
Neurotecnologías y neuroderechos: una revisión a propósito de la reforma constitucional chilena*

» CARLOS AMUNÁTEGUI PERELLÓ**

RESUMEN. Los dispositivos neurotecnológicos que comunican el cerebro y las computadoras son el resultado de la aplicación de las teorías clásicas de la información al terreno de la neurología. Tal cuestión plantea una serie de desafíos que deben enfrentarse normativamente desde el derecho. Este trabajo intenta describir los sistemas tecnológicos que hacen necesaria la configuración de neuroderechos, así como dar cuenta de los primeros efectos de la reforma constitucional que los introdujo en el ordenamiento jurídico chileno.

PALABRAS CLAVE: neurotecnologías, neuroderechos, información, dispositivos neurotecnológicos.

* Fecha de recepción: 28 de junio de 2024. Fecha de aceptación: 28 de marzo de 2025.

Para citar el artículo: Amunátegui Perelló, C., “Neurotecnologías y neuroderechos: una revisión a propósito de la reforma constitucional chilena”, *Revista de Derecho Privado*, Universidad Externado de Colombia, n.º 49, julio-diciembre 2025, 5-29. DOI: <https://doi.org/10.18601/01234366.49.01>.

** Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile; profesor titular de la Facultad de Derecho. Doctor en Derecho, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España. Licenciado en Derecho, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile. Contacto: camunate@uc.cl Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7063-2770>.

Neurotechnologies and Neurorights: A Review on the Occasion of Chilean Constitutional Reform

ABSTRACT. Brain computer interfaces are the result of applying classical information theories to the field of neurology. This issue raises a series of challenges that must be addressed normatively through the law. This work attempts to describe the technological systems that make the configuration of neuro-rights necessary, as well as to account for the initial effects of the constitutional reform that introduced them into the Chilean legal system.

KEYWORDS: neurotechnologies, neurorights, information, brain computer interfaces.

SUMARIO: Introducción. I. BCI o interfaces cerebro-computadora: descripción y desafíos jurídicos. II. Neuroderechos: hacia un marco jurídico. III. El caso chileno. Conclusiones. Referencias.

Introducción

Las instituciones jurídicas son el resultado de la construcción de reglas. Son hechos institucionales, que intentan normar realidades sociales a partir del establecimiento de un conjunto de reglas que les sirven de fundamento¹. En este sentido, cuando se plantea la necesidad de crear una institución jurídica, como lo son los *neuroderechos*, deben analizarse, a lo menos, tres elementos fundamentales, a saber, los hechos sociales que justifican su existencia, las reglas que debiesen crearse para su regulación y el resultado normativo esperado. Este será justamente el orden que seguiremos en este breve trabajo, donde describiremos los elementos técnicos que hacen necesario el establecimiento de un conjunto de normas que permitan la creación de neuroderechos para la sociedad actual.

Cosas que parecían relegadas a la magia o la fantasía se han hecho cotidianas. No obstante, toda aplicación técnica no es más que el resultado de un conjunto de elementos teóricos, y en el particular caso de las neurotecnologías, los fundamentos teóricos en que se basan tienen su origen en algunos desarrollos de mediados del siglo XX, resultado de la aplicación de un conjunto relativamente limitado de

1 En palabras de Searle: “*Institutional facts are typically objective facts, but oddly enough, they are only facts by human agreement or acceptance. Such facts require institutions for their existence [...]. An institution is a system of constitutive rules, and such a system automatically creates the possibility of institutional facts*”. Searle, J., *Making the Social World. The Structure of Human Civilization*, Oxford University Press, Nueva York, 2010, 10.

ciencias básicas desarrolladas por un grupo científico conocido como *cibernéticos* o Grupo de Macy².

A comienzos del 1900, Ramón y Cajal había establecido la estructura celular del tejido nervioso, compuesto por un conjunto de células, denominadas neuronas, que se conectan a través de uniones, llamadas sinapsis, formando redes³. De los trabajos de Galvani y Volta⁴ ya era conocido que las neuronas constituyen un sistema que transmite impulsos eléctricos a los músculos, por lo que la conclusión más evidente era que la red de neuronas que conforma el cerebro y el sistema nervioso en general debía funcionar transmitiendo impulsos eléctricos. Algo menos evidente, pero deducido por el mismo Ramón y Cajal, es que esta red de neuronas funciona en un solo sentido (*feed forward*), es decir, transmite las señales eléctricas de una neurona a otra, pero no puede usarse la misma sinapsis para retro-propagar (*feed back*) señales en sentido inverso.

Otro hecho importante, que era conocido en la época, es que las señales que transmiten las neuronas –denominadas potenciales de acción– son todas idénticas en intensidad, esto es, no son moduladas en ningún sentido. Pueden variar en número y velocidad, pero su fuerza es siempre idéntica. Hasta la década de 1930 se discutía intensamente acerca de la forma en que se transmiten las señales: si se hace directamente a través de una conexión eléctrica o si existe algún proceso más complejo de transmisión químico o electroquímico involucrado. En la realidad, ambos modelos son usados por el sistema nervioso. Algunas neuronas se conectan liberando sustancias químicas, conocidas como neurotransmisores⁵, en un espacio entre las neuronas, llamado hendidura sináptica –que es la separación que se produce entre las neuronas que realizan una sinapsis–, donde dichas sustancias son capturadas por la neurona que recibe la señal. En otros casos –como, por ejemplo, en el de aquellas neuronas que controlan los músculos–, funcionan directamente con transmisión eléctrica.

Las neuronas interactúan de una manera compleja. Los potenciales de acción de una neurona pueden tener efectos excitatorios –llevando a la neurona que recibe

-
- 2 Entre sus miembros más conocidos se cuentan John von Neumann, creador de la arquitectura básica de todas las computadoras modernas, por una parte, y de la teoría de los juegos, por otra; Francis Crick, descubridor de la estructura del ADN y pionero en la investigación de la conciencia; Claude Shannon, creador de la teoría matemática de la información y, por supuesto, Norbert Wiener, quien estableció la tesis fundamental de la cibernética, esto es, que todos los sistemas, sean sociales, mecánicos o biológicos, se controlan a través de flujos de información. Al respecto, véase Conway, F. y Siegelman, J., *The Dark Hero of Information Age. In Search of Norbert Wiener the Father of Cybernetics*, Basic Books, 2005, 137; Heims, S. J., *The Cybernetics Group*, Cambridge, MIT University Press, 1991.
 - 3 Shadlen, M. y Kandel, E., “Neural Circuitry and Behavior”, en Kandel, E.; Koester, J. D.; Mack, S. H. y Siegelbaum, S. A., *Principles of Neural Science*, 6.ª ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 57.
 - 4 Kandel, E. y Shadlen, M., “The Brain and Behaviour”, en Kandel, E.; Koester, J. D.; Mack, S. H.; Siegelbaum, S. A., *Principles of Neural Science*, 6.ª ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 8.
 - 5 Shadlen, M. y Kandel, E., “Neural Circuitry and Behavior”, cit., 65.

el impulso más cerca de disparar su propio potencial de acción— o inhibitorios —bloqueando parcialmente la acción de la neurona que recibe el estímulo—. Esto depende tanto del tipo de sinapsis que se forme entre dos neuronas como de los neurotransmisores liberados, por lo que una misma señal o un mismo potencial de acción liberado por una neurona puede tener efectos inhibitorios en algunas neuronas, mientras que resulta excitatorio en otras. Sólo cuando la suma de los potenciales de acción recibidos por una neurona sobrepasa cierto umbral —sumando y restando los estímulos excitatorios e inhibitorios— ella disparará su propio potencial de acción.

Considerando todos estos factores, a comienzos de la década de 1940, Warren McCulloch investigó el funcionamiento del cerebro humano, y se preguntó cómo funciona exactamente todo este entramado de conexiones. ¿Acaso cuando las neuronas disparan transmiten un mensaje, tal vez uno binario?, ¿acaso este entramado de conexiones constituye una forma de cálculo, de computación?, ¿será que suman y restan hasta alcanzar un umbral?, ¿es acaso el sistema nervioso una forma increíblemente complicada de construir una suerte de Máquina Universal de Turing? El profesor McCulloch y un niño de la calle⁶, Walter Pitts, cambiarían la neurología y las ciencias de la computación para siempre. En el contexto científico del Grupo de Macy se gestó uno de los artículos científicos más importantes para la neurología moderna, relativo al control de sistemas mediante flujos de información, hasta el punto de que determinaría el desarrollo de la inteligencia artificial y de las neurotecnologías. Se trata del famoso artículo de McCulloch y Pitts de 1943, titulado “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”.

Computación en el cerebro

El modelo de McCulloch y Pitts sobre el sistema nervioso no es exacto en su descripción del funcionamiento del cerebro. Es un modelo simplificado que describe cómo una red neuronal podría operar para calcular y procesar la información que

6 La respuesta a tales preguntas requería habilidades matemáticas que estaban más allá de las posibilidades de McCulloch, pero el destino trajo a un niño de la calle a la vida del profesor, y esto hizo la crucial diferencia. Walter Pitts era el hijo de un fontanero. Producto de los maltratos paternos huyó de casa a los trece años. Mientras vagaba por las calles de la peligrosa Chicago de la década de 1930, se escondió de una pandilla que lo perseguía en la biblioteca pública, justo en la sección de matemáticas, cerca de los monumentales *Principia Mathematica* de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead. Mientras se escondía, comenzó a leer el texto y, luego, terminó por apasionarse por el mismo al punto que escribió una carta al propio Russell que contenía sus observaciones al respecto. Russell respondió sin saber que le escribía a un niño, invitándolo a ir a Cambridge a estudiar con él. Finalmente, Pitts terminó yendo a trabajar como conserje a la Universidad de Chicago, a fin de poder estudiar ahí. En 1938 fue presentado a McCulloch, cuando apenas tenía quince años. El relato, contado por Jerome Lettvin, que era el más cercano amigo de Pitts y más tarde profesor de bio-ingeniería en el MIT, es uno de los pasajes más memorables de la biografía de Wiener escrita por Conway y Siegelman; véase Conway, F. y Siegelman, J., *The Dark Hero of Information Age*, cit., 138.

recibe de los sentidos. Con todo, aunque es claro que el sistema nervioso central es mucho más complejo, el modelo es importante porque los modernos sistemas de inteligencia artificial han adoptado sus premisas para desarrollar redes neuronales artificiales⁷.

En términos sencillos, el modelo describe las operaciones del sistema nervioso como una máquina de computación digital. Cualquier afirmación puede ser expresada en términos lógicos y calculada mecánicamente en números binarios, con tal que esta se encuentre suficientemente formalizada y el sistema de computación tenga un mínimo de operadores lógicos. La actividad neuronal –esto es, el disparo de potenciales de acción, los efectos inhibitorios y excitatorios y la presencia de umbrales– puede ser descrita en términos lógicos⁸ y vertida en forma matemática, hasta el punto de que termine proporcionando una explicación del procesamiento de información realizado por el cerebro.

Por ejemplo⁹, todos tenemos sólo tres tipos de neuronas –o conos– que reaccionan al color en la retina: rojo, azul y verde. Si una de estas neuronas resulta excitada por el ancho de onda de una señal luminosa correspondiente al azul y otra resulta excitada por una señal que corresponde con el rojo, ambas transmiten sus potenciales de acción a una tercera neurona que recibe información relativa al color, y si la adición de ambas señales sobrepasa un cierto umbral, esta tercera neurona puede disparar su propia señal, la cual correspondería con el color morado. La fuerza de la señal será amplificada y repetida, resultando la fuerza de su transmisión modulada por el diámetro del axón que transmite la señal en cada sinapsis. De hecho, se puede multiplicar la señal por el ancho del axón para modelar el efecto, y el propio axón resulta modificado por la actividad neuronal, resultando su grosor ampliado o disminuido por la frecuencia de la misma. Este ejemplo, aunque simplificado exageradamente, ofrece una idea acerca de cómo el modelo McCulloch y Pitts describe la actividad neuronal.

7 “While the McCulloch–Pitts neuron no longer plays an active part in computational neuroscience, it is still widely used in neural computing, the technological application of networks of adaptive artificial neurons”. Airbib, M. y Bonaiuto, J., *From Neuron to Cognition Via Computational Neuroscience*, Cambridge (Mass.), MIT University Press = Kindle, 2016, pos. 2953.

8 “Many years ago one of us, by considerations impertinent to this argument, was led to conceive of the response of any neuron as factually equivalent to a proposition which proposed its adequate stimulus. He therefore attempted to record the behavior of complicated nets in the notation of the symbolic logic of propositions. The ‘all-or-none’ law of nervous activity is sufficient to insure that the activity of any neuron may be represented as a proposition. Physiological relations existing among nervous activities correspond, of course, to relations among the propositions; and the utility of the representation depends upon the identity of these relations with those of the logic of propositions”. McCulloch, W. y Pitts, W., “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, *Bulletin of Mathematical Biology*, 52, 1-2, 1943 = 1990, 100-101.

9 McCulloch y Pitts dan un ejemplo bastante más complejo acerca de los receptores de calor en la piel, como también una explicación matemática formal, pero para los fines de este artículo esperamos que un ejemplo acerca del color baste. Véase *ibid.*, 104-107.

El resultado es que las percepciones son una construcción del sistema nervioso¹⁰, que toma información del ambiente a través de ciertas neuronas que convierten información medioambiental en señales electroquímicas mediante un proceso llamado transducción. Lo que el modelo McCulloch-Pitts proporcionó es un modelo matemático acerca de cómo el sistema nervioso podría procesar información sensorial y convertirla en percepciones; incluso el proceso de aprendizaje podría ser formalizado dentro del modelo, como ajustes realizados a la fuerza de las sinapsis en sus efectos excitantes e inhibitorios. Este artículo trata al sistema nervioso como una compleja red neuronal que ofrece en 1943 el equivalente computacional de una Máquina de Turing Universal¹¹, esto es, mucho antes que computadora digital alguna estuviese disponible para el público y cuando las máquinas de Turing no eran más que un experimento mental propio de reducidos círculos de matemáticos.

Al diseñar las primeras computadoras digitales, John von Neumann cita el artículo de McCulloch y Pitts como un modelo para el EDVAC¹², y en 1957 las redes neuronales entran al mundo de la inteligencia artificial a través de la construcción del Perceptrón por parte de Frank Rosenblatt. En efecto, el modelo de McCulloch y Pitts es la inspiración para las redes neuronales de los actuales modelos de inteligencia artificial, incluidos los grandes modelos de lenguaje como ChatGPT. Ahora bien, y a pesar del éxito de este esquema en el mundo de la computación, en la neurología el resultado más importante consistió en inspirar a una nueva generación de neurólogos a expresar matemáticamente su conceptualización del cerebro, toda vez que el modelo de McCulloch y Pitts resulta demasiado simple y no describe adecuadamente el sistema nervioso, que es mucho más complejo.

Una aspiración natural que emerge una vez aclarada la fundamental similitud de las redes neuronales naturales y artificiales es conectar ambos tipos de redes y establecer un mecanismo que comunique el sistema nervioso con una computadora,

10 “This illusion makes very clear the dependence of the correspondence between perception and the ‘external world’ upon the specific structural properties of the intervening nervous net. The same illusion, of course, could also have been produced under various other assumptions about the behavior of the cutaneous receptors, with corresponding different nets”. *Ibid.*, 107.

11 “It is easily shown: first, that every net, if furnished with a tape, scanners connected to afferents, and suitable efferents to perform the necessary motor-operations, can compute only such numbers as can a Turing machine; second, that each of the latter numbers can be computed by such a net; and that nets with circles can be computed by such a net; and that nets with circles can compute, without scanners and a tape, some of the numbers the machine can, but no others, and not all of them. This is of interest as affording a psychological justification of the Turing definition of computability and its equivalents, Church’s λ -definability and Kleene’s primitive recursiveness: if any number can be computed by an organism, it is computable by these definitions, and conversely”. *Ibid.*, 113. Acerca del problema, véase Winning, J. y Bechtel, W., “Information-Theoretic Philosophy of Mind”, en Floridi L., *The Routledge Handbook of Philosophy of Information*, Londres–Nueva York, Routledge, 2016, 351.

12 Von Neumann, J., *First Draft on the Report on the EDVAC* [en línea], 1945, 5, disponible en: <http://abelgo.cn/cs101/papers/Neumann.pdf> [consultado el 27 de junio de 2024].

esto es, interfaces entre la máquina y el cerebro –*Brain Computer Interfaces* o BCI, por su sigla en inglés–. Este será el tema del siguiente acápite.

I. BCI o interfaces cerebro-computadora: descripción y desafíos jurídicos

Ya en la década de 1970 comienzan los primeros intentos para lograr la comunicación entre el cerebro y las computadoras¹³, esto es, la creación de mecanismos que permitan el flujo directo de información de dos tipos de sistemas –los naturales y los artificiales–, o sea, que permitan la transmisión del flujo eléctrico que representa la información en el sistema nervioso a una máquina, para que esta lo interprete. Tales mecanismos pueden ser clasificados en invasivos y no invasivos. Los primeros consisten en implantar electrodos dentro del cuerpo humano para así captar las señales eléctricas del cerebro directamente; los segundos, por su parte, tienen el mismo fin, pero sin penetrar en el cuerpo.

Los sistemas no invasivos se basan, en general, en la generación de imágenes del sistema nervioso a partir de la detección de los campos eléctricos o magnéticos que la actividad neuronal produce. La tecnología más antigua y sencilla utilizada para tal fin son los electroencefalogramas (EEG, en adelante). Inventados hace más de un siglo¹⁴, consisten en posicionar electrodos en el cráneo a fin de que estos capten las señales eléctricas producidas por las neuronas. Puesto que entre el electrodo y la actividad cerebral se encuentra el cráneo, sólo se obtiene una imagen relativamente pobre de lo que ocurre dentro del mismo, en forma de ondas, a las cuales se les asigna tradicionalmente una letra griega según su frecuencia y ancho (alfa, beta, gama, etc.). Esta información es interpretada por una red neuronal artificial a fin de obtener información de carácter general acerca de lo que ocurre dentro del cerebro.

Los EEG, como interfaz cerebro-computadora, ya están disponibles al público, aunque su uso comercial es incipiente. Entre ellos se encuentran juguetes que pueden controlarse con la mente¹⁵, cintillos para controlar la meditación o incluso la atención de los alumnos en clases¹⁶ y de los trabajadores en sus actividades.

13 Vidal, J., “Toward Direct Brain-Computer Communication”, *Annual Review of Biophysics*, 157-2, 1973, 157-180.

14 Fue aplicado por primera vez en seres humanos en 1924 por el médico alemán Hans Berger. Véase Stone J. L. y Hughes J. R., “Early History of Electroencephalography and Establishment of the American Clinical Neurophysiology Society”, *Clinical Neurophysiology*, 20, 2013, 28-44.

15 Ienca, M. y Andorno, R., “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology”, *Life Sciences, Society and Policy*, 13, 2, 2017, 2; también, Ienca, M., *Committee on Bioethics, Council of Europe, Common Human Rights Challenges Raised by Different Applications of Neurotechnologies in the Biomedical Fields* [en línea], 11, 2021, disponible en: <https://perma.cc/LVU9-8Y3H> [consultado el 27 de junio de 2024].

16 Según *The Guardian*, en escuelas primarias de China se experimentó con cintillos que contenían EEG a fin de monitorear los niveles de atención de los alumnos. Véase Standaert, M., “Chinese

Apple patentó su incorporación en sus AirPods, aunque todavía no es claro si se utilizará en sus futuros modelos¹⁷.

Las ventajas de los EEG consisten en que son baratos, miniaturizables y que se encuentran disponibles. Es una tecnología madura. Su principal problema es que entregan muy poca información acerca de los procesos que verdaderamente ocurren en el cerebro, por lo que su uso no genera una verdadera conexión entre el cerebro y la máquina. No obstante, con estos sencillos mecanismos se puede saber bastante acerca de una persona, toda vez que analizando los cambios que se producen en su actividad cerebral se puede averiguar, por ejemplo, su grado de alerta, si algún elemento provoca un cambio en su actividad neuronal o si sus gustos y preferencias se ven excitados por algún elemento.

Otra alternativa no invasiva mucho más sofisticada son las resonancias magnéticas funcionales (*functional magnetic resonance image* o fMRI). Esta es una tecnología que reconstruye imágenes del cerebro a través de la captación de los campos electromagnéticos que se generan en el cerebro por la concentración de oxígeno en la sangre necesaria para la producción de una señal eléctrica. La sangre usa hierro para transportar oxígeno, por lo que una concentración de hierro y electricidad genera un pequeño campo magnético que es captado y procesado en la forma de una imagen. Esta tecnología nace en la década de 1970¹⁸, aunque sólo en la década de 1990 se generaliza. Otorga imágenes del cerebro de gran precisión, incluso al nivel de neuronas individuales.

Uno de los experimentos más fascinantes llevados a cabo utilizando fMRI se publicó en 2019, cuando se realizaron resonancias magnéticas funcionales a un grupo de sujetos mientras se les exhibían imágenes provenientes de una base de datos. La máquina fue capaz de reconstruir las imágenes que los individuos veían simplemente a partir de la observación de su activación neuronal¹⁹. No obstante sus ventajas, los fMRI son aparatos de gran tamaño, difícilmente miniaturizables, y de momento su alto costo impide su desarrollo comercial.

Una tercera tecnología que ofrece más posibilidades son los magnetoencefalogramas (MEG), que se sirven de los campos magnéticos generados por la actividad postsináptica. Luego que una neurona recibe un potencial de acción, se genera

Primary School Halts Trial of Device that Monitors Pupils' Brainwaves" [en línea], *The Guardian*, 1.º de noviembre de 2019, disponible en: <https://perma.cc/6PB7-RLGF> [consultado el 27 de junio de 2024].

17 <https://www.patentlyapple.com/2023/07/apple-invents-a-next-generation-airpods-sensor-system-that-could-measure-biosignals-and-electric-activity-of-a-users-brain.html> [consultado el 27 de junio de 2024].

18 Véase Lauterbur, P. C., "Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance", *Nature*, 242, 1973, 190-191. Para una explicación detallada, véase Shohamy, D. y Turk-Browne, N., "Imaging and Behavior", en Kandel, E.; Koester, J. D.; Mack, S. H. y Siegelbaum, S. A., *Principles of Neural Science*, 6.ª ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 111.

19 Shen, G.; Dwivedi, K. *et al.*, "End-to-End Deep Image Reconstruction From Human Brain Activity", *Frontiers in Computational Neuroscience*, 13, 21, 2019.

una señal eléctrica que tarda en difuminarse y que genera un campo eléctrico que puede ser captado para construir una imagen de la actividad neuronal.

Esta tecnología comienza a desarrollarse en la década de 1960^[20], aunque no será sino algunas décadas más tarde que mostrará su verdadero potencial. Los MEG tienen la ventaja de mostrar la actividad neuronal en tiempo real, pero sólo a nivel de grupos de neuronas. Aunque de momento es una tecnología cara, hay esfuerzos en la dirección de su miniaturización, existiendo incluso escáneres de mano²¹ que podrían generalizarse en el futuro próximo.

Meta ha mostrado recientemente un desarrollo interesante de esta tecnología. En dos artículos publicados en 2022^[22], exhibió los resultados de un experimento dirigido a estudiar el sistema auditivo humano. Primero expuso a un grupo de sujetos a audiolibros en inglés, francés y mandarín mientras un fMRI monitoreaba sus reacciones neuronales. Posteriormente, expuso a este grupo de sujetos a un discurso hablado mientras registraba el funcionamiento de su sistema auditivo con la ayuda de un MEG. La información del MEG alimentaba un sencillo modelo generativo de palabras, similar al primer GPT, a fin de intentar reconstruir a partir de las señales neuronales el discurso escuchado. El resultado fue que pudo reconstruir con más de un 70% de precisión la información oída por los sujetos. Si bien esto no es leer la mente, se parece bastante.

Existen otras tecnologías no invasivas que pueden ser utilizadas para conectar el sistema nervioso central y redes neuronales artificiales, pero, de momento, las anteriormente descritas son las más usadas.

Ahora bien, otro campo completo es el conformado por las tecnologías invasivas. Si bien es cierto que en los EEG el principal impedimento para lograr una imagen de alta resolución es la existencia del cráneo entre el electrodo y la señal eléctrica, esto podría ser fácilmente superado insertando el electrodo directamente en el tejido cerebral, que captaría directamente las señales eléctricas generadas por el sistema nervioso.

En efecto, existen técnicas terapéuticas que implican la inserción de electrodos en el sistema nervioso para tratar determinadas afecciones, como es el caso de la enfermedad de Parkinson. Cuando los pacientes se vuelven inmunes al tratamiento farmacológico convencional –básicamente la levodopa–, una posibilidad es implantar un electrodo directamente en el tálamo que emita señales eléctricas

20 Cohen, D., “Magnetoencephalography: Evidence of Magnetic Fields Produced by Alpha Rhythm Currents”, *Science*, 161, 1968, 784-786.

21 Véase Seymour, R. y Maguire, E., “Using OPMS to Measure Neural Activity in Standing, Mobile Participants”, *Neuroimage*, 144, 2021.

22 Véase Millet, J.; Caucheteux, C. *et al.*, “Toward a Realistic Model of Speech Processing in the Brain with Self-Supervised Learning” [en línea], 2022, disponible en: <https://arxiv.org/abs/2206.01685> [consultado el 27 de junio de 2024]. Como también Défossez, A.; Caucheteux, C.; Rapin, J. *et al.*, *Decoding Speech from Non-Invasive Brain Recordings* [en línea], 2022, disponible en: <https://arxiv.org/abs/2208.12266> [consultado el 27 de junio de 2024].

durante las crisis²³. Esta técnica se utiliza desde la década de 1990^[24], aunque no está dirigida a establecer ningún tipo de comunicación entre el cerebro y la computadora.

En cualquier caso, ya desde los años setenta se comenzó a probar la posibilidad de implantar electrodos en el cerebro con la expresa finalidad de comunicar el cerebro con una computadora²⁵. Estos utilizaban formaciones de microelectrodos –*microelectrodes arrays* o MEA–, pequeños chips que contenían electrodos que se implantaban directamente en la corteza motora del cerebro. Por su riesgo y naturaleza, sólo se desarrollaron para casos extremos y con fines de investigación. En cualquier caso, pacientes víctimas de esclerosis lateral amiotrófica (ELA) han conseguido comunicarse con el mundo exterior a través de este método²⁶. Ahora bien, puesto que requiere de una cirugía, y el cerebro puede rechazar el chip, desarrollar escaras y sufrir daños, en principio, esta técnica no parecía comercializable. Por otro lado, los pacientes a quienes fue implantado este dispositivo vivían con cables saliendo de su cabeza, lo cual es difícilmente compatible con una existencia fuera de una sala de cuidados intensivos o del laboratorio.

Pese a las dificultades expuestas, hay interés por dar un desarrollo comercial a esta tecnología, fundamentalmente por parte de actores importantes del mundo tecnológico, donde destaca Neuralink. Esta compañía ha mejorado las capacidades tradicionales de los MEA, creando su propia versión²⁷. En primer término, redujo su tamaño hasta alcanzar el de una moneda de cuarto de dólar. En ella redujo el tamaño de los electrodos a proporciones ultrafinas, de manera que estos pudiesen ser utilizados sin lesión al tejido nervioso. Amén de ello, se incorporó un sistema de *bluetooth* para conectar el dispositivo, así como también un sistema de recarga de baterías inalámbrico.

Los resultados de las pruebas en animales han sido impresionantes; el mundo entero ha podido ver a un macaco jugando videojuegos sólo con su mente²⁸. Durante el curso de 2023, Neuralink obtuvo la aprobación de la Food and Drug

23 Benabid, A. L., “Deep Brain Stimulation for Parkinson’s Disease”, *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 6, 2003, 696-706; Shenoy, Y., “Brain-Machine Interfaces”, en Kandel, E.; Koester, J. D.; Mack, S. H. y Siegelbaum, S. A., *Principles of Neural Science*, 6.ª ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 955.

24 Véase Parvizi, J. y Kastner, S., “Human Intracranial EEG: Promises and Limitations”, *Nature Neuroscience*, 21, 2018, 474-483.

25 Véase Pine, J., “A History of MEA Development”, en Baudry, M. y Taketani, M. (eds.), *Advances in Network Electrophysiology Using Multi-Electrode Arrays*, Nueva York, Springer, 2006, 3-23.

26 Chaudhary, U.; Vlachos, I.; Zimmermann, J. *et al.*, “Spelling Interface Using Intracortical Signals in a Completely Locked-in Patient Enabled Via Auditory Neurofeedback Training”, *Nature Communications*, 13, 2022.

27 Para los detalles técnicos, véase: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-00304-4> [consultado el 27 de junio de 2024].

28 Pueden consultarse los videos proporcionados por la compañía en: <https://neuralink.com/blog/pager-plays-mindpong/> [consultado el 20 de enero de 2025].

Administration (FDA) para realizar pruebas en seres humanos. Actualmente se están realizando los primeros ensayos clínicos, y lo que la compañía ha develado provisionalmente es impactante. En los videos expuestos por esta²⁹ se puede ver a Noland Arbaugh, una persona de 29 años afectada de parálisis total, jugando ajedrez en una computadora mediante comunicación virtual a través del chip implantado. Aunque aún no se publican los resultados en forma de estudios, al menos la tecnología parece estar cumpliendo su cometido.

Otra alternativa interesante ha sido propuesta por la compañía australiana Synchron. Dicha compañía utiliza una tecnología fundamentalmente distinta a la de Neuralink, llamada *stentrode*. Se inserta una caja similar a un marcapasos en el pecho del paciente y desde ella se utilizan catéteres que suben por el sistema vascular –en concreto por la yugular– hasta el cerebro. Una vez ahí, el catéter extiende ocho electrodos que se ubican en las paredes vasculares del córtex motor para captar las señales del cerebro. Este sistema ya se ha implantado en seres humanos en Australia y existen casos como el de Rodney Gorham, una paciente que sufre de ELA completamente incapaz de comunicarse por sí misma con el mundo exterior, que hoy en día puede escribir correos electrónicos y navegar en internet mediante dicho dispositivo³⁰. Nuevamente, los estudios clínicos no han sido publicados, por lo que tenemos que conformarnos con aquello que la propia compañía nos muestra. Su uso experimental también ha sido aprobado por la FDA en 2023.

Si bien las posibilidades de estos dispositivos son impresionantes, los riesgos y dificultades que generan también lo son. Por una parte, aunque todos los cerebros humanos son similares y funcionan de una manera equivalente, en verdad hay un alto grado de diversidad entre ellos, de manera que los datos obtenidos de uno no son directamente aplicables a otro. El sistema nervioso presenta un alto grado de variabilidad entre individuos, de manera que no hay dos cerebros idénticos. Por lo demás, el cerebro es moldeado con cada sinapsis e interacción, por lo que existe una divergencia fundamental entre ellos. Esto implica que para lograr que una red neuronal artificial interprete lo ocurrido en un sistema nervioso deba ser entrenada con los datos de cada cerebro en particular. Puede que, con una cantidad suficiente de datos, redes pre-entrenadas con datos generales lleguen a comprender cerebros individuales; sin embargo, de momento esto no parece posible. Es por lo anterior que los datos cerebrales de una persona en concreto son extremadamente valiosos.

En este sentido, el primer desafío propiamente jurídico que estas tecnologías plantean se encuentra en el ámbito de la protección de datos. Ante ello, la primera

29 Nuevamente, en la página de la compañía pueden encontrarse videos que muestran al paciente: <https://neuralink.com/blog/prime-study-progress-update/> [consultado el 20 de enero de 2025].

30 <https://www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20230822-rodney-gorham-un-pionero-de-la-comunicación-cerebro-máquinas> [consultado el 27 de junio de 2024].

pregunta que se formula es si los datos neuronales se encuentran protegidos por las actuales leyes o si estas deben ser reformadas.

Otro problema es la cantidad de cosas que se puede llegar a inferir acerca de una persona con una mínima cantidad de datos neuronales. Las reacciones nerviosas ante los diversos estímulos pueden hacer trivial para un sistema conocer todo tipo de información acerca del individuo, como su tendencia sexual, política o religiosa. Se puede saber mucho acerca de los deseos, miedos y aspiraciones de una persona simplemente observando su reacción neurológica ante imágenes presentadas al azar, por lo que el resguardo de la información neuronal parece fundamental.

Un tercer problema es la manipulación de que puede ser víctima una persona utilizando tales dispositivos. Por una parte, está la explotación a que puede ser sometida utilizando sus temores y aspiraciones, pero por otra está la posibilidad de escribir directamente en el sistema nervioso emociones o ideas ajenas.

El desafío de los neuroderechos es proteger a los individuos, de manera que sus derechos fundamentales de privacidad y libertad personal se vean resguardados en tales contextos. A este problema dedicaremos el siguiente acápite.

II. Neuroderechos: hacia un marco jurídico

La voz “neuroderechos” es un neologismo creado desde la ética³¹. En efecto, el rápido avance de las posibilidades tecnológicas provocó inquietud entre científicos dedicados a la materia, por lo que se llegó incluso a constituir un grupo de trabajo, el *Morningside Group*, radicado en la Universidad de Columbia y liderado por Rafael Yuste. Dicho grupo, ya en 2017 propuso la idea de establecer un marco jurídico que regulase estas nuevas técnicas desde el punto de vista de los derechos humanos³². Así, identificó cuatro áreas prioritarias de protección, a saber: la privacidad y el consentimiento, la capacidad jurídica y la identidad, la posibilidad de acceso a las mejoras neurológicas y, por último, la protección frente a la posible discriminación. Casi al mismo tiempo y de manera independiente, Roberto Andorno y Marcello Ienca³³ propusieron que el ámbito adecuado para tal

31 Ya en la década de 1990 expresiones como “*neurolaw*” emergieron para referirse a casos de daños y responsabilidad civil en el contexto de intervenciones médicas. Véase Taylor, J. S.; Harp, J. A. y Elliott, T., “Neuropsychologists and Neurolawyers”, *Neuropsychology*, 5, 4, 1991, 293-305. En cualquier caso, fue solo a comienzos del presente siglo que las preocupaciones éticas dieron origen a la neuroética. Uno de los trabajos fundamentales al respecto es Roskies, A., “Neuroethics for the New Millenium”, *Neuron*, 35, 1, 2002. Para un análisis de la emergencia de estos tipos, véase Caruso, G. D., *Neurolaw*, Cambridge, Cambridge University Press, 2024, 1-3.

32 Yuste, R. y Goering, S., “Four Ethical Priorities for Neurotechnologies and IA”, *Nature*, 551, 2017, 159-163.

33 “[T]he mind is a kind of last refuge of personal freedom and self-determination”. Ienca, M. y Andorno, R., “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology”, *Life, Science and Policy*, 13, 5, 2017, 1.

protección era el de los derechos humanos y, en consonancia con lo establecido por el *Morningside Group*, hicieron una propuesta jurídica que intenta agrupar los neuroderechos en cuatro tipos básicos: libertad cognitiva, privacidad mental, integridad mental y continuidad psicológica.

En lo fundamental, la libertad cognitiva –de conformidad a Andorno y Ienca³⁴– se refiere a la independencia de los procesos neuronales que fundamentan los estados mentales. Todos los seres humanos tendrían derecho a no ser manipulados neurológicamente, a que terceros no utilicen el conocimiento que los BCI entregan para dirigir sus estados mentales o psicológicos. Esto es diferente a la libertad de conciencia, que siempre ha estado enfocada en la expresión de las propias creencias, especialmente religiosas. Aquí no se reprimen, necesariamente, creencias, sino que se manipula el sistema nervioso para crear estados emocionales o cognitivos sin el conocimiento o consentimiento del afectado.

La privacidad mental³⁵, en cambio, gira en torno a la protección de la información acerca de los estados neurológicos de la persona, toda vez que serían de carácter tan sensible que deberían tener la máxima protección que el derecho establece.

La integridad mental³⁶, por su parte, se relaciona con que toda persona tiene derecho a que su mente no sea alterada por la modificación de sus estados neurológicos. Este derecho tiende a solaparse con la libertad cognitiva.

La continuidad psicológica se refiere a que la memoria sería el fundamento de la personalidad, por lo que no deben usarse estas tecnologías para interrumpir dicha sensación de continuidad. En verdad, este derecho parece también confundirse con la libertad cognitiva.

Considerando que la libertad cognitiva puede bien entenderse como comprensiva de la integridad mental y la continuidad psicológica, Farahany³⁷ subsume estos tres derechos en la sola libertad cognitiva –una opción que, como veremos, ya antes había tomado el legislador chileno–.

La preocupación por el establecimiento de neuroderechos se trasladó rápidamente a la esfera de las organizaciones internacionales, donde encontramos un creciente *corpus* de declaraciones que intentan modelar el estatuto de las interfaces cerebro-computadora en el campo ético y jurídico. Entre los más relevantes podemos mencionar los siguientes informes y declaraciones³⁸:

34 *Ibid.*, 9-10.

35 *Ibid.*, 9-11.

36 *Ibid.*, 11.

37 Farahany, N. A., *The Battle for your Brain*, Nueva York, St. Martin's Press, 2023.

38 Para un análisis pormenorizado de cada una de ellas, véase Reche Tello, N., *Mens iura fundamentalia. La neurotecnología ante la Constitución*, San José de Costa Rica, Colex, 2024, 73-93.

1. OECD. Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology, del 11 de diciembre de 2019.
2. Declaración del Comité de Bioética del Consejo de Europa: Strategic Action Plan on Human Rights and Technologies in Biomedicine (2020-2025), de la 16.^a sesión del 19 al 21 de noviembre de 2019.
3. ONU. Report on Respecting, Protecting and Fulfilling the Right to Freedom of Thought a la 76.^a Sesión de la Asamblea General, octubre de 2021.
4. ONU. Our Common Agenda. Informe a la Secretaría General, Nueva York, 2021.
5. Declaración de la OEA de la 99.^a Sesión del 2 al 11 de agosto de 2021 “Declaration of the Interamerican Juridical Committee on Neuroscience, Neurotechnologies and Human Rights: New Legal Challenges for the Americas”: Declaración de Principios Interamericanos en Materia de Neurociencias, Neurotecnologías y Derechos Humanos del Comité Jurídico Interamericano, aprobada en el 102.^o Período Ordinario de sesiones, OEA, 6 a 10 de marzo de 2023, CJI/RES 281 (CII-0/23).
6. Informe del Comité de Bioética Internacional de la UNESCO: Ethical Issues of Neurotechnology, diciembre de 2021.
7. Parlamento Latinoamericano y Caribeño (Parlatino). Declaración con recomendaciones sobre la necesidad de introducción de los neuro derechos en las legislaciones de los Congresos de este PARLATINO; como también, Parlamento Latinoamericano y Caribeño (Parlatino). Ley Modelo de Neuroderechos para América Latina y el Caribe del 10 de abril de 2023.

Básicamente, e intentando encontrar un hilo común en todos estos diversos cuerpos jurídicos, podemos decir que todos encuentran inspiración en la preocupación por la emergencia de tecnologías que permiten la comunicación entre cerebro y computadora, así como la insuficiencia de los derechos tradicionales para regularlas. Son materia de especial preocupación la integridad cerebral y mental, así como la privacidad de los datos neuronales que se obtienen a través de estas tecnologías. En efecto, el *leitmotiv* de todas estas declaraciones se encuentra en el desequilibrio imperante entre las capacidades de los dispositivos dedicados a la captura de datos del sistema nervioso central, su capacidad para decodificarlos estableciendo, a partir de ellos, las características mentales de un individuo, y su posible uso irrestricto, sea comercial, sea político, por parte de quienes los acumulen. Conocer el funcionamiento neuronal de un individuo concreto hace que su intimidad quede al descubierto. El análisis cerebral puede revelar sus tendencias políticas, sexuales o religiosas tan sólo estudiando la manera en que su sistema nervioso reacciona ante determinadas imágenes o palabras. También, se abre la posibilidad de predecir su conducta, toda vez que habría información suficiente acerca de sus reacciones. Pero más allá de esto, la potencialidad de algunos de los sistemas en estudio para no sólo leer lo que realiza el sistema nervioso, sino para incluso escribir en él, abre posibilidades aún más oscuras. En este sentido, aunque todos

estos cuerpos jurídicos de carácter internacional reconocen los enormes beneficios que las neurotecnologías pueden presentar, la preocupación por sus posibles aspectos negativos hace necesaria su regulación detallada, especialmente en lo que concierne a la privacidad de los datos neurológicos y la libertad cognitiva.

Ahora bien, en cuanto a la consagración legislativa de los neuroderechos, aparte del caso chileno, al que nos referimos más adelante, existen, hoy en día, algunos cuerpos jurídicos de diversa naturaleza que intentan regular el problema. Algunos son proyectos de ley en el marco latinoamericano, como en el caso argentino³⁹ y brasilero⁴⁰, que si bien, de momento, no pasan de ser proyectos, son interesantes en cuanto se refieren a aspectos específicos de las neurotecnologías. En el caso del proyecto argentino, su inspiración parece ser diversa, pues pretende regular el uso de imágenes cerebrales en los juicios, cuestión que no suele incluirse en la óptica de los neuroderechos, sino más bien en la del proceso. Dicha idea parece inspirarse en la legislación francesa sobre la materia⁴¹ y es sólo una recepción parcial de los usos de las neurotecnologías en el derecho. Al respecto, el referido proyecto modifica el Código Procesal Penal Federal de la Nación, específicamente su artículo 134, para admitir el uso de técnicas de imagen cerebral como medio de prueba en el proceso penal. En este sentido, aunque norma el uso de neurotecnologías, malamente calza dentro del ámbito de los neuroderechos propiamente dichos.

El proyecto brasilero, en cambio, nos parece más relevante, en la medida que ataca el problema de los datos neuronales y su protección de manera directa. El referido proyecto modifica la *Lei 13709* de 2018, sobre protección de datos personales, para incluir como datos sensibles aquellos referidos al sistema nervioso central, sea que se hayan obtenido por medios invasivos o no invasivos. A continuación regula el tratamiento de los datos neuronales, requiriendo un consentimiento expreso y específico para su recolección y estableciendo limitaciones en su uso.

Existen otros instrumentos normativos, entre los que contamos la recientísima ley del Estado de Colorado que regula la materia⁴² mediante una modificación de la ley de protección de datos de Colorado (*Colorado Privacy Act*, 21-190 de 2021) que define los datos neuronales a fin de darles el estatuto de datos sensibles. Si bien se trata de una legislación parcial que sólo se limita a la protección de la privacidad de los datos neuronales, su alcance es importante porque activa la discusión a nivel federal y abre la puerta a una regulación más comprensiva y profunda.

39 Proyecto de Ley 0339-D-2022 sobre incluir como medios probatorios las técnicas de imagen cerebral y cualquier otro tipo de neurotecnología del 4 de marzo de 2022.

40 Proyecto de ley 522/2 que reglamenta la protección del uso y del tratamiento de datos neuronales.

41 Al respecto, véase Pignatelli, L., *L'émergence d'un neurodroit*, París, Dalloz, 2021, 331 ss., con todas las críticas que la autora realiza.

42 *House Bill 24-1058* del 18 de abril de 2024, *Concerning protecting the privacy of individual's biological data, and, in connection therewith, protecting the privacy of neural data and expanding the scope of the "Colorado Privacy Act" accordingly.*

Otro instrumento normativo relevante a la hora de referirse a los neuroderechos es la Carta de Derechos Digitales de España del 24 de julio de 2021. Dicho instrumento se refiere a la materia en su capítulo XXVI:

1. Las condiciones, límites y garantías de implantación y empleo en las personas de las neurotecnologías podrán ser reguladas por la ley con la finalidad de:
 - a) Garantizar el control de cada persona sobre su propia identidad.
 - b) Garantizar la autodeterminación individual, soberanía y libertad en la toma de decisiones.
 - c) Asegurar la confidencialidad y seguridad de los datos obtenidos o relativos a sus procesos cerebrales y el pleno dominio y disposición sobre los mismos.
 - d) Regular el uso de interfaces persona-máquina susceptibles de afectar a la integridad física o psíquica.
 - e) Asegurar que las decisiones y procesos basados en neurotecnologías no sean condicionadas por el suministro de datos, programas o informaciones incompletos, no deseados, desconocidos o sesgados.
2. Para garantizar la dignidad de la persona, la igualdad y la no discriminación, y de acuerdo en su caso con los tratados y convenios internacionales, la ley podrá regular aquellos supuestos y condiciones de empleo de las neurotecnologías que, más allá de su aplicación terapéutica, pretendan el aumento cognitivo o la estimulación o potenciación de las capacidades de las personas.

Este instrumento es, probablemente, el más completo en la materia, por cuanto regula los aspectos más relevantes relativos a la protección neuronal, según el modelo del *Morningside Group*. En su regulación comprende tanto la integridad mental (1.a) como la libertad cognitiva (1.b), la privacidad de los neurodatos (1.c), la continuidad psicológica (1.d), e incluso agrega una posible protección en contra de los modelos fundados en datos sesgados. Por último, el numeral 2 incluye un acceso igualitario a las neurotecnologías. En este sentido, parecería una regulación de carácter robusto, a lo menos en su configuración. El gran problema es que dicho cuerpo normativo no tiene carácter de ley, por lo que su aplicabilidad y su carácter vinculante se encuentran en duda. En este sentido, la Carta de Derechos Digitales es un verdadero tigre sin dientes, que debiese inspirar programáticamente la política digital española, pero cuya aplicabilidad concreta y protección efectiva está en veremos.

III. El caso chileno

El debate relativo a los neuroderechos fue trasladado a Chile tempranamente, merced a la influencia de Rafael Yuste, del *Morningside Group*, y a la adopción de sus postulados por parte de la Comisión de Futuro del Senado de Chile, que entonces presidía el senador Guido Girardi Lavín. Tal proceso germinó en una reforma constitucional⁴³ que estableció un principio y dos derechos básicos:

Art. 19 n.º 1 de la Constitución Política de Chile:

El desarrollo científico y tecnológico estará al servicio de las personas y se llevará a cabo con respeto a la vida y la integridad física y psíquica. La ley regulará los requisitos, condiciones y restricciones para su utilización en las personas, debiendo resguardar especialmente la actividad cerebral, así como la información proveniente de ella.

El principio es el de servicialidad de la tecnología, que es más general que los neuroderechos, y establece que toda tecnología debe estar al servicio del ser humano. Dicha idea es profunda y tiene aplicación en cualquier ámbito –no exclusivamente en el relativo a las neurotecnologías–, por lo que dejamos su comentario para otra oportunidad.

Aunque se han formulado críticas por la vaguedad de los derechos consagrados⁴⁴, debe recalcar que la redacción es la de un texto constitucional, y que se cuenta con un mandato legal para desarrollar la regulación. Al respecto, existe un proyecto de ley, ya aprobado por unanimidad en el Senado, que se hace cargo de especificar la protección y los derechos⁴⁵.

Los derechos establecidos en la reforma constitucional se refieren a dos aspectos: (1) la privacidad de los datos neuronales y (2) la libertad cognitiva, resumida en la protección a la actividad cerebral. En este sentido, la reforma aborda una protección bastante amplia de los neuroderechos, aunque sin seguir estrictamente el modelo del *Morningside Group*, ni tampoco el perfilado por Andorno y Ienca.

43 Ley 21383, del 25 de octubre de 2021. Para una historia completa acerca de su adopción, véase Reche Tello, N., “Nuevos derechos frente a la neurotecnología: la experiencia chilena”, *Derecho Político Iberoamericano*, 2021, 112.

44 Zúñiga Fajuri, A.; Villavicencio Miranda, L.; Zaror Miralles, D. y Salas Venegas, R., “De la trivialidad de los neuroderechos”, *Bits de Ciencia*, 22, 2022, 24-29; Zúñiga-Fajuri, A.; Villavicencio Miranda, L.; Zaror Miralles, D. y Salas Venegas, R., “Neurorights in Chile: Between Neuroscience and Legal Science”, *Developments in Neuroethics and Bioethics* (Elsevier), vol. 4, 2021, 165-180.

45 Se presentó como moción parlamentaria el 7 de octubre de 2020, Boletín n.º 13.828-19. Para un análisis completo, véase Amunátegui Perelló, C., “Natural and Artificial Neural Networks: The Chilean Framework”, *Journal of Civil Law Studies*, 14, 1, 2022.

En cierto sentido, parece más cercana a las ideas de Farahany⁴⁶, toda vez que subsume los diversos aspectos de la integridad mental y la continuidad psicológica en la libertad cognitiva.

Básicamente, el primer aspecto consiste en dar una especial protección a los datos neuronales, al señalarse un deber específico de “resguardar especialmente la actividad cerebral, así como la información proveniente de ella” (art. 19 n.º 1 de la Constitución Política de la República de Chile). En este sentido, habida cuenta de que una nueva ley de protección de datos se encuentra aún en tramitación, el constituyente opta por dar una especial protección constitucional a este tipo de datos, por sobre la protección legal. Independientemente del desarrollo legislativo, vale la pena señalar que con la sola protección constitucional ya se ha judicializado con resultados concretos. En la materia, el caso *Girardi con Emotiv*⁴⁷ mostró cómo la actual ley de protección de datos es insuficiente para la protección de la privacidad de los datos neuronales; e incluso legislaciones más actualizadas, como el Reglamento General de Protección de Datos Europeo, también lo serían, toda vez que la información obtenida desde el sistema nervioso en un contexto no médico, no se consideraría especialmente sensible. La Corte Suprema de Chile, conociendo acerca de la recolección de datos neuronales realizados por la empresa Emotiv en un ámbito comercial, ordenó que fuesen borrados, porque su recolección no se ajustaba a los criterios mínimos de consentimiento informado para su tratamiento. En este caso, la Corte otorgó a los datos neuronales la calidad de datos sensibles, sin importar si han sido obtenidos en un contexto médico o comercial.

Respecto a la libertad cognitiva, debemos recalcar que no es idéntica a la libertad de conciencia –consagrada en el artículo 19 n.º 6 de la Constitución chilena–, ya que esta última se enfoca en el derecho a profesar las propias creencias e ideas. En cambio, la libertad cognitiva tiene por bien jurídico al fundamento de la conciencia, el sustrato que la sostiene, esto es, la actividad neuronal. El sentido de la libertad cognitiva es que los fundamentos neuronales de la conciencia no sean manipulados, y evitar que mediante una modificación se generen cambios en la esfera de lo mental.

En cualquier caso, esta materia requiere de mayores especificaciones en el área, que vendrán de la mano del proyecto de ley en curso. Al respecto, el 7 de octubre de 2020 se presentó por moción parlamentaria, en la Comisión de Futuro del Senado, un proyecto sobre la regulación de las neurotecnologías⁴⁸. Dicho proyecto fue aprobado de manera unánime en el Senado de Chile, y su discusión

46 Farahany, N. A., *The Battle for your Brain*, cit.

47 Chile. Corte Suprema, *Girardi con Emotiv*, rol n.º 105065-2023 del 9 de agosto de 2023. El mejor análisis del mismo en Cornejo-Plaza, M. I.; Cippitani, R. y Pasquino, V., “Chilean Supreme Court Ruling on the Protection of Brain Activity”, *Frontiers in Psychology*, 15:1330439, 2024.

48 Comisión de Futuro del Senado, Boletín n.º 13.828-19. Para un análisis completo, véase Amunátegui Perelló, C., “Natural and Artificial Neural Networks: The Chilean Framework”, *Journal of Civil Law Studies*, 14, 1, 2022.

continúa en la Cámara de Diputados. Los aspectos más importantes del proyecto de ley se pueden resumir de la siguiente manera: (1) El proyecto de ley no pretende regular la generación de tecnologías, sino ciertos usos que pueden tener consecuencias problemáticas; (2) el proyecto de ley asume reglas diferentes para diferentes aplicaciones, por lo que los tratamientos médicos y la investigación se enfrentarán a un entorno legal bastante diferente al de las simples aplicaciones comerciales, y (3) cualquier empleo de neurotecnologías debe estar acorde con los derechos fundamentales clásicos establecidos en la ley y la Constitución, aunque fueron revisados y adaptados a la materia en cuestión.

Este proyecto de ley no pretende regular ni la generación ni el desarrollo de la neurociencia y las neurotecnologías, sino establecer un marco legal que permita su uso dentro de un paradigma ético que fortalezca su relación con la dignidad y los derechos humanos⁴⁹. En su artículo 1.º declara su objetivo de preservar la “integridad física y psíquica” humana en el desarrollo y aplicación de las neurociencias y las neurotecnologías⁵⁰, reconociendo la libertad de toda persona para utilizar estas tecnologías, dentro de los límites establecidos por la Constitución y la ley⁵¹. Incluso crea el deber del Estado de promover el desarrollo de las neurociencias y garantizar un acceso igualitario a las mismas⁵².

En este marco, el proyecto de ley reconoce tres usos principales de las neurotecnologías⁵³: usos médicos, usos vinculados a la investigación y, por último, usos comerciales⁵⁴. Todos estos son perfectamente legítimos, pero se ciñen por diferentes normas legales que se aplican específicamente a ellos en asuntos tan importantes como el consentimiento y la responsabilidad.

De acuerdo con la propuesta de ley, cualquier neurotecnología que pretenda ser utilizada en Chile debe seguir un sencillo proceso de registro ante el Instituto de

49 Se puede decir que sigue de cerca el modelo propuesto por Greely, H. T. *et al.*, “Neuroethics Guiding Principles for the NIH BRAIN Initiative”, *The Journal of Neuroscience*, 12 de diciembre de 2018, 38, 50, 10586-10588.

50 “Artículo 1.º La presente ley tiene como finalidad proteger la vida y la integridad física y psíquica de las personas en el desarrollo de las neurociencias, las neurotecnologías y sus aplicaciones clínicas”.

51 “Artículo 4.º Las personas son libres de utilizar cualquier tipo de neurotecnología permitida. No obstante, para intervenir a otros a través de ellas, se deberá contar con su consentimiento libre, previo e informado, el cual deberá entregarse de forma expresa, explícita, específica o, en su defecto, con el de quien deba suplir su voluntad de conformidad a la ley. El consentimiento deberá constar por escrito y será esencialmente revocable”.

52 En esto, la propuesta sigue el 8.º principio para una neurociencia ética creado por Greely, H. T. *et al.*, “Neuroethics Guiding Principles for the NIH BRAIN Initiative”, *cit.*, 10586-10588.

53 Ienca, M. y Andorno, R., “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology” *Life, Science and Policy*, 13, 5, 2017, 3.

54 Aunque las neurotecnologías son un fenómeno emergente, se están implementando muchos usos comerciales e incluso están entrando en escena nuevos campos. Uno de los más populares es el neuromarketing, “no solo para inferir preferencias mentales, sino también para cebar, imprimir o desencadenar esas preferencias” (*ibid.*, 4), y están surgiendo muchos otros.

Salud Pública, una autoridad médica independiente similar a la FDA de los Estados Unidos, que se encarga del registro de cualquier medicamento o dispositivo terapéutico que se utilice en el país.

Al respecto, el proyecto de ley adopta un enfoque médico de las neurotecnologías, dándoles un marco análogo a cualquier dispositivo médico⁵⁵. En el proceso de registro se deben indicar los usos previstos de la tecnología, y la autoridad puede restringir estos usos o incluso prohibirlos⁵⁶ cuando (1) tengan como objetivo influir en la conducta humana sin el consentimiento del usuario; (2) exploten las debilidades de grupos específicos; (3) extraigan datos sin el consentimiento explícito del usuario, o (4) afecten negativamente la neuroplasticidad de determinados colectivos, especialmente niños y jóvenes. La facultad de restringir y prohibir ciertos usos de las neurotecnologías se inspira en las letras a), b) y c) del artículo 5.º de la Propuesta Europea de Reglas Armonizadas sobre Inteligencia Artificial –previo al reglamento actualmente vigente, que en ese entonces aún no existía–, que describe lo que constituirían prácticas prohibidas en el campo de la inteligencia artificial. En concreto, (1) y (2) están dirigidos a proteger la libertad cognitiva del usuario⁵⁷, mientras que (3) está destinado a proteger su privacidad neuronal⁵⁸. Los tres primeros casos son malas prácticas típicas que han surgido en el uso de la inteligencia artificial, pero que tendrían consecuencias aún más potentes y dañinas si se aplicaran directamente al sistema nervioso central a través de neurotecnologías que interactúan directamente con el cerebro⁵⁹, en lugar de afectar indirectamente al sujeto a través de medios digitales tradicionales. El cuarto caso, la afectación de la neuroplasticidad, es algo específico de las neurotecnologías. Como está bien establecido⁶⁰, el sistema neuronal central humano

55 “Artículo 7.º- Las neurotecnologías deberán ser previamente registradas por el Instituto de Salud Pública para su uso en las personas”.

56 “Artículo 8.º- Por resolución fundada, la autoridad sanitaria podrá restringir o prohibir el uso de neurotecnologías, en razón de afectar indebidamente derechos fundamentales, en casos tales como:

- a) aquéllos que influyen en la conducta de la persona, sin su consentimiento;
- b) aquéllos que explotan las debilidades de grupos específicos;
- c) aquéllos que extraen datos de manera no autorizada o sin el consentimiento de su titular;
- d) aquéllos que afectan negativamente la neuroplasticidad, especialmente, de niños, niñas y adolescentes”.

57 Al respecto, véase Bublitz J.-C., “My Mind is Mine!? Cognitive Liberty as a Legal Concept”, en Hildt, E. y Franke, A. G. (eds.), *Cognitive Enhancement. An Interdisciplinary Perspective*, Dordrecht, Springer, 2013, 233-264.

58 Véase Ienca, M. y Andorno, R., “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology”, cit., 13-14.

59 Sobre las interfaces cerebro-máquina (IMC), véase Shenoy, K., “Brain Machine Interfaces”, en Kandel, E.; Koester, J.; Mack, S. y Siegelbaum, S., *Principles of Neural Science*, Nueva York, McGraw-Hill, 2021, 952-973.

60 Como se ha demostrado claramente: “[E]arly experience shapes a range of human mental capacities, from our ability to make sense of what we see to our ability to engage in appropriate social interactions”. Shah, N. y Sanes, J., “Development and Emergence of Behavior”, en

tiene períodos críticos en los que se pueden crear y podar sinapsis para producir facultades sensoriales y cognitivas normales⁶¹. La intención de esta norma es proteger estos períodos críticos, que son fundamentales para el desarrollo humano, contra las malas prácticas que podrían perjudicarlos.

En cuanto al consentimiento, junto con la libertad de uso de cualquier neurotecnología aprobada, la propuesta de ley establece un sistema diferenciado, que tiene en cuenta el uso previsto. Por lo tanto, los usos terapéuticos y la investigación científica deben seguir las normas habituales que rigen el consentimiento en esas materias⁶², mientras que otros usos comerciales requieren un consentimiento específico dado antes de la implementación de la tecnología. El consentimiento debe ser libre e informado, darse por escrito y ser específico para la aplicación en cuestión. Contar con un consentimiento informado significa que el usuario debe conocer de antemano las posibles consecuencias de la aplicación de esta neurotecnología, y lo relacionado con la gestión de la privacidad de los datos neuronales obtenidos (arts. 4.º y 5.º)⁶³.

Además, cualquier neurotecnología aplicada fuera de los objetivos terapéuticos debe ser reversible, en el sentido de que debe ser posible cesar su aplicación y sus efectos sin consecuencias negativas detectables para el usuario⁶⁴.

En cuanto a la responsabilidad por las consecuencias negativas que podría acarrear el uso de las neurotecnologías, la propuesta de ley crea un régimen especial de responsabilidad por el uso de las neurotecnologías en los consumidores, es decir, cuando estas tecnologías se utilizan en un marco comercial para los usuarios finales⁶⁵, mientras que en los contextos médicos, el sistema general de responsabilidad permanece intacto. En los usos comerciales, el productor, el importador y el administrador de las neurotecnologías que causaron el daño son

Kandel, E.; Koester, J.; Mack, S. y Siegelbaum, S., *Principles of Neural Science*, Nueva York, McGraw-Hill, 2021, 1228.

- 61 Perder estos períodos críticos para el desarrollo neurológico es crucial, porque las facultades y capacidades que se pierden no se pueden adquirir más tarde. Los experimentos clásicos sobre el tema se remontan a la década de 1940, cuando René Spitz “*provided more systematic evidence that early interactions with other humans are essential for normal social development*”. Shah, N. y Sanes, J., “Development and Emergence of Behavior”, en Kandel, E.; Koester, J.; Mack, S. y Siegelbaum, S., *Principles of Neural Science*, Nueva York, McGraw-Hill, 2021, 1230.
- 62 Estas materias están reguladas por los proyectos de ley recientemente aprobados, la Ley 20.584 sobre derechos y deberes de los pacientes y la Ley 20.120 sobre investigación científica en seres humanos.
- 63 En este contexto, véase Greely, H. T. *et al.*, “Neuroethics Guiding Principles for the NIH BRAIN Initiative”, cit., 10587: “*Research participants must be thoroughly informed of potential risks and benefits, as well as the possibility of unexpected safety issues*”.
- 64 “Artículo 6.º- La instalación de neurotecnologías, así como su funcionamiento en las personas deberá ser esencialmente reversible, sin perjuicio de los efectos que aquello pudiere tener en cada caso en particular, lo que deberá ser debida y oportunamente informado. Salvo en aquellas neurotecnologías que tengan un uso terapéutico”.
- 65 Según la legislación chilena, un consumidor es una persona natural o jurídica que es usuario final de un producto o servicio. Véase art. 1.º n.º 1 de la Ley 19496.

conjunta y objetivamente responsables de cualquier daño causado a un consumidor. Esto implica que la víctima puede demandar a cualquiera de ellos por las consecuencias negativas que ha sufrido, considerando su proximidad geográfica y capacidad económica. Se introdujeron algunas excepciones a esta responsabilidad, especialmente cuando la víctima también ha contribuido al daño, la neurotecnología no se ha utilizado de forma autorizada o el daño se ha producido exclusivamente por la intención dolosa del administrador⁶⁶; pero en términos generales, el sistema sigue siendo objetivo, en contraste con el sistema general de negligencia que regula el derecho del consumidor en el ordenamiento jurídico chileno. La razón de este régimen especial es la dificultad general en la que se encuentra la víctima cuando se enfrenta a una tecnología tan compleja. Probar la culpabilidad o el dolo requeriría para el consumidor una hazaña casi imposible, especialmente cuando las particularidades de la tecnología no se pueden comprender fácilmente, y mucho menos es posible precisar el uso específico que eventualmente desencadenaría la responsabilidad.

Por último, la propuesta de ley contempla algunos delitos específicos asociados a las neurotecnologías, que alguna doctrina ha etiquetado como actividad neurocriminal⁶⁷. Están dirigidos a prevenir abusos específicos, como, por ejemplo, cambiar subrepticamente la voluntad de alguien sobre un asunto específico, o alterar la conducta de alguien con el fin de inducirlo a cometer un delito o ponerlo en una situación en la que podría cometer actos de violencia.

Conclusiones

Finalmente, una vez esbozados los principales desafíos técnicos y jurídicos que las neurotecnologías presentan, quisiéramos reflexionar brevemente acerca de los resultados esperados. En principio, las interfaces cerebro-computadora se encuentran entre las tecnologías más poderosas que han sido concebidas, y sus potenciales beneficios son evidentes. Ahora bien, los riesgos que entrañan son también importantes, por lo que para intentar propiciar el máximo de beneficios sociales se requiere una regulación en su uso, como ya lo ha reconocido la comunidad internacional. Esta regulación no debe ser simplemente prohibitiva, o no puede tener como resultado un impedimento para la implementación de este tipo de tecnologías, sino más bien potenciar sus aspectos positivos y conjurar sus peligros.

Para lograr los efectos deseados, es importante distinguir entre los usos médicos, los de investigación y aquellos específicamente orientados al consumidor.

66 “Artículo 9.º- El productor, proveedor y todo aquel que administre neurotecnologías a un consumidor, serán responsables, solidaria y objetivamente por los daños materiales y morales que ocasionaren. / Según corresponda, el productor, proveedor o administrador de neurotecnologías podrá liberarse de la responsabilidad señalada en el inciso anterior”.

67 Ienca, M. y Andorno, R., “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology”, cit., 17.

En principio, la idea de una reglamentación eficiente es llevar el paradigma de protección médica al ámbito de los usos comerciales, evitando añadir nuevas regulaciones a ámbitos que ya son objeto de una pesada carga administrativa, como lo son la ciencia y la medicina.

El proyecto de ley chileno intenta seguir esta senda, y en este sentido puede servir de paradigma regulatorio sobre el particular. La materia, que sigue siendo muy discutida, seguramente continuará desarrollándose en los años venideros.

Referencias

- Airbib, Michael, Bonaiuto, James, *From Neuron to Cognition Via Computational Neuroscience*, Cambridge (Mass.), MIT University Press = Kindle, 2016.
- Amunátegui Perelló, Carlos, “Natural and Artificial Neural Networks: The Chilean Framework”, *Journal of Civil Law Studies*, 14, 1, 2022, 355-366.
- Benabid, Alim Louis, “Deep Brain Stimulation for Parkinson’s Disease”, *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 6, 2003, 696-706.
- Bublitz, Jan-Christoph, “My Mind is Mine!?! Cognitive Liberty as a Legal Concept”, en Hildt, E. y Franke, A. G. (eds.), *Cognitive Enhancement. An Interdisciplinary Perspective*, Dordrecht, Springer, 2013, 233-264.
- Caruso, Gregg D., *Neurolaw*, Cambridge, Cambridge University Press, 2024.
- Chaudhary, Ujwal; Vlachos, Ioannis; Zimmermann, Jonas B. *et al.*, “Spelling Interface Using Intracortical Signals in a Completely Locked-in Patient Enabled Via Auditory Neurofeedback Training”, *Nature Communications*, 13, 2022, 1-9.
- Cohen, David, “Magnetoencephalography: Evidence of Magnetic Fields Produced by Alpha Rhythm Currents”, *Science*, 161, 1968, 784-786.
- Conway, Flo y Siegelman, Jim, *The Dark Hero of Information Age. In Search of Norbert Wiener the Father of Cybernetics*, Basic Books, 2005.
- Cornejo-Plaza, Maria Isabel; Cippitani, Roberto y Pasquino, Vincenzo, “Chilean Supreme Court Ruling on the Protection of Brain Activity”, *Frontiers in Psychology*, 15:1330439, 2024, 1-9.
- Défossez, Alexandre; Caucheteux, Charlotte; Rapin, Jérémy *et al.*, *Decoding Speech from Non-Invasive Brain Recordings*, 2022, disponible en: <https://arxiv.org/abs/2206.01685> [consultado el 27 de junio de 2024].
- Farahany, Nita A., *The Battle for your Brain*, Nueva York, St. Martin’s Press, 2023.
- Greely, Henry T. *et al.*, “Neuroethics Guiding Principles for the NIH BRAIN Initiative”, *The Journal of Neuroscience*, 38, 50, 2018, 10586-10588.
- Heims, Steve Joshua, *The Cybernetics Group*, Cambridge, MIT University Press, 1991.
- Ienca, Marcello y Andorno, Roberto, “Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology”, *Life Sciences, Society and Policy*, 13, 2, 2017, 1-27.
- Ienca, Marcello, *Committee on Bioethics, Council of Europe, Common Human Rights Challenges Raised by Different Applications of Neurotechnologies in the*

- Biomedical Fields* [en línea], 11, 2021, disponible en: <https://perma.cc/LVU9-8Y3H> [consultado el 27 de junio de 2024].
- Kandel, Eric R. y Shadlen, M., “The Brain and Behaviour”, en Kandel, E.; Koester, J. D.; Mack, S. H. y Siegelbaum, S. A., *Principles of Neural Science*, 6.^a ed., Nueva York, McGraw-Hill LLC, 2021, 7-25.
- Lauterbur, Paul C., “Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance”, *Nature*, 242, 1973, 190-191.
- McCulloch, Warren y Pitts, Walter, “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, *Bulletin of Mathematical Biology*, 52, 1-2, 1943-1990.
- Millet, Juliette; Caucheteux, Charlotte *et al.*, “Toward a Realistic Model of Speech Processing in the Brain with Self-supervised Learning” [en línea], 2022, disponible en: <https://arxiv.org/abs/2206.01685> [consultado el 27 de junio de 2024].
- Parvizi, Josef y Kastner, Sabine, “Human Intracranial EEG: Promises and Limitations”, *Nature Neuroscience*, 21, 2018, 474-483.
- Pignatell, Laura, *L'émergence d'un neurodroit*, París, Dalloz, 2021.
- Pine, Jerome, “A History of MEA Development”, en Baudry, Michael y Taketani, Makoto (eds.), *Advances in Network Electrophysiology Using Multi-Electrode Arrays*, Nueva York, Springer, 2006, 3-23.
- Reche Tello, Nuria, *Mens iura fundamentalia. La neurotecnología ante la Constitución*, Sal José de Costa Rica, Colex, 2024.
- Roskies, Adina, “Neuroethics for the New Millenium”, *Neuron*, 35, 1, 2002, 21-23.
- Searle, John, *Making the Social World. The Structure of Human Civilization*, Oxford University Press, Nueva York, 2010.
- Seymour, Robert; Maguire, Eleanor *et al.*, “Using OPMS to Measure Neural Activity in Standing, Mobile Participants”, *Neuroimage*, 244, 2021, 1-11.
- Shadlen, Michael y Kandel, Eric R., “Neural Circuitry and Behavior”, en Kandel, Eric R.; Koester, John D.; Mack, Sarah H. y Siegelbaum, Steven A., *Principles of Neural Science*, 6.^a ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 73-96.
- Shen, Guohua; Dwivedi, Kshitij *et al.*, “End-to-End Deep Image Reconstruction from Human Brain Activity”, *Frontiers in Computational Neuroscience*, 13, 21, 2019, 1-11.
- Shenoy, Krishna V., “Brain-Machine Interfaces”, en Kandel, Eric; Koester, John D.; Mack, Sarah H. y Siegelbaum, Steven A., *Principles of Neural Science*, 6.^a ed., Nueva York, McGraw-Hill LLC, 2021, 953-973.
- Shah, Nirao y Sanes, Joshua, “Development and Emergence of Behavior”, en Kandel, Eric R.; Koester, John D.; Mack, Sarah H. y Siegelbaum, Steven A., *Principles of Neural Science*, Nueva York, McGraw-Hill LLC, 2021.
- Shohamy, Daphna y Turk-Browne, Nicholas, “Imaging and Behavior”, en Kandel, Eric R.; Koester, John D.; Mack, Sarah H. y Siegelbaum, Steven A., *Principles of Neural Science*, 6.^a ed., McGraw-Hill LLC, 2021, 111-132.
- Standaert, Michael, “Chinese Primary School Halts Trial of Device that Monitors Pupils’ Brainwaves” [en línea], *The Guardian*, 1 de noviembre de 2019, disponible en: <https://perma.cc/6PB7-RLGF> [consultado el 27 de junio de 2024].

- Stone, James L. y Hughes, John R., “Early History of Electroencephalography and Establishment of the American Clinical Neurophysiology Society”, *Clinical Neurophysiology*, 20, 2013, 28-44.
- Taylor, J. Sherrod; Harp, J. Anderson y Elliott, Tyron, “Neuropsychologists and Neurolawyers”, *Neuropsychology*, 5, 4, 1991, 293-305.
- Vidal, Jacques, “Toward Direct Brain-Computer Communication”, *Annual Review of Biophysics*, 157, 2, 1973, 157-180.
- Von Neumann, John, *First Draft on the Report on the EDVAC* [en línea], 1945, disponible en: <http://abelgo.cn/cs101/papers/Neumann.pdf> [consultado el 27 de junio de 2024].
- Winning, Jason y Bechtel, William, “Information-Theoretic Philosophy of Mind”, en Floridi, L., *The Routledge Handbook of Philosophy of Information*, Londres-Nueva York, Routledge, 2016.
- Yuste, Rafael y Goering, Sara, “Four Ethical Priorities for Neurotechnologies and IA”, *Nature*, 551, 2017, 159-163.
- Zuñiga Fajuri, Alejandra; Villavicencio Miranda, Luis; Zaror Miralles, Danielle y Salas Venegas, Ricardo, “De la trivialidad de los neuroderechos”, *Bits de Ciencia*, 22, 2022, 24-29.
- Zúñiga-Fajuri, Alejandra; Villavicencio Miranda, Luis; Zaror Miralles, Danielle y Salas Venegas, Ricardo, “Neurorights in Chile: Between Neuroscience and Legal Science”, *Developments in Neuroethics and Bioethics* (Elsevier), 2021, vol. 4, 165-180.