-Directed Gene Electrotransfer in HEK293 Cells and Cochlear Mesenchymal Cells Probes Transgene Expression and Cell Fate", Human Gene Therapy Vol. 30, No. 2, 8 Feb 2019 disponible en: http://bcn.cl/29rld (Abril, 2019).
[23] Carmena JM et al."Learning to Control a Brain–Machine Interface for Reaching and Grasping by Primates", PLoS Biol. 2003 Nov;1(2):E42. Epub 2003 Oct 13. Disponible en: http://bcn.cl/29rle (Abril, 2019).
[24] Fuentes et.al. "Spinal Cord Stimulation Restores Locomotion in Animal Models of Parkinson's Disease", Science 20 Mar 2009: Vol. 323, Issue 5921, pp. 1578-1582. Disponible en: http://science.sciencemag.org/content/323/5921/1578 (Abril, 2019).
[25] Prensa de Clínica Las Condes: "Cirugía de estimulación medular: exitoso resultado en paciente con Parkinson". 07 de marzo, 2018. Disponible en: https://www.clinicalascondes.cl/BLOG/Listado/Neurologia-Adultos/cirugia-estimulacion-medular (Abril, 2019).
[26] Protocolo 2018: Dispositivo de estimulación cerebral profunda para distonía generalizada, Ministerio de Salud. Disponible en: https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2015/08/Diston%C3%ADa-Generalizada.pdf (Abril, 2019).
[27] Ramakrishnan, A.et al."Computing Arm Movements with a Monkey Brainet" Sci.Rep.5,10767 (2015). Disponible en: https://www.nature.com/articles/srep10767 (Abril, 2019)
[28] Stocco, A. et al, "Playing 20 Questions with the Mind: Collaborative Problem Solving by Humans Using a Brain-to-Brain Interface", PLOS ONE 10(9): e0137303, 2015. Disponible en: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137303 (Abril, 2019)
[29] "UW team links two human brains for question-and-answer experiment", septiembre 2015, Washington University. Disponible en: https://www.washington.edu/news/2015/09/23/uw-team-links-two-human-brains-for-question-and-answer-experiment/ (Abril, 2019)
[30] "Scientists connect three people's minds so they can communicate using brainwaves alone", marzo de 2018, Newsweek. Disponible en: https://www.newsweek.com/brainnet-scientists-connect-three-peoples-brains-so-they-can-communicate-1150448 (Abril, 2019)
[31] Rein, M. L., & Deussing, J. M. (2011). The optogenetic (r)evolution. Molecular genetics and genomics : MGG, 287(2), 95–109. doi:10.1007/s00438-011-0663-7. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3266495/ (Abril, 2019)
[32] Mahmoudi, P., Veladi, H., & Pakdel, F. G. (2017). Optogenetics, Tools and Applications in Neurobiology. Journal of medical signals and sensors, 7(2), 71–79. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5437765/(Abril, 2019)

[33] E. Mastinu, P. Doguet, Y. Botquin, B. Håkansson and M. Ortiz-Catalan, "Embedded System for Prosthetic Control Using Implanted Neuromuscular Interfaces Accessed Via an Osseointegrated Implant," in IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol. 11, no. 4, pp. 867-877, Aug. 2017. Disponible en: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7932919&isnumber=7993096 (Abril, 2019).

[34] "Jorge Zúñiga, dr. en fisiología mecánica: el científico inventor chileno que decidió donar su creación al mundo" Programa Explora de Conicyt, 2016. Disponible en: http://bcn.cl/29rlg (Abril, 2019).

[35] "Exalumno de Ingeniería en Automatización y Robótica diseña sorprendente prótesis biónica", Niticias UNAB, marzo de 2018. Disponible en: http://bcn.cl/29rlh (Abril, 2019).

[36] Ratti, E., Waninger, S., Berka, C., Ruffini, G., & Verma, A. (2017). Comparison of Medical and Consumer Wireless EEG Systems for Use in Clinical Trials. Frontiers in human neuroscience, 11, 398. doi:10.3389/fnhum.2017.00398. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5540902/

[37] Kay, K. N., Naselaris, T., Prenger, R. J., & Gallant, J. L. (2008). Identifying natural images from human brain activity. Nature, 452(7185), 352–355. doi:10.1038/nature06713. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3556484/ (Abril, 2019).

[38] Cooney, C., Folli, R., & Coyle, D. (2018). Neurolinguistics Research Advancing Development of a Direct-Speech Brain-Computer Interface. iScience, 8, 103–125. doi:10.1016/j.isci.2018.09.016 Disponible en: http://bcn.cl/29rli (Abril, 2019).

[39] Gopala K. Anumanchipalli, Josh Chartier & Edward F. Chang, "Speech synthesis from neural decoding of spoken sentences Nature volume 568, pages493–498 (2019). Disponible en: https://www.nature.com/articles/s41586-019-1119-1 (Abril, 2019).

[40] Producto comercial – electroenfcefalógrafo para educación o juegos, Neurosky. Disponible en: http://bcn.cl/29rlk (Abril, 2019).

[41] Jin H. et al. "Military Brain Science – How to influence future wars", Chin J Traumatol. 2018 Oct; 21(5): 277–280. Published online 2018 May 18. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6235785/ (Abril, 2019).

[42] Marcello Ienca, Pim Haselager & Ezekiel J Emanuel "Brain leaks and consumer neurotechnology", commentary, Nature Biotechnology Volume 36 Number 9 September 2018. Disponible en: http://bcn.cl/29rll (Abril, 2019).

[43] Declaración universal de Derechos Humanos, Naciones Unidas. Disponible en: http://bcn.cl/29rlm (Abril, 2019).

[44] "Código de Nuremberg", NIH. Disponible en: https://history.nih.gov/research/downloads/nuremberg.pdf (Abril, 2019).

[45] Declaración de Helsinki, AMM. Ppios. éticos para investigaciones médicas en humanos. Disponible en: http://bcn.cl/29rln (Abril, 2019).

[46] "Pautas éticas internacionales para la investigación biomédica en seres humanos", Preparadas por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la OMS. 2002. Disponible en: http://bcn.cl/29rlo (Abril, 2019).

[47] UNESCO, "Declaración Internacional sobre los Datos Genéticos Humanos, 10/2003. Disponible en: http://bcn.cl/1nypq (Abril, 2019).

[48] Marcello Ienca, Pim Haselager & Ezekiel J Emanuel "Brain leaks and consumer neurotechnology", commentary, Nature Biotechnology Volume 36 Number 9 September 2018. Disponible en: http://bcn.cl/29rll (Abril, 2019).

[49] "6 Tech Leaders on What They Fear the Most", Time, por Laurie Segall. enero de 2019. Disponible en: http://bcn.cl/29rlp (Abril, 2019).

[50] Roelfsema, P, et al. "Opinion: Mind Reading and Writing: The Future of Neurotechnology", Trends in Cognitive Sciences Volume 22, Issue 7, July 2018, Pages 598-610.Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.001 (Abril, 2019).

[51] Goering, S, Yuste, R. Commentary: "On the Necessity of Ethical Guidelines for Novel Neurotechnologies", Cell, Volume 167, Issue 4, 3 November 2016, Pages 882-885. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.10.029 (Abril, 2019).

[52] Neuroethics. Stanford Encycloedia of Philosophy. Disponible en: https://plato.stanford.edu/entries/neuroethics/ (Abril, 2019).

[53] Farah, M, "An Ethics Toolbox for Neurotechnology", Neuron, Volume 86, Issue 1, 8 April 2015, Pages 34-37. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.03.038 (Abril, 2019).

[54] Yuste, R, Goering, S. más 23 investigadoras e investigadores "Four ethical priorities for neurotechnologies and AI" Nature, Vol 551, Issue 7679, nov 2017. Disponible en: http://bcn.cl/29rlq (Abril, 2019).

[55] Owen Jones, Jeffrey Schall, Francis Shen "*Law and Neuroscience*, Law and Neuroscience", (New York, Wolters Kluwer Law & Business, 2014), en en Amoedo-Souto, "El derecho administrativo español ante las neurociencias y el neuroderecho: desarrollos y perspectivas", IUS ET SCIENTIA (ISSN: 2444-8478) 2018, Vol.4, nº 1, pp. 84-106. Disponible en: http://bcn.cl/29rlr (Abril, 2019).

[56] Libro "International Law, A comparative Analysis", de Tade Matthias Spranger, y Ley nº 2011-814, de 7 de julio, de Francia, en Amoedo-Souto, "El derecho administrativo español ante las neurociencias y el neuroderecho: desarrollos y perspectivas", IUS ET SCIENTIA (ISSN: 2444-8478) 2018, Vol.4, nº 1, pp. 84-106. Disponible en: http://bcn.cl/29rls (Abril, 2019).

[57] Libro "International Law, A comparative Analysis", de Tade Matthias Spranger, y Ley nº 2011-814, de 7 de julio, de Francia, en Amoedo-Souto, "El derecho administrativo español ante las neurociencias y el neuroderecho: desarrollos y perspectivas", IUS ET SCIENTIA 2018, Vol.4, nº 1, pp. 84-106. Disponible en: http://dx.doi.org/10.12795/IETSCIENTIA.2018.i01.06 (Abril, 2019).

[58] García-López, E, et.al. "Neurolaw in Latin America: Current Status and Challenges", Neurolaw in Latin America: Current Status and Challenges, International Journal of Forensic Mental Health, 2019. Disponible en: http://bcn.cl/29rlt (Abril, 2019).

[59] P8_TA(2017)0051 "Normas de Derecho civil sobre robótica: Resolución del Parlamento Europeo, de 16 de febrero de 2017, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica (2015/2103(INL)). Parlamento Europeo, 2017. Disponible en: http://bcn.cl/29rlu (Abril, 2019).