

FUTURE TRENDS FORUM

Neurotecnología para el bienestar humano

Mejorar la calidad de vida de las personas, el difícil reto de la neurociencia, la neurotecnología y la biología sintética

Mover un exoesqueleto con la mente, acabar con los temblores del Parkinson, prevenir y curar enfermedades mentales como el Alzheimer, regenerar órganos con bioelectricidad o mejorar las habilidades y capacidades humanas son los desafíos a los que se enfrenta los expertos reunidos en el Future Trends Forum, que debatieron sobre las oportunidades y los retos éticos y legales de este apasionante campo.

Contenido

	Introducción	05
01	Neurociencia y neurotecnología	07
	Panorama general	
	Filosofía de las neurociencias	
	Aplicaciones de la neurotecnología	
	Centros de investigación en IA y Neurociencia	
	Del laboratorio al mercado	
02	Otras tecnologías para la mejora humana	32
	Edición genética y biología sintética	
	ARN y mejora humana: Desvelando nuevos horizontes en nanomedicina	
	IA para el descubrimiento de antibióticos	
	Reprogramación del software bioeléctrico de la vida	
	Aprovechar la evolución y las redes de resiliencia para revertir enfermedades	
	Los retos sociopolíticos de la edición genética	



03

Ética, filosofía, transhumanismo y regulación

41

Una nueva narrativa

Transhumanismo
y futuro de la humanidad

Derecho a una decisión
humana

Perspectiva política de la
IA y camino hacia una IA
fiable en Europa -H3

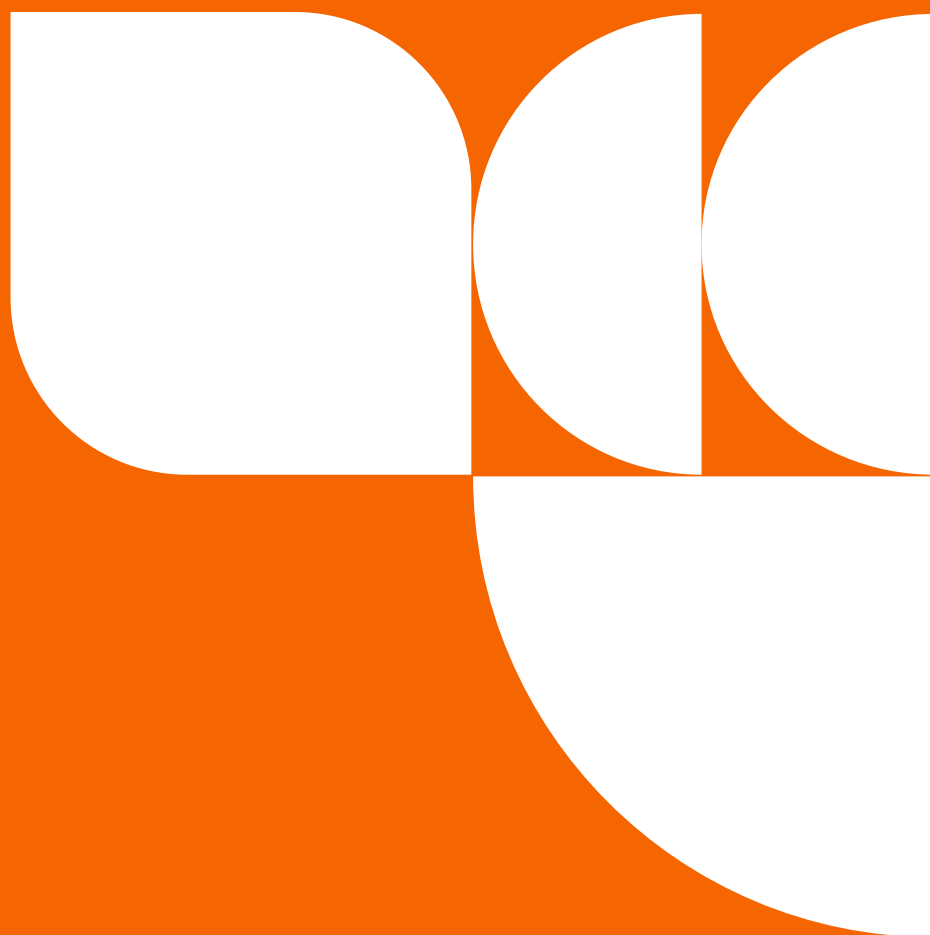
Neuroderechos: ética
y neurotecnología; ¿es
hora de nuevos derechos
humanos?

04

Glosario

54





Introducción

Introducción

El think tank **Future Trends Forum** de la Fundación Innovación Bankinter ha celebrado su última edición bajo el título "**De la reparación a la mejora de las capacidades humanas**", con el foco puesto en **el futuro de la neurociencia, la neurotecnología y la biología sintética**. Ha reunido a 40 expertos internacionales para debatir sobre las oportunidades y los riesgos de estas tecnologías emergentes.

Durante la duración del foro, los expertos destacaron el **potencial que estas tecnologías ofrecen para revolucionar nuestra comprensión del cerebro humano y de desarrollar nuevos tratamientos para una amplia gama de trastornos neurológicos**. También debatieron el potencial de estas tecnologías para mejorar capacidades humanas como la memoria, la inteligencia o la creatividad.

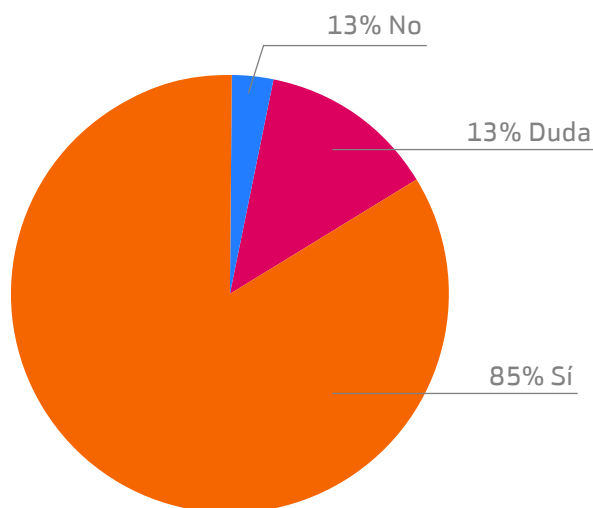
Además, advirtieron de los riesgos asociados, destacando la posibilidad de un uso indebido como, por ejemplo, manipular o controlar el pensamiento y el comportamiento de las personas. La biología sintética por su parte podría utilizarse para crear nuevos agentes patógenos. También expresaron su preocupación por las implicaciones éticas del uso de estas tecnologías para mejorar las capacidades humanas.

Y es que un 85% de los expertos piensan que los beneficios de las tecnologías de mejora humana superan ampliamente a los riesgos y amenazas asociados (gráfico 1).

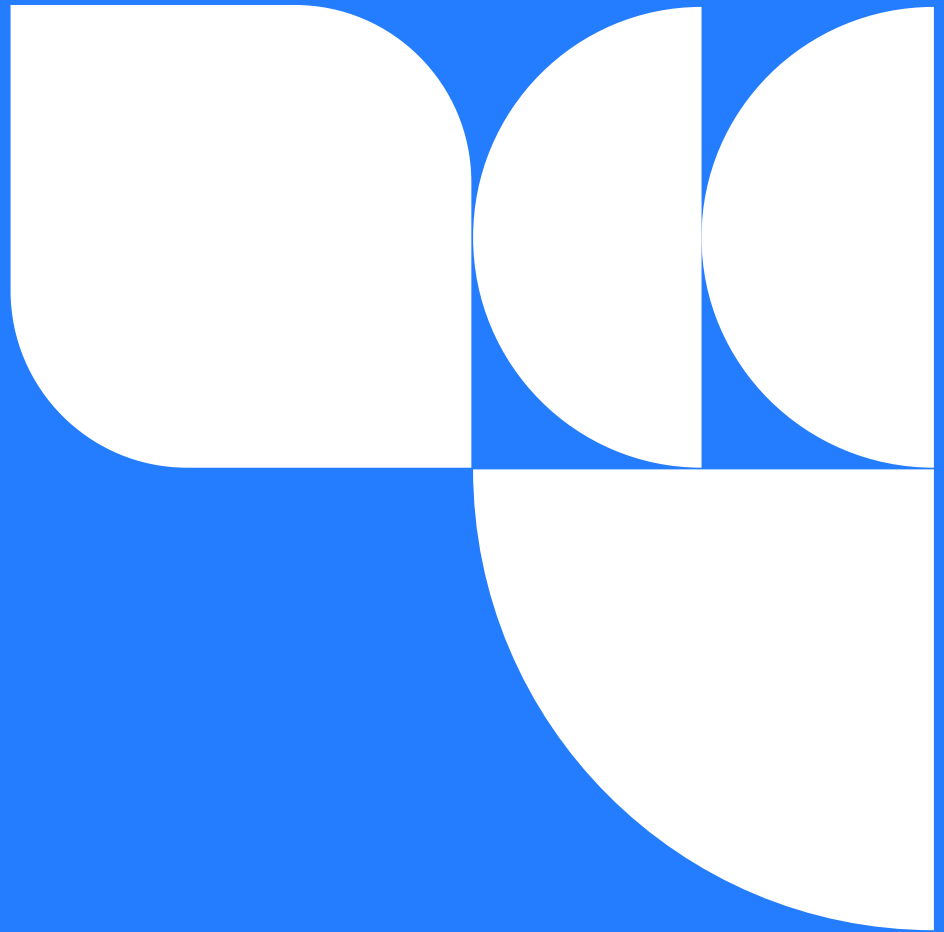
En este informe se destaca la necesidad de **elaborar directrices y normativas internacionales para garantizar que estas tecnologías se utilicen de forma segura y ética, sin ralentizar su desarrollo**. Además se recalcó la importancia de incentivar la investigación sobre sus beneficios y riesgos potenciales, de manera que podamos tomar decisiones bien informadas sobre su uso futuro.

La reunión del think tank Future Trends Forum de la Fundación Innovación Bankinter en torno a la neurotecnología y las capacidades humanas se recoge en este informe, en el que se profundiza en los retos, desafíos y oportunidades de estas tecnologías innovadoras que pueden mejorar el futuro de la humanidad.

Gráfico 1: En su opinión, ¿los beneficios potenciales de la mejora tecnológica humana superan sus riesgos?



1



Neurociencia y
neurotecnología

1

Neurociencia y neurotecnología

Panorama general

La neurociencia y la neurotecnología son campos en rápido desarrollo que han logrado importantes avances en los últimos años. Estos avances han permitido a los científicos **comprender mejor cómo funciona el cerebro** y han dado lugar al desarrollo de nuevas tecnologías que pueden ser utilizadas para **tratar enfermedades, mejorar el rendimiento cognitivo y aumentar la calidad de vida**.

Uno de los avances más importantes en neurociencia ha sido el desarrollo de **nuevas técnicas de imagen cerebral**. Estas técnicas permiten a los científicos observar el cerebro en funcionamiento, lo que ha dado lugar a un mejor conocimiento de cómo se procesan la información y se toman las decisiones. Por ejemplo, la **resonancia magnética funcional** (fMRI por sus siglas en inglés *functional magnetic resonance imaging*) permite a los científicos ver cómo cambia la actividad cerebral en respuesta a diferentes estímulos. Esto ha sido utilizado para estudiar una amplia gama de enfermedades y trastornos, desde la depresión hasta el Alzheimer.

Otro avance importante en neurociencia ha sido el desarrollo de **nuevas tecnologías de neuroestimulación**. Estas tecnologías utilizan pulsos eléctricos o magnéticos para estimular el cerebro, lo que puede ser utilizado para tratar enfermedades como el Parkinson, la epilepsia y la depresión. Por ejemplo, la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS por sus siglas en inglés *transcranial direct current stimulation*) utiliza una corriente eléctrica suave para estimular el cerebro, lo que ha demostrado ser efectivo para mejorar el rendimiento cognitivo y reducir los síntomas de la depresión.

A pesar de los avances realizados en neurociencia y neurotecnología, todavía existen algunos retos importantes. Uno de los retos más importantes es entender la complejidad del cerebro. El cerebro es un órgano increíblemente intrincado, con miles de millones de neuronas interconectadas. Esto hace que sea difícil estudiarlo y entender cómo funciona realmente.



Para **Antonio Damasio**, uno de los neurocientíficos más prestigiosos del mundo y patrono de la Fundación Innovación Bankinter, **la neurociencia y la neurotecnología son dos caras de la misma moneda**: la neurociencia sienta las bases para comprender los circuitos emocionales del cerebro, mientras que la neurotecnología proporciona las herramientas para estudiar estos circuitos *in vivo*. Juntos, estos dos campos están abriendo nuevas posibilidades para comprender y tratar trastornos neurológicos, y para desarrollar nuevas tecnologías que puedan mejorar la cognición y el comportamiento humanos. El Prof. Damasio sintetiza los objetivos de la neurociencia y la neurotecnología: **conseguir mejorar la longevidad en salud y el bienestar de la humanidad** e ilustra el estado del arte de la neurotecnología con **el primer caso en el mundo de una persona parapléjica que puede caminar con la ayuda de un implante controlado por el pensamiento**.

Desde el punto de vista de ciencia pura, el profesor Damasio expone sus **descubrimientos sobre la conciencia humana** y la necesaria distinción entre mente y mente consciente. Se trata de un paso fundamen-

tal para entender, interpretar y, en su caso, curar, los trastornos y las enfermedades neurológicas.

La mente consciente surge porque tenemos **sentimientos homeostáticos**, nos cuenta el Prof. Damasio. Los sentimientos homeostáticos son las que nos ayudan a mantener una sensación de equilibrio y bienestar. Incluyen las sensaciones de hambre, sed, fatiga y dolor. Estas sensaciones se desencadenan por cambios en nuestro entorno interno, como cambios en los niveles de azúcar en sangre, la temperatura corporal o la cantidad de oxígeno en la sangre. Los sentimientos homeostáticos son importantes porque nos ayudan a mantener un estado saludable. Por ejemplo, el hambre nos dice que comamos cuando nuestros niveles de azúcar en sangre son bajos, la sed nos dice que bebamos cuando estamos deshidratados y la fatiga nos dice que descansemos cuando estamos cansados. El dolor nos dice que evitemos los estímulos nocivos.

Los sentimientos homeostáticos están regulados por el hipotálamo, que recibe señales de nuestros órganos internos y del entorno, y los utiliza para regular nuestros sentimientos homeostáticos.

Así pues, y como dice el profesor, **"la conciencia no surge de la parte más sofisticada del sistema nervioso -la corteza prefrontal-, sino de la más humilde -el hipotálamo-"**.

"Los objetivos de las tecnologías de mejora humana: conseguir mejorar la longevidad en salud y el bienestar de la humanidad"

Antonio Damasio

▶ Ver vídeo

▶ Ver vídeo



Filosofía de las neurociencias

En esta línea, durante el foro se produjo una conversación entre **Antonio Damasio** y **Asier Arias**, Profesor en el Departamento de Lógica y Filosofía Teórica de la **Universidad Complutense de Madrid** (UCM) en la que se abordó un tema particularmente intrigante: **la consciencia y su visión desde la filosofía**. Esta discusión no se centró en la consciencia moral o en nuestra percepción de quiénes somos, sino en **la consciencia relacionada con la experiencia sentida**.

De tal forma, Asier Arias destacó la importancia de definir correctamente la consciencia, mientras que el Prof. Damasio señalaba que el término "consciencia" a menudo se confunde debido a las diferencias lingüísticas y culturales, pues en muchos idiomas romances la palabra para consciencia también se refiere a la ética. Además, en el discurso popular, la consciencia a menudo se usa para denotar atención o conciencia. Damasio proponía que utilicemos el término "consciencia" cuando nos referimos a la experiencia. La consciencia, en este contexto, **se trata de tener una experiencia de uno mismo, una combinación de mente y cuerpo, que genera subjetividad**.

La discusión se adentró también en la diferencia entre exterocepción (percepción del mundo exterior) e interocepción o propiocepción (percepción del mundo interior). Damasio argumenta que, mientras que percibimos el mundo exterior sin interactuar directamente con él, interactuamos constantemente con nuestro mundo interior. Esta

interacción constante entre el cuerpo y el sistema nervioso es fundamental para la consciencia.

Asier Arias concluyó la conversación destacando la importancia de la interocepción como base para la consciencia. La discusión entre estos dos expertos arroja luz sobre la complejidad y la profundidad de la consciencia, un tema que sigue siendo un misterio en el campo de las neurociencias.

La neurotecnología es el conjunto de métodos, herramientas o dispositivos que registran o modulan la actividad del sistema nervioso. Estos dispositivos pueden ser eléctricos, ópticos, magnéticos, acústicos, nanotecnológicos o químicos, y ahora se combinan con inteligencia artificial y redes neuronales profundas.

Asier Arias

 Ver vídeo



Rafael Yuste

Director del Centro de Neurotecnología y Profesor de Biología de la Universidad de Columbia y Presidente de la Fundación NeuroRights

 Ver vídeo

Aplicaciones de la neurotecnología

Ya disponemos de **neurotecnologías que nos permiten medir y caracterizar la actividad cerebral relacionada con los comportamientos, las capacidades cognitivas y las emociones**. Además, también nos permiten **modificar la actividad cerebral** y, por tanto, los comportamientos, capacidades cognitivas y emociones.

Por otro lado, estamos adquiriendo conocimientos fundamentales sobre el funcionamiento del cerebro humano y empezamos a ser capaces de **abordar discapacidades relacionadas con el cerebro, con intervenciones precisas y personalizadas**. Pero las mismas tecnologías pueden violar la autonomía individual y alterar la elección, el comportamiento y la percepción humanas, lo que exige una **cuidadosa revisión de la ética y de los derechos humanos antes de realizar cualquier intervención**.

Modificación de la actividad cerebral

Para **Álvaro Pascual-Leone**, Catedrático de Neurología de la **Facultad de Medicina de Harvard**, las aplicaciones de la neurotecnología están aún en una fase muy temprana: disponemos de la "punta del iceberg" de lo que está por llegar. Y con esta perspectiva, afirma que el **foco debe estar en la prevención y el tratamiento de enfermedades o discapacidades**, antes de abordar mejoras de las capacidades humanas en personas sanas.

Para las últimas aplicaciones de neurotecnología, se considera que las unidades funcionales del cerebro no son las neuronas en sí, sino las relaciones espacio-temporales entre grupos de neuronas, explica el profesor. Se han desarrollado herramientas que permiten caracterizar esas relaciones entre grupos de neuronas tanto en la dimensión temporal como en la dimensión espacial. De esa manera, se puede crear un mapa funcional de la actividad cerebral para cada comportamiento, pensamiento y sentimiento. Es decir, **cada comportamiento/pensamiento/sentimiento es la manifestación de una red neuronal específica caracterizada por una firma espacio-temporal determinada**.

De manera que, para comprender las enfermedades neurológicas o los funcionamientos inadecuados del cerebro, se pueden comparar las firmas funcionales

en personas sanas con las firmas funcionales de pacientes con afecciones. Un paso más allá, se puede tratar de **cambiar la firma funcional de un paciente con un problema determinado para corregir síntomas y discapacidades**.

El profesor Pascual-Leone ilustra los avances en la **modificación de la actividad cerebral**, o neuromodulación, aplicando estos principios, mediante el uso de interfaces cerebro-ordenador, con las **importantes mejoras de la memoria episódica en pacientes con Alzheimer** conseguidas con la solución propuesta por la startup española **Neuroelectrics**, cuya CEO, **Ana Maiques**, también forma parte del grupo de expertos reunidos en el Future Trends Forum. A los pacientes con Alzheimer se les aplica estimulación cerebral no invasiva (NIBS) en forma de estimulación transcraneal por corriente alterna (tACS), de forma fiable y segura, desde sus hogares. Mediante herramientas de monitorización y control desde la nube, se puede hacer el seguimiento individualizado de los pacientes y realizar los cambios necesarios en el programa. Tras 14 semanas de tratamiento diario, los pacientes con Alzheimer logran recuperar la memoria a los niveles que tenían dos años y medio antes de realizarlo.

Álvaro Pascual-Leone

 Ver vídeo



Cabe destacar que estos datos corresponden a un estudio preliminar, al que seguirá la realización de un ensayo controlado aleatorizado de gran tamaño, antes de su posible comercialización.

Actualmente, se están valorando las perspectivas terapéuticas de esta solución para trastornos tales como: depresión, pánico, ansiedad, trastorno obsesivo compulsivo, esquizofrenia, demencias, migraña y también para patologías neurológicas en la edad pediátrica tales como: autismo, trastornos generalizados del desarrollo, trastorno deficitario de atención, retardo mental, problemas del aprendizaje y enfermedad motriz cerebral.

El profesor también explica cómo **la neuromodulación puede acelerar la adquisición de habilidades**, por ejemplo, aprender a tocar el piano. Con la aplicación de neuromodulación dos horas al día durante cinco días seguidos, mientras se realizan prácticas de piano, se observa cómo cierta zona del córtex motor se activa de una manera mucho más potente y amplia que al inicio. Partiendo de estos descubrimientos, se están realizando estudios sobre las potenciales ventajas de aplicar neuromodulación antes y durante la adquisición de nuevas habilidades, tanto motoras como intelectuales.

José Carmena

 Ver vídeo



Neuroplasticidad, inteligencia artificial y neurotecnología

Combinando la plasticidad cerebral - capacidad del sistema nervioso para modificar su estado, creando nuestras estructuras y conexiones neuronales, en función de las condiciones del medio-, los últimos avances en **inteligencia artificial** y la neurotecnología, se está creando una **nueva generación de sistemas de conexión entre cerebro y ordenador**, donde la clave es la **generación de bucles de retroalimentación entre el cerebro y los sistemas de aprendizaje automático**. El objetivo último de este tipo de sistemas es **desarrollar neuroprótesis que induzcan neuroplasticidad que pueda reprogramar el cerebro** tras un traumatismo, para desaprender trastornos neuropsiquiátricos y, un paso más allá, para mejorar las capacidades humanas. Así lo explica **José Carmena**, Catedrático de Ingeniería Eléctrica y Neurociencia en la Universidad de California-Berkeley, Codirector del Centro de Ingeniería Neural y Prótesis de la misma universidad y fundador y Codirector Ejecutivo de Iota Biosciences.

En este tipo de soluciones se utiliza neurotecnología invasiva, es decir, los sensores y actuadores se implantan en el cerebro. Es lo que se denominan neuroprótesis. En este sentido, existen dos retos a resolver:

01

La tecnología disponible es aún aparatosa y necesita cableado físico. Por tanto, es necesario **avanzar en la miniaturización de la tecnología y en los protocolos de comunicación sin cables**. Adicionalmente, las neuroprótesis deben ser lo menos invasivas posible.

02

Debe avanzarse también en la **mejora del rendimiento y de la precisión del control cerebral de dispositivos externos** (como puede ser un brazo robótico).

Respecto a la neurociencia, se han producido importantes avances en cómo se lleva a cabo el **control voluntario de la actividad neuronal para realizar una determinada tarea**. Los estudios realizados con primates apuntan a que es posible entrenar un grupo aleatorio de neuronas del neocórtex para aprender nuevas capacidades.

Aunando los avances en ambos campos (neuroprótesis y control voluntario de la actividad neuronal), el Prof. Carmena cree que es posible crear **nuevos sistemas en bucle cerrado que podrían corregir y tratar discapacidades** y, además, abrir una **nueva serie de aptitudes en las personas** que hoy son difíciles de imaginar, como por ejemplo interactuar en un entorno de más de 3 dimensiones. Es lo que él denomina **aptitudes o habilidades abstractas**. Más allá de mover y controlar nuestro cuerpo, podríamos ser capaces de interactuar con dispositivos externos que realicen tareas fuera del alcance humano.

En ese sistema de bucle cerrado donde actúa el cerebro, la neuroprótesis y el decodificador de señales para alimentar al sistema de inteligencia artificial que, a su vez, realimenta al cerebro a través de la neuroprótesis, es fundamental actualizar el decodificador y el sistema de inteligencia artificial durante el funcionamiento para acelerar el aprendizaje y aumentar y mantener el rendimiento. Cobra especial relevancia cuándo actualizar qué parámetros y de qué manera, siendo este un campo de investigación muy puntero.

**Rodrigo
Quian-
Quiroga**

 Ver video

Una de las áreas de aplicación de este tipo de sistemas es en el **tratamiento de la depresión**: el estado de ánimo puede descodificarse a partir de la actividad neuronal intracraneal, y cuando se detecta depresión, la estimulación cerebral alivia los síntomas. El objetivo final de esta aplicación es que el paciente sea capaz de **desaprender comportamientos inadecuados**.

El futuro apunta hacia terapias de estimulación cerebral profunda de bucle cerrado con soluciones mucho menos invasivas, dice el Prof. Carmena.

Neuronas específicas en el cerebro humano

Las **células de concepto**, también conocidas como "neuronas de Jennifer Aniston" -debido a un estudio en el que una neurona específica respondió al concepto de la actriz Jennifer Aniston-, son un tipo específico de neurona que se encuentra en el cerebro humano. Estas células se activan en respuesta a conceptos específicos, lo que significa que cada una de estas neuronas se activa cuando una persona piensa en un concepto específico, como una persona, un lugar o un objeto.



El descubrimiento de las células de concepto por parte de **Rodrigo Quian-Quiroga**, Profesor de Investigación ICREA en el **Instituto Hospital del Mar de Investigaciones Médicas**, ha revolucionado nuestra comprensión de cómo el cerebro humano procesa la información. Antes de este descubrimiento, se pensaba que el cerebro procesaba la información de una manera más distribuida, con muchas neuronas contribuyendo a la representación de un solo concepto. Sin embargo, el descubrimiento de las células de concepto sugiere que el cerebro puede representar conceptos de una manera mucho más específica y localizada. Estas células de concepto se encuentran en el hipocampo, una región del cerebro que es crucial para la formación de la memoria. Cuando una persona experimenta algo, como ver una película o conocer a una nueva persona, las células de concepto en su cerebro se activan en respuesta a los conceptos asociados con esa experiencia. Estas células luego ayudan a almacenar esa experiencia en la memoria al asociarla con los conceptos relevantes.

Además de su papel en la formación de la memoria, las células de concepto también pueden desempeñar un papel en la inteligencia humana. El Prof. Quian-Quiroga sugiere que la capacidad del cerebro para representar conceptos de manera tan específica y localizada podría ser un mecanismo clave subyacente a la inteligencia humana. Esta capacidad de representar y manipular conceptos de manera tan precisa podría ser lo que nos permite pensar de manera abstracta, resolver problemas complejos y aprender de nuestras experiencias.

Ante la pregunta de si sería adecuado utilizar la neurotecnología para aumentar las capacidades humanas, y en concreto, la memoria, el Prof. Quian-Quiroga cree que la capacidad del ser humano de olvidar selectivamente es lo que le hace único en cuanto a inteligencia y consciencia. Así que aumentar la memoria humana podría ser contraproducente y reducir nuestra capacidad de resolver problemas difíciles.

Nuestra capacidad de no enfocarnos en los detalles, de extraer conceptos de nuestras experiencias y de relacionar esos conceptos entre sí, es lo que nos hace únicos a los humanos. En los experimentos llevados a cabo con animales, se ha comprobado que la memoria está relacionada con las situaciones concretas y los contextos. En los seres humanos esto no es así. Somos capaces de abstraernos del contexto y tener memoria conceptual. Y esa es la clave de procesos mentales específicamente humanos como la generalización o la relación de conceptos para crear nuevos conceptos. En definitiva, de la cognición humana, de nuestra inteligencia.



Casos prácticos de neurotecnología

La neurotecnología está transformando nuestra comprensión y tratamiento de las enfermedades neurológicas, así como la forma de mejorar nuestras capacidades cognitivas y físicas. A continuación, se exploran casos prácticos de aplicación de la mano de los expertos asistentes al foro, desde interfaces neuronales basadas en nanotecnología del grafeno hasta la neuroterapia digital, pasando por la rehabilitación mediante exoesqueletos.

Nanotecnología del grafeno para interfaces neuronales de alta densidad

La **nanotecnología del grafeno** es una nueva área de investigación que tiene el potencial de revolucionar el campo de la neurotecnología. El grafeno es un material bidimensional, muy delgado y fuerte, que tiene una serie de propiedades únicas que lo hacen ideal para aplicaciones neuroelectrónicas. Por ejemplo, el grafeno es un **conductor eléctrico** excelente, lo que significa que puede utilizarse para crear dispositivos capaces de detectar y amplificar señales eléctricas neuronales. Además, el grafeno es **biocompatible**, lo que significa que puede implantarse en el cuerpo sin provocar una reacción inmunitaria.

En los últimos años, se están desarrollando dispositivos basados en grafeno que pueden utilizarse para crear **interfaces neuronales de alta densidad, que sean más pequeñas, más eficientes y más seguras**. A medida que estos dispositivos se desarrollen y se perfeccionen, tendrán un impacto significativo en el campo de la neurociencia y la neuromedicina. Estos dispositivos son capaces de registrar la actividad de cientos o incluso miles de neuronas a la vez, lo que permite a los investigadores estudiar el funcionamiento del cerebro con un nivel de detalle sin precedentes.

Las interfaces neuronales de alta densidad tienen el potencial de revolucionar el tratamiento de una serie de enfermedades neurológicas. Por ejemplo, estos dispositivos podrían utilizarse para controlar los síntomas de la epilepsia, el Parkinson y otras enfermedades neurológicas. Además, las interfaces neuronales de alta densidad podrían utilizarse para restaurar la función cerebral en personas que han sufrido una lesión cerebral o una enfermedad neurodegenerativa.

En concreto, el equipo de **Carolina Aguilar**, Chief Executive Officer & Co-Founder y **Jose Antonio Garrido**, CEO y Fundador y Director Científico de **INBRAIN Neuroelectronics** respectivamente, está trabajando en el desarrollo de **microdispositivos inteligentes basados en grafeno que puedan implantarse en el cerebro para tratar enfermedades neurológicas**. Estos dispositivos serían capaces de decodificar señales cerebrales con una elevada fidelidad, lo que permitiría a los médicos controlar los síntomas de la enfermedad y restaurar la función cerebral.

El Prof. Garrido expone los ámbitos en los que se va a aplicar la nanotecnología del grafeno:

Descubrimiento de biomarcadores para terapias: Parkinson, Alzheimer, epilepsia, trastornos neuropsiquiátricos, ...

Neuroprótesis para discapacitados motores o sensoriales

Como ayuda a los científicos para comprender mejor el funcionamiento de un cerebro normal y de uno enfermo.

El gran reto actual con la tecnología del grafeno es hacerla accesible para el gran público. A nivel experimental y científico, ya está resultando de gran utilidad para los médicos especialistas, pero aún debe pasar las barreras regulatorias y de aceptación clínica para poder usarse de manera generalizada.

"La nanotecnología del grafeno puede permitir terapias neuroelectrónicas personalizadas"

Jose Antonio Garrido

 [Ver vídeo](#)

Jose Antonio Garrido

 [Ver perfil](#)



Neuroterapia digital

La **neuroterapia digital** es un campo emergente que utiliza la tecnología para tratar enfermedades neurológicas. Una de las áreas más prometedoras en este campo es la de las interfaces cerebro-ordenador (BCI, del inglés *Brain-Computer Interface*). Las BCI son dispositivos que permiten, por un lado, recabar información sobre la actividad cerebral de los usuarios y, por otro, a los propios usuarios, controlar dispositivos informáticos con sus pensamientos.

El profesor **Javier Mínguez**, Catedrático y Director de Neurotecnología de la **Universidad de Zaragoza** y Cofundador de **Bitbrain**, ha estado trabajando en el desarrollo de BCIs para el tratamiento de enfermedades neurológicas desde hace más de 20 años. En su ponencia, el profesor Mínguez presenta las **soluciones basadas en software que, mediante el uso de inteligencia artificial, son capaces de prevenir, tratar y realizar seguimiento de las enfermedades neurológicas**, utilizando una interfaz textil cerebro-ordenador, de fácil colocación por parte de los pacientes. Su principal objetivo es aprovechar el poder de la inteligencia artificial para prevenir enfermedades y agilizar los tratamientos médicos en casos tan comunes como la epilepsia, el Alzheimer, el ictus y los trastornos del sueño. La gran ventaja de esta innovación radica en que **permite trasladar parte del proceso de diagnóstico, tratamiento y seguimiento médico directamente a la casa del paciente**.

Esta solución es especialmente beneficiosa para personas que padecen enfermedades crónicas, tienen dificultades de movilidad o viven en áreas remotas, donde el acceso a servicios médicos eficientes puede ser limitado. En estos casos, la tecnología wearable se convierte en la única alternativa viable para acceder a una atención sanitaria adecuada. Gracias a esta herramienta, se busca mejorar la calidad de vida de los pacientes al brindarles una atención más rápida y precisa, reduciendo las listas de espera y aumentando la eficiencia del sistema de salud.

Uno de los ejemplos más prometedores de las soluciones de neuroterapia digital desarrolladas por el profesor Mínguez es el **sistema de rehabilitación cognitiva Bitbrain**. Este sistema utiliza una BCI para ayudar a las personas con lesiones cerebrales a recuperar la función cognitiva. El sistema ha sido probado en ensayos clínicos con resultados positivos, y actualmente está en desarrollo para su uso comercial.

Algunos ejemplos adicionales de cómo la neuroterapia digital se está utilizando para tratar enfermedades neurológicas:

- **Epilepsia:** Las BCIs pueden ayudar a reducir la frecuencia de las convulsiones en las personas con epilepsia refractaria al tratamiento.
- **Enfermedad de Parkinson:** También pueden ayudar a mejorar la movilidad y la coordinación en las personas con enfermedad de Parkinson.
- **Lesiones cerebrales:** Por último, pueden ayudar a mejorar la función cognitiva en las personas con lesiones cerebrales.

 [Ver vídeo](#)

Javier Mínguez

 [Ver perfil](#)



Además, las BCIs textiles de Bitbrain, junto con su software, se pueden utilizar para **mejorar las capacidades cognitivas de los usuarios**, incluso mientras estos duermen, apunta el Prof. Mínguez. Este tipo de solución se está aplicando para pacientes con deterioro cognitivo leve.

Finalmente, la neuroterapia digital **posibilita la realización de estudios clínicos masivos durante largos periodos de tiempo**, por tratarse de una tecnología no invasiva y de fácil utilización por parte de los pacientes. Esto facilitará la investigación y el análisis de tendencias, patrones y correlaciones que pueden no ser evidentes en los estudios actuales, mucho más pequeños.

Estimulación estática de campo magnético para la enfermedad de Parkinson

La **estimulación estática de campo magnético** (SMF por sus siglas en inglés Static Magnetic Fields) es una nueva técnica de estimulación cerebral no invasiva que tiene el potencial de revolucionar el tratamiento de la enfermedad de Parkinson. La SMF utiliza un campo magnético para estimular el cerebro, lo que puede ayudar a mejorar los síntomas de la enfermedad, como la rigidez, la lentitud de movimiento y los temblores.

El Dr. **Guglielmo Foffani**, Investigador y Coordinador Científico en **HM CINAC**, Jefe de Grupo en el **Hospital Nacional de Paraplégicos** y Cofundador de **Neurek**, presenta una nueva técnica de SMF que es más eficaz y segura que los métodos existentes. La nueva técnica utiliza un campo magnético más fuerte y focalizado, lo que permite estimular con mayor precisión las áreas del cerebro que están involucradas en la enfermedad de Parkinson. Además, el dispositivo que realiza la estimulación cerebral es portátil y de fácil colocación.

Los resultados de los **estudios clínicos han demostrado que la nueva técnica de SMF es eficaz para mejorar los síntomas de la enfermedad de Parkinson**. En un reciente estudio, los pacientes que recibieron SMF experimentaron una reducción significativa de la rigidez, la lentitud de movimiento y los temblores. Los pacientes también informaron de una mejora en su calidad de vida.

Guglielmo Foffani



Ver vídeo



Al igual que ocurre con todas las técnicas de estimulación cerebral no invasiva, estamos lejos de comprender los mecanismos exactos por los que la estimulación cerebral estática de campo magnético produce sus efectos, pero las pruebas sugieren que la modulación del intercambio iónico a través de la membrana puede ser responsable de sus efectos fisiológicos a nivel celular, dice el Dr. Foffani.

Además de la enfermedad de Parkinson, la SMF también se ha probado para tratar otros trastornos cerebrales, como la epilepsia, la depresión y el Alzheimer. Los resultados de los estudios clínicos han sido prometedores, y la SMF se está desarrollando para ofrecer tratamientos eficaces y sostenibles en el tiempo para los trastornos cerebrales mencionados.

M^a Cruz Rodríguez

 Ver vídeo



Aplicación clínica del HIFU en trastornos neurológicos

El HIFU (High-Intensity Focused Ultrasound) es una técnica mínimamente invasiva que utiliza ultrasonidos de alta intensidad para tratar una variedad de trastornos neurológicos. El HIFU se puede utilizar para **lesionar y destruir tejido cerebral anormal, lo que mejora los síntomas** de ciertas enfermedades neurológicas.

M^a Cruz Rodríguez, Directora de Neurología y Neurociencias de la **Clínica Universidad de Navarra** es experta en la **aplicación clínica del HIFU en trastornos neurológicos**. El HIFU, nos cuenta la Dra. Rodríguez, trata los síntomas del Parkinson, como temblor, rigidez y torpeza y problemas de equilibrio y coordinación. Se concentra en el subtálamo del cerebro, una región que está involucrada en el movimiento, utilizando ultrasonidos de alta intensidad para lesionar y reducir las neuronas afectadas, mejorando así los síntomas.

Antes de la aplicación del HIFU, uno de los tratamientos posibles era con medicamentos, pero no aliviaban los síntomas del Parkinson lo suficientemente bien como para que los pacientes pudiesen llevar una vida normal con una calidad adecuada. La otra posibilidad era mediante el uso de estimulación cerebral profunda con electricidad, que requería la instalación de una batería eléctrica de un tamaño considerable en el pecho del paciente, la implantación de electrodos en el cerebro del paciente mediante cirugía y la conexión de ambas partes mediante unos cables externos.

El HIFU también se puede utilizar para tratar otros trastornos neurológicos, donde se ha estado aplicando estimulación cerebral profunda con electrodos, incluyendo epilepsia, trastornos del dolor, depresión o trastorno obsesivo compulsivo (TOC).

Dinámica y modelización del cerebro

El **modelado integral del cerebro** abre la puerta a la comprensión causal de los datos procedentes de neuroimagen. Se trata de comprender los mecanismos subyacentes del cerebro humano en la salud y en la enfermedad con un modelo que recoja los detalles necesarios y suficientes para explicar **cómo la función surge de la anatomía subyacente y puede ser moldeada por la neuromodulación**. El Profesor de Investigación en ICREA y Catedrático de la **Universidad Pompeu Fabra, Gustavo Deco**, ha estado estudiando grandes cantidades de imágenes del cerebro y en base a ello, está explorando cómo cambia la actividad cerebral. Ha desarrollado una **nueva forma de entender el cerebro que se inspira en la termodinámica**, y que nos ayuda a ver cómo las diferentes partes del cerebro interactúan entre sí y cómo estas interacciones cambian bajo diferentes circunstancias. **La simulación por ordenador de este modelo del cerebro, podría predecir y recomendar el mejor tratamiento para determinadas enfermedades neurológicas o estados de coma.**

El modelo creado por el Prof. Deco nos permite caracterizar los mecanismos causales dinámicos que subyacen a los diferentes estados cerebrales. En otras palabras, esta técnica nos ofrece una **visión detallada de cómo y por qué el cerebro se mueve entre diferentes estados**, proporcionando una visión más profunda de su funcionamiento.

Además, el profesor Deco señala que las transiciones entre estados cerebrales impulsadas por la neuroestimulación pueden implementarse *in silico*, es decir, utilizando simulaciones por computadora. Estas investigaciones *in silico* podrían **identificar nodos cruciales para forzar las transiciones entre estados cerebrales**, lo que podría tener aplicación para el tratamiento de afecciones como el coma, los accidentes cerebrovasculares y las enfermedades neuropsiquiátricas. De hecho, y de cara al futuro, el Prof. Deco plantea la posibilidad de aplicar su modelo para **predecir el mejor tratamiento para los trastornos de la conciencia y trastornos neuropsi-**

quiátricos. Esto podría revolucionar la forma en que abordamos el tratamiento de estas enfermedades, permitiendo **intervenciones más personalizadas y efectivas basadas en un entendimiento más profundo de la dinámica cerebral** y cómo puede ser modificada.

Por último, el Prof. Deco menciona dos proyectos que se están desarrollando aplicando el modelado integral del cerebro: uno para **entender las pérdidas cognitivas asociadas a la edad** y qué mecanismos serían los más eficaces para revertir estas pérdidas, denominado **The Aging Imageomics Study** y otro para **comprender mejor el estado de coma y estudiar mecanismos que puedan ayudar a salir de dicho estado**.

Gustavo Deco

 Ver vídeo



Interfaces cerebro-ordenador y realidad virtual

Las interfaces cerebro-ordenador (BCIs) y la realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) están convergiendo para crear **experiencias inmersivas y personalizadas** que pueden tener un impacto significativo en numerosos campos, desde la medicina hasta el entretenimiento.

Mavi Sánchez-Vives, una destacada investigadora en el campo de la neurociencia y la tecnología, ha estado explorando el potencial de estas tecnologías desde hace más de 20 años, actualmente desde el **Event Lab** (Entornos Virtuales Experimentales en Neurociencia y Tecnología) que codirige. Su trabajo se centra en **cómo la realidad virtual puede ser utilizada para modificar nuestra percepción del cuerpo y, a su vez, cómo esto puede cambiar la forma en que nuestro cerebro procesa la información.**

La realidad virtual inmersiva puede ser utilizada para crear un "cuerpo virtual" que puede ser modificado de diversas maneras. Por ejemplo, se puede cambiar el tamaño, la forma, o incluso la especie de este cuerpo virtual. Estos cambios pueden tener un **impacto significativo en la forma en que percibimos nuestro propio cuerpo y el mundo que nos rodea**. Por otro lado, las interfaces cerebro-ordenador permiten una comunicación directa entre el cerebro y los dispositivos externos. Esto puede ser utilizado para controlar el cuerpo virtual en la realidad virtual, creando una experiencia inmersiva que puede ser personalizada para el individuo.



**Mavi
Sánchez-
Vives**

 [Ver vídeo](#)

La Prof. Sánchez-Vives destaca **cuatro aplicaciones de estas tecnologías para en el campo de la salud y el bienestar social**:

- Para la **modulación del dolor**, permitiendo a los pacientes experimentar un alivio del dolor a través de la inmersión en un entorno virtual.
- Para la **rehabilitación física**, permitiendo a los pacientes practicar movimientos y habilidades en un entorno seguro y controlado.
- Para la **rehabilitación del comportamiento**. Por ejemplo, pueden ser utilizadas para tratar fobias y trastornos de ansiedad. En esta área, también se está aplicando para tratar problemas de obesidad.
- Para la **mejora de la empatía y de las habilidades sociales**. Más allá de cambiar comportamientos debidos a trastornos neuropsiquiátricos, se puede **usar la realidad virtual inmersiva utilizando avatares para mejorar nuestras habilidades sociales y ayudar a eliminar prejuicios y sesgos**. A esto se dedica la startup fundada por Sánchez-Vives, **kiin**, que ha creado programas como DiVRse, que aborda la **discriminación** por motivos de raza, género e identidad sexual y que se está utilizando ya en varias grandes corporaciones. O VRrespect.ME, para concienciar y corregir comportamientos nocivos para los demás, como es la **violencia machista**. Esta herramienta ya se está utilizando para la rehabilitación social de agresores en varias cárceles europeas y se desarrolla en el marco del proyecto de la UE **VR per GENE** (del inglés, Gender Violence in Europe based on Neuroscience of Embodiment, PeRspective and Empathy). Esta iniciativa se centra en el despliegue de herramientas de prevención y rehabilitación basadas en la realidad virtual inmersiva para reducir la violencia machista.

Neurotecnología y rehabilitación mediante exoesqueletos

La neurotecnología, combinando interfaces cerebro-ordenador (BCIs) con dispositivos mecánicos-electrónicos (exoesqueletos), abre un prometedor campo para la rehabilitación motora.

Ander Ramos-Murguialday, Líder de Neurotecnología y Ciencia Traslacional en **TECNALIA** y en la **Universidad de Tubinga**, es un pionero en este campo. Su trabajo se centra en la utilización de **exoesqueletos para la rehabilitación de pacientes que han sufrido un infarto cerebral**.

Ander Ramos-Murguialday



Ver vídeo



Un infarto cerebral puede causar una serie de problemas físicos, incluyendo debilidad o parálisis en una parte del cuerpo y la rehabilitación busca ayudar a los pacientes a recuperar la mayor funcionalidad posible. Los exoesqueletos son dispositivos robóticos que se ajustan al cuerpo humano y ayudan a los usuarios a moverse. En el caso de la rehabilitación tras un infarto cerebral, un exoesqueleto puede ser utilizado para ayudar a los pacientes a mover las partes del cuerpo que han quedado debilitadas o paralizadas.

Ramos-Murguialday y su equipo están utilizando la neurotecnología para mejorar la eficacia de estos exoesqueletos: mediante el uso de interfaces cerebro-ordenador, captan las señales del cerebro del paciente que indican la intención de moverse. Estas señales se utilizan para controlar el exoesqueleto, permitiendo al paciente moverse de una manera más natural y fluida, facilitando la neuroplasticidad y la recuperación motora.

Además, el uso de exoesqueletos en la rehabilitación proporciona una retroalimentación valiosa para los pacientes y los terapeutas: los sensores en el exoesqueleto pueden recoger datos sobre el movimiento del paciente, que sirven para evaluar el progreso y ajustar el tratamiento.

Hasta el momento, las interfaces cerebro-ordenador que se utilizan para rehabilitación motora son invasivas (es decir, implantes en el cerebro). Las técnicas no invasivas no tienen, por ahora, la resolución ni la calidad de señal adecuada para este tipo de soluciones.



Centros de investigación en IA y Neurociencia

Los avances en la investigación de la inteligencia artificial (IA) y la neurociencia están impulsando la creación de potentes ecosistemas de conocimiento y tecnología. En Europa y en particular en España, destacan dos centros de investigación por su contribución a este campo emergente: **EBRAINS** y el **CiTIUS** (Centro Singular de Investigación en Tecnologías Inteligentes de la Universidad de Santiago de Compostela - USC).

A nivel europeo, EBRAINS es una infraestructura de investigación abierta creada desde el **Proyecto Cerebro Humano** (HBP), financiado por la UE, que reúne una amplia gama de datos y herramientas para la investigación relacionada con el cerebro y la neurociencia. **Viktor Jirsa**, Científico del Proyecto Cerebro Humano y Director Científico de EBRAINS, explica que esta iniciativa ha sido fundamental para el desarrollo de nuevas técnicas de neuroimagen y neurocomputación, y ha contribuido al avance de nuestro conocimiento sobre el cerebro. EBRAINS está revolucionando la forma en que se lleva a cabo la investigación neurocientífica, cambiando la cultura de la investigación de los esfuerzos fragmentados de los laboratorios individuales a la **investigación integrada en plataformas**. El objetivo último: **comprender mejor el cerebro y mejorar la salud y la tecnología cerebrales**, afirma el Prof. Jirsa.



Un ejemplo de lo que se está consiguiendo desde EBRAINS es la herramienta *The Virtual Brain*, un modelo virtual de cerebro (podríamos decir, un gemelo digital del cerebro), que se utiliza para la investigación y la toma de decisiones clínicas. Esta herramienta se está aplicando ya para el **estudio de pacientes con epilepsia**.

Además de para entender mejor la epilepsia y proponer nuevos tratamientos, *The Virtual Brain* se está utilizando para estudiar la **esclerosis múltiple** y para **mejorar técnicas de estimulación cerebral**.

En España, el Centro Singular de Investigación en Tecnologías Inteligentes de la Universidad de Santiago de Compostela (CiTIUS) está liderando el camino en la investigación de la IA. Bajo la dirección de **Senén Barro**, Catedrático de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial y Director Científico del centro, se ha establecido como un centro de excelencia en el desarrollo y la aplicación de tecnologías inteligentes. Su trabajo abarca una amplia gama de disciplinas, desde la robótica y la visión por computadora hasta el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, y está impulsando la innovación en una variedad de sectores.

El Prof. Barro explica que cada vez se producen más estudios científicos que utilizan la IA en el campo de la neurociencia y la neurotecnología. De hecho, en la próxima edición del ECAI (*European Conference on Artificial Intelligence*), que se celebrará en Santiago de Compostela en 2024, este será uno de los temas estrella.

Viktor Jirsa



Ver vídeo

En CiTIUS están desarrollando cuatro proyectos que, potencialmente, tienen aplicación en neurotecnología:

Diseño y desarrollo de una **célula solar de 1 mm² y una unidad de gestión de energía (PMU)** en el mismo sustrato para alimentar dispositivos vestibles o implantables, que podrían ser fuente de alimentación de BCIs.

Nuevo sistema de realidad virtual inmersiva que podría utilizarse para aplicaciones del tipo de la que referenciaba anteriormente la Prof. Sánchez-Vives. Un paso más allá, cuenta el Prof. Barro, se puede utilizar este sistema de realidad virtual como herramienta de **investigación y formación para científicos**, como **sustituto de sustancias psicodélicas como terapia** que utiliza la autotrascendencia para tratar la ansiedad, la depresión y la drogadicción y como **herramienta para el diseño de nuevas moléculas**.

Sistema de visión inteligente multispectral con computación neuronal de bajo consumo integrada, que podría implantarse en pacientes con problemas de visión.

Creación de herramientas de **aprendizaje federado** (a menudo denominado aprendizaje colaborativo), que es un enfoque descentralizado para entrenar modelos de aprendizaje automático. No requiere un intercambio de datos desde los dispositivos cliente a los servidores globales. En su lugar, los datos brutos de los dispositivos periféricos se utilizan para entrenar el modelo localmente, lo que aumenta la privacidad de los datos. El Prof. Barro apunta que esta herramienta está aplicándose para el diagnóstico temprano del Alzheimer y del Parkinson.



Senén Barro

 [Ver vídeo](#)

Estos dos centros de investigación representan la vanguardia de la investigación en IA y neurociencia en Europa y España. A través de su trabajo, están ayudando a crear un ecosistema de investigación y desarrollo que promete transformar nuestra comprensión del cerebro humano y las posibilidades de la inteligencia artificial.

Además, en 2022 fue noticia la puesta en marcha por parte del Gobierno de España del Centro Nacional de Neurotecnología, Spain Neurotech, pionero en Europa para el desarrollo de herramientas tecnológicas basadas en los fundamentos del cerebro humano. Un proyecto del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, la Comunidad de Madrid y la Universidad Autónoma de Madrid que pretende impulsar una red de centros públicos y privados

especializados por todo el territorio a través de la cual avanzar en la investigación de enfermedades crónicas en sus estados iniciales, así como en trastornos del neurodesarrollo, enfermedades del espectro autista, Parkinson, Alzheimer, depresión, trastornos del sueño, patologías del ritmo circadiano o en el daño cerebral agudo.

Fuera de Europa, cabe destacar la iniciativa BRAIN (Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies), creada en EE.UU. para acelerar el desarrollo de neurotecnologías innovadoras. Entre otras cosas, BRAIN pretende crear una nueva y revolucionaria imagen dinámica del cerebro que, por primera vez, muestre cómo interactúan las células individuales y los complejos circuitos neuronales tanto en el tiempo como en el espacio.

Del laboratorio al mercado

Las neurotecnologías están emergiendo como un campo innovador con el potencial de revolucionar la forma en que interactuamos con el cerebro y tratamos trastornos neurológicos. Desde los centros de investigación y las universidades, a la vez que se avanza en el descubrimiento de nuevas soluciones, se está creando una red de conocimiento y transferencia tecnológica que, muchas veces, cristaliza en startups que son spin-off de estos centros y que se apoyan en la colaboración público-privada.

Kristina Dziekan, como miembro no ejecutivo del Consejo de **ONWARD**, aboga por políticas que fomenten un acceso equitativo a los mercados para startups prometedoras en el campo de las neurotecnologías. Su experiencia y visión estratégica la han llevado a promover la colaboración entre los sectores público y privado para impulsar el desarrollo de un ecosistema de neurotecnología y de marcos regulatorios justos y eficientes.

Kristina Dziekan

 Ver vídeo



En Europa, con su diversidad de sistemas de salud y regulaciones, este proceso es aún más complejo. El acceso al mercado no solo se refiere a la aprobación regulatoria, sino también a garantizar que **las innovaciones sean adecuadamente financiadas e integradas en los protocolos de atención al paciente**. Un desafío clave en Europa es cómo lograr que las tecnologías sean comercialmente viables, es decir, cómo conseguir que sean pagadas y reembolsadas por las compañías de seguros o por los gobiernos. Si bien puede haber tecnologías similares ya en el mercado, las nuevas innovaciones, como la estimulación profunda del cerebro, deben demostrar beneficios adicionales para ser consideradas para el reembolso. Por ejemplo, la empresa Onward está desarrollando una tecnología de estimulación de la médula espinal para pacientes con lesiones en la misma. Con la aparición de interfaces cerebro-computadora y otras neurotecnologías avanzadas, es esencial establecer categorías y estándares claros para su reembolso. Sin una guía clara, los pagadores y los proveedores de atención médica pueden encontrarse en una encrucijada, sin saber cómo integrar estas innovaciones en los protocolos de tratamiento.

Una propuesta es comenzar en un país específico, como por ejemplo España, y construir un prototipo de acceso al mercado, similar a lo que hizo **DIGA** en Alemania con la **salud digital**. Este prototipo podría servir como inspiración para toda Europa. Sin embargo, para que este proceso sea efectivo, es esencial involucrar a todos los actores relevantes, incluyendo a los pagadores y a los pacientes.

Un desafío para las startups es equilibrar el deseo de crecimiento con el impacto en la sociedad. La colaboración entre empresas y el sector público puede ser lenta y consumir recursos, pero es esencial para garantizar un acceso sostenible y beneficioso al mercado. El caso de DIGA en Alemania sirve como un ejemplo de cómo la digitalización puede facilitar la entrada al mercado. Para las startups en Europa, la elección entre dirigirse al mercado estadounidense o permanecer en Europa y trabajar con regulaciones específicas para cada país, es crucial.

Startups españolas en neurotecnología

Tres startups españolas están liderando la llegada de estas tecnologías al mercado: **Neuroelectrics**, **Bitbrain** e **INBRAIN Neuroelectronics**. Su trabajo pionero en estimulación cerebral, interfaces cerebro-ordenador y neurotecnología implantable promete abrir nuevas posibilidades en el tratamiento de enfermedades neurológicas y mejorar nuestra comprensión y conexión con el cerebro humano. ¿A qué retos se han enfrentado para ir al mercado? ¿Cuáles son las claves de su éxito? A continuación, lo explican algunos de los protagonistas.

Neuroelectrics, cofundada y dirigida por **Ana Maiques**, se dedica a desarrollar **soluciones no invasivas para estimulación cerebral y monitorización neurológica**. Utilizan tecnologías como la estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS) y la electroencefalografía (EEG) para ofrecer tratamientos innovadores y no farmacológicos para afecciones neurológicas como la epilepsia, la depresión y el dolor crónico.

Además, Neuroelectrics ha desarrollado un dispositivo portátil que permite la monitorización y diagnóstico de la actividad cerebral en tiempo real, lo que facilita la investigación y el desarrollo de terapias personalizadas. Una de sus ventajas competitivas: el dispositivo puede llevarlo el paciente en su casa y no solo monitoriza su actividad cerebral, sino que también puede realizar estimulación cerebral en función de sus lecturas de actividad.

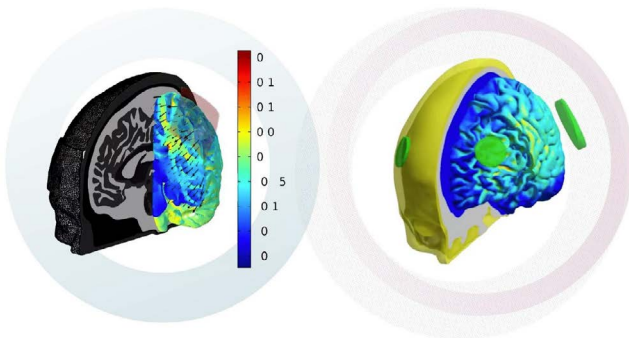


Imagen de la web: <https://www.neuroelectrics.com/>

Ana Maiques

▶ Ver vídeo



Esta startup fue fundada por dos perfiles muy distintos y complementarios, **Giulio Ruffini**, el científico y la propia Ana Maiques, la empresaria emprendedora. Ana apunta que el éxito de Neuroelectrics tiene mucho que ver con esta bicefalia, donde cada cual aporta lo mejor de sí y se produce la necesaria convergencia de objetivos. Son dos culturas (la científica y la emprendedora) que tienen que comprenderse mutuamente y avanzar con una misma visión: **llevar soluciones innovadoras de neurotecnología para el beneficio de los pacientes y los sistemas de salud**.

Otra de las claves del éxito es contar con talento muy diverso de todas las partes del mundo.

Fundada en Barcelona, hoy tiene su sede en Boston, EE.UU., desde donde han lanzado dos ensayos con la **FDA** -la agencia del Gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos-: uno para **tratar a pacientes con epilepsia** y otro para **pacientes con depresión severa**. Los resultados son prometedores. Por ejemplo, en el caso de pacientes con epilepsia, se ha demostrado que el uso del equipo durante 20 minutos al día, durante diez días seguidos, redujo las convulsiones en los pacientes en un 50 por ciento.

El siguiente paso, además de seguir llevando al mercado su dispositivo, es la creación de **gemelos digitales del cerebro de los pacientes** que permitirían adecuar los tratamientos mediante simulaciones antes de aplicarlos en real.

Bitbrain, cofundada y dirigida por **María López**, se especializa en interfaces cerebro-ordenador y neurotecnología aplicada. Su tecnología incluye **dispositivos portátiles de neuroregistro y estimulación, así como software y algoritmos avanzados para el análisis de señales cerebrales**. Estos productos permiten la monitorización y la interpretación de las señales cerebrales en tiempo real, lo que abre un amplio abanico de aplicaciones en campos como la investigación, la salud mental y la rehabilitación. El modelo de liderazgo de esta startup es similar al de Neuroelectrics, donde **Javier Mínguez** desempeña la función de Director Científico. El Prof. Mínguez había creado **prototipos muy avanzados de interfaces cerebro-ordenador para neuroprótesis y control de robots desde la Universidad de Zaragoza**, que tuvieron una gran cobertura en los medios de comunicación y generaron mucho interés tanto en potenciales pacientes como en la comunidad científica. A raíz de ello, María López le convence para crear una spin-off de la Universidad para llevar esta tecnología al mercado. Desde entonces, hace diez años, llevan investigando y desarrollando soluciones y dispositivos con ese objetivo. La peculiaridad de esta startup es que ha decidido no buscar financiación de capital riesgo hasta no tener sus productos y soluciones realmente listas para ir al mercado. No quieren presión de inversores mientras desarrollan sus soluciones. Mientras tanto, se financia a través

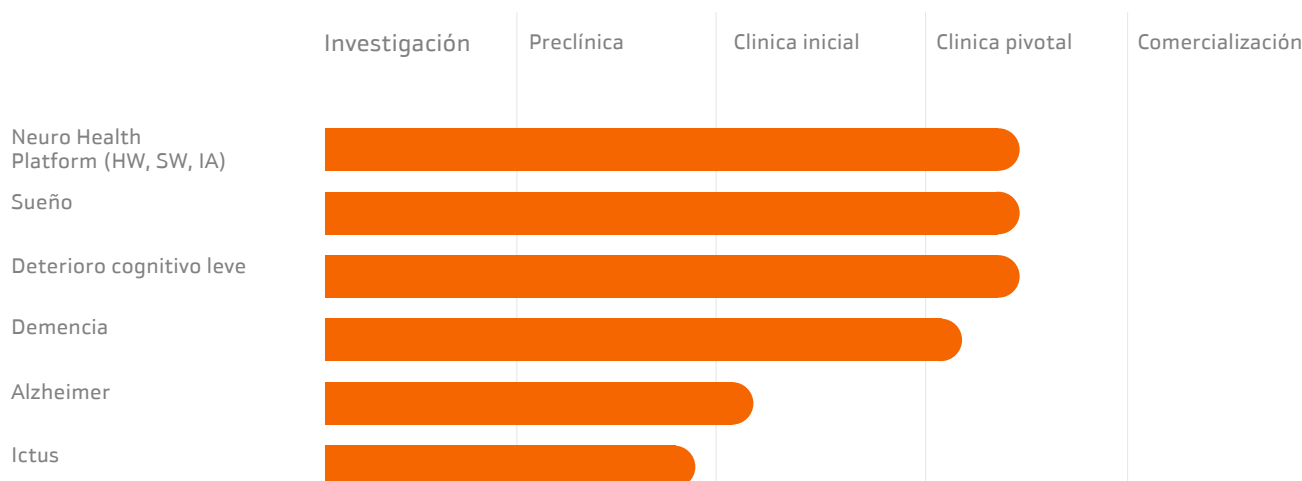


María López

 Ver vídeo

de proyectos de investigación y de colaboraciones con otros centros de investigación. A día de hoy, están en hasta seis ensayos clínicos en España y creando una red de startups y centros de investigación para que utilicen su plataforma **Elevvo Neuro Health Platform**.

INBRAIN Neuroelectronics, cofundada por **José Antonio Garrido**, se enfoca en la neurotecnología implantable. La empresa desarrolla **implantes cerebrales de alta tecnología basados en grafeno que pueden interactuar directamente con el tejido cerebral para tratar trastornos neurológicos y mejorar las funciones cognitivas**. Estos implantes están diseñados para ser seguros y duraderos, y utilizan materiales avanzados y tecnología de vanguardia para garantizar un rendimiento óptimo.



Para el Prof. Garrido, la primera clave para poder llevar una tecnología al mercado es la **investigación rigurosa** en los laboratorios. De hecho, INBRAIN Neuroelectronics surge desde su actividad como Profesor de Investigación ICREA y líder del **Grupo de Materiales y Dispositivos Electrónicos Avanzados ICN2**, que explora nuevos materiales electrónicos, como el grafeno y otros materiales 2D, y su potencial en aplicaciones electrónicas y bioelectrónicas. Desde la investigación, si quieres llevar al mercado un producto o solución, es necesario **crear un equipo profesional adecuado para ello**, fuera del ámbito académico investigador, apunta el Prof. Garrido, que explica cómo, presentando su proyecto a un fondo de capital riesgo, conoció a la persona que finalmente fue capaz de liderar la startup, **Carolina Aguilar**, su actual CEO.

INBRAIN se enfrenta a distintos retos regulatorios que Neuroelectrics y Bitbrain, debido a que su solución es invasiva. A nivel europeo, ni siquiera existe normativa o regulación sobre como deben tratarse los nanomateriales implantables en tejidos u órganos humanos. Por otro lado, apunta el Prof. Garrido, la competencia norteamericana de INBRAIN juega con cierta ventaja debido a que allí es más fácil obtener financiación de fondos de capital riesgo especializados.

Estas tres startups españolas son ejemplo del efervescente ecosistema de startups en neurotecnología a nivel mundial. Algunas startups internacionales a las que conviene conocer, además de las mencionadas en este informe (iota Biosciences, Neurek, kiin) son:

NeuroSky, que desarrolla sensores para la medición de la actividad cerebral.

Brainsway y Neuronetics, que desarrollan soluciones y dispositivos para la estimulación transcraneal magnética (TMS).

Neofect, que desarrolla dispositivos para la rehabilitación neuromuscular.

Neuralink, que desarrolla interfaces cerebro-ordenador (BCI) implantables. Muy recientemente, se ha anunciado la aprobación de la Administración de Fármacos y Alimentos de EE.UU. (FDA, en inglés) para hacer **estudios en humanos de sus implantes cerebrales**.

Paradomics, que desarrolla también interfaces cerebro-ordenador (BCI) implantables, de altísima velocidad de transmisión de datos.

Kernel, que, mediante la aplicación de herramientas de IA, desarrolla nuevos biomarcadores.

Uno de los mayores retos de las startups de neurotecnología es la **atracción y retención de talento** global, según apunta Ana Maiques. Para ello, **promover el crecimiento de un ecosistema emprendedor en neurotecnología** puede ser una de las claves, como señala el Prof. Garrido. Con la ventaja añadida de que sería más fácil **atraer financiación** hacia un ecosistema consolidado y en crecimiento. Respecto a la financiación, si bien hoy en día las startups norteamericanas disponen de hasta cuatro veces más de financiación que las europeas, esta brecha se está intentando acortar con iniciativas como la lanzada por el **Consejo Europeo de Financiación (EIC)**, que cuenta con 1.600 millones de euros en 2023 para invertir en las startups más innovadoras para convertirlas en **scaleups**, muchas de ellas en startups de transferencia tecnológica (*Deep Tech*). En España ya se están constituyendo fondos de venture capital especializados en transferencia tecnológica como **Grow Venture Partners**, **Barcelona Deeptech Fund** o **TECNALIA Ventures**, que se añaden a gestoras que ya lo venían haciendo, pero no de manera especializada, como **JME Ventures**.

Estas iniciativas pueden cambiar las hasta ahora escasas capacidades europeas de **convertir desarrollos científicos y tecnológicos en negocios**, en comparación con EE. UU. y Asia. **Grace Xin Ge**, Patrona de la Fundación Innovación Bankinter, apunta dos retos de las startups de base tecnológica en España y, en general, en Europa: por una parte existe una falta de experiencia profesional de perfiles capaces de acelerar el crecimiento de estas startups y, por otra no hay una ambición suficiente como para apostar por la globalidad de los productos y soluciones que se crean.

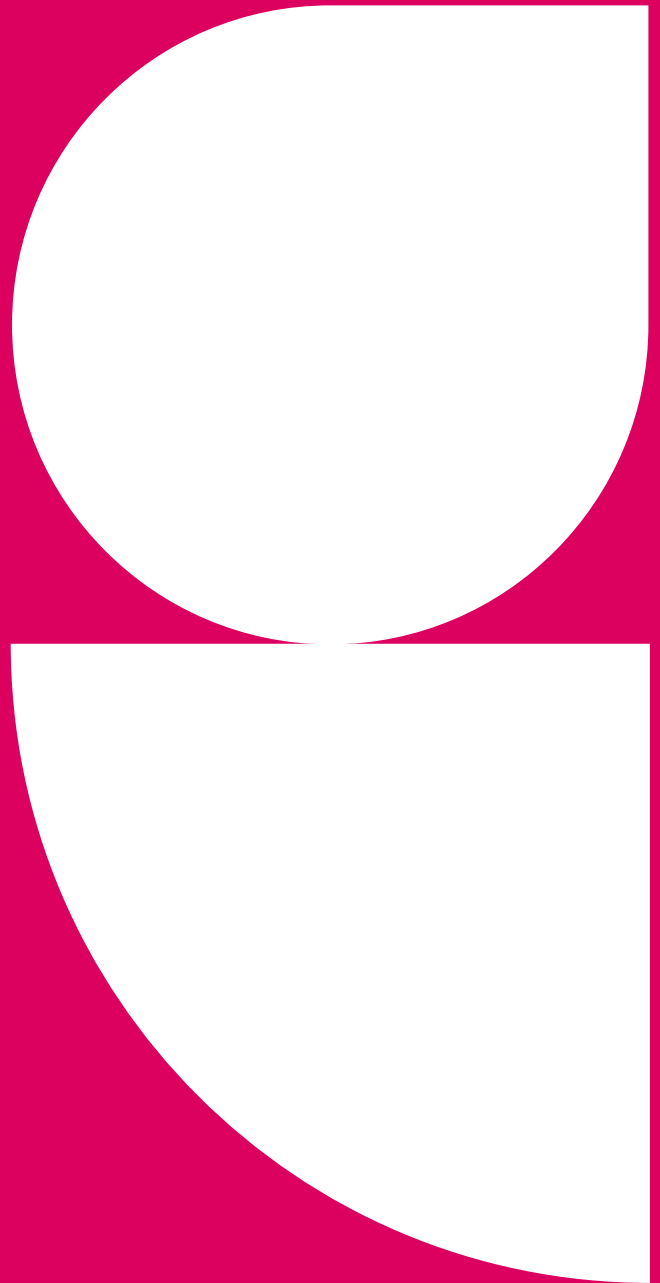
En las universidades técnicas y los centros de investigación españoles se está empezando a tomar en serio la transferencia tecnológica, que ha sido una asignatura pendiente en comparación con otros países europeos y EE.UU. Así que, en el futuro cercano, veremos la creación de más *spin-offs* dedicadas a neurotecnologías y también otras tecnologías de base, como **computación cuántica**. Por otro lado, los centros de investigación aplicada y desarrollo tecnológico europeos, como puede ser Tecnalia, están más concienciados del papel relevante que pueden jugar para acelerar la transferencia tecnológica.



**Grace
Xin Ge**

 [Ver perfil](#)

2



**Otras tecnologías
para la mejora
humana**

2

Otras tecnologías para la mejora humana

Edición genética y biología sintética

La capacidad de leer el ADN, que se logró por primera vez con el **Proyecto Genoma Humano**, ha tenido un gran impacto en nuestra comprensión de cómo funciona la vida y cómo ocurren las enfermedades. En particular, ha cambiado nuestro enfoque sobre cómo optimizar la terapia para el cáncer, permitiendo seleccionar el medicamento adecuado para cada tipo de cáncer.

Por su parte, con la tecnología **CRISPR**, ya es posible también realizar modificaciones genéticas, editando la secuencia del ADN. CRISPR tiene un enorme potencial para aplicaciones médicas, especialmente

para el tratamiento y cura de enfermedades genéticas, que muchas veces son debidas a cambios mínimos en la secuencia del ADN y esta técnica permite corregirlos. **Francis Collins**, investigador principal y ex Director del Instituto Nacional de Salud de EEUU, muy conocido por su liderazgo en el Proyecto Genoma Humano, ilustra los beneficios de la edición genética con los **avances en la lucha contra la progeria**, una enfermedad genética extremadamente rara y devastadora que causa un envejecimiento acelerado en niños. Los científicos han identificado la mutación responsable de la progeria, conocida como la mutación LMNA, lo que ha permitido un mayor entendimiento de los mecanismos subyacentes de la enfermedad. Esto ha llevado al desarrollo de terapias dirigidas específicamente a contrarrestar los efectos de esta mutación, como la utilización de inhibidores de farnesiltransferasa y medicamentos que estabilizan el núcleo celular.



Francis Collins

 Ver video

Además, la edición de genes ha demostrado ser prometedora en el tratamiento de la **enfermedad de células falciformes**, la primera enfermedad molecular conocida. Actualmente, hay dos protocolos de edición de genes para esta enfermedad bajo revisión por la FDA, dice el Dr. Collins. Y es solo el principio: **"hay siete mil enfermedades genéticas que podrían curarse o mejorarse utilizando la edición genética"**, señala el Dr. Collins.

La edición genética es un tema que genera entusiasmo y, al mismo tiempo, requiere una reflexión seria sobre sus diversas aplicaciones. El Dr. Collins dice que, a pesar de estos avances positivos, la edición de genes también plantea preocupaciones éticas y morales, especialmente cuando se trata de modificar embriones humanos. Collins menciona el caso de un científico en China que **modificó embriones para reducir la probabilidad de infección por VIH**. Este hecho ha generado **preocupaciones sobre la seguridad y las implicaciones éticas de modificar el genoma humano que pueda afectar a las futuras generaciones**. Collins enfatiza que, aunque la edición de genes en animales está avanzando y proporcionando valiosos aprendizajes, la comunidad internacional en general está de acuerdo en que no se debe realizar la edición de genes en humanos. Sin embargo, se está debatiendo si esta moratoria debería ser permanente o si hay circunstancias en las que podría permitirse.

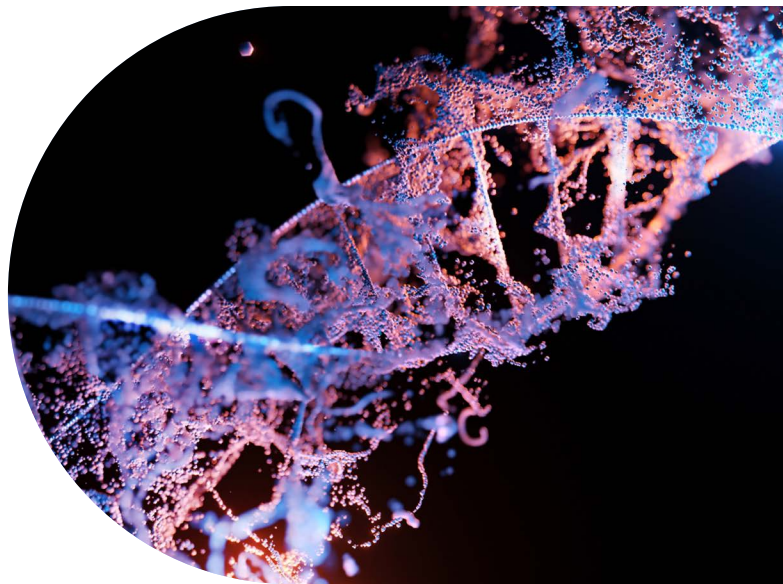
Respecto a la **edición genética para la mejora de las capacidades humanas**, el Dr. Collins apunta que surgen innumerables interrogantes que deben ser abordados desde una perspectiva holística: social, moral, legal, científica, antropológica.

Mientras tanto, deben producirse avances importantes en las tecnologías de edición genética, sobre todo en la forma en que se aplicarán de manera práctica a los humanos. Un ejemplo muy positivo que indica el camino a seguir es la **cura de la anemia falciforme con CRISPR**, donde todos los síntomas de una enfermedad que se creía incurable, desaparecen.

"Hay siete mil enfermedades genéticas que podrían curarse o mejorarse utilizando la edición genética"

Dr. Collins

Finalmente, Collins destaca la **importancia de la comunicación clara y precisa sobre la edición de genes y sus posibles aplicaciones y riesgos**. En un momento en que la confianza en la ciencia ha disminuido, los científicos tienen la responsabilidad de trabajar para recuperar la confianza del público y asegurarse de que sus investigaciones se realicen en beneficio de la humanidad.



ARN y mejora humana: Desvelando nuevos horizontes en nanomedicina

El uso de ARN está revolucionando la nanomedicina y la mejora humana. Su uso en **terapias génicas, medicina regenerativa y vacunas** permite tratar enfermedades genéticas, regenerar tejidos y desarrollar vacunas más rápidas y adaptables. El potencial del ARN en la mejora humana es prometedor y continuará expandiéndose en el futuro, gracias a las investigaciones y logros en los vehículos portadores de ARN. Así lo afirma la doctora **M^a José Alonso**, Catedrática de Biofarmacia y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de Santiago de Compostela.

Aunque se ha hablado mucho sobre la mejora humana y la edición genética, es el ARN el que ha revelado innovaciones prácticas ya aplicables. La definición de "mejora humana" ha sido objeto de debate, pero la Dra. Alonso la describe como un esfuerzo por mejorar las características, habilidades o funciones humanas. Siendo las enfermedades, en su mayoría, el resultado de disfunciones biológicas, a menudo relacionadas con genes que no funcionan correctamente, poder darle al cuerpo las herramientas necesarias para curarlas, forma parte de esta definición. Lo que es revolucionario en la medicina actual es que ya no se trata solo de abordar los síntomas de una enfermedad, sino de ir directamente a su causa raíz. En lugar de simplemente tratar, ahora se busca **permitir que el cuerpo se repare a sí mismo**. Esta perspectiva es un cambio dramático de la medicina tradicional, asegura la Dra. Alonso.



En cuanto a las aplicaciones prácticas del ARN, es necesario diferenciar entre las vacunas de ARNm y las terapias basadas en ARN. Mientras que las vacunas de ARNm, como las desarrolladas para COVID-19, introducen información genética en nuestro cuerpo para que produzca la proteína deseada, las terapias basadas en ARN abordan directamente la causa de la enfermedad, ya sea silenciando un gen defectuoso o introduciendo ARN que instruye al cuerpo a producir una proteína curativa.

Un aspecto crucial que la Dra. Alonso destaca es la integración de diversas tecnologías. Mientras que la genómica y la proteómica identifican genes defectuosos, y la biotecnología permite producir ARN y proteínas para tratamientos, **la nanotecnología juega un papel esencial en la entrega efectiva de estas terapias**. Las nanopartículas son fundamentales para transportar el ARN al lugar correcto en el cuerpo. Estas nanopartículas, algunas de las cuales se han desarrollado en el laboratorio de la Dra. Alonso, han sido esenciales para la eficacia de las vacunas, especialmente las de COVID-19. Aunque las vacunas COVID-19 parecían haberse desarrollado a una velocidad vertiginosa, en realidad se basaron en décadas de investigación. Las nanopartículas, como los liposomas, han existido desde la década de 1970, y ya en la década de 1990 se estaban desarrollando formulaciones de ARN para vacunas contra la influenza.

¿Y cómo estas tecnologías están beneficiando hoy en día a las personas? Además de las vacunas COVID-19, hay tratamientos en el mercado para enfermedades raras y cientos de ensayos clínicos en curso para tratar otras enfermedades. También destaca la Dra. Alonso la investigación en áreas como la entrega de ARN al cerebro para tratar enfermedades como el Alzheimer y el glioblastoma, así como el desarrollo de nuevos antibióticos y terapias contra el cáncer.

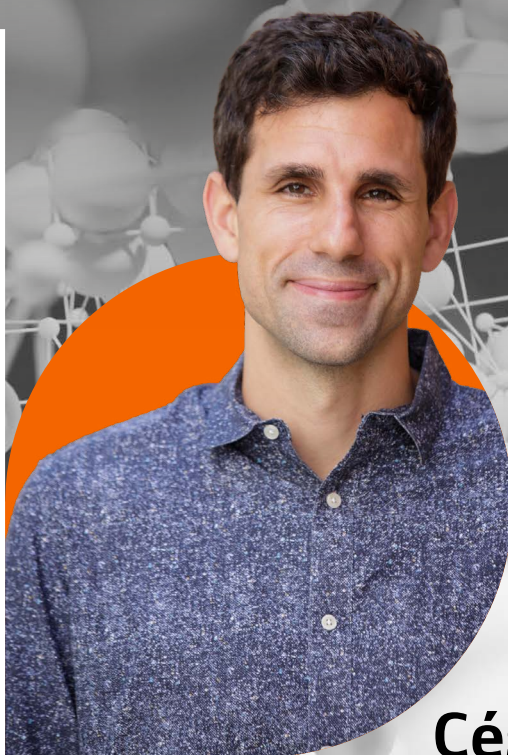
En definitiva, el futuro de la medicina pasa por la integración de la genética, la nanotecnología y la biotecnología, que promete revolucionar la forma en que tratamos y prevenimos enfermedades.

IA para el descubrimiento de antibióticos

El desarrollo de medicamentos es un proceso lento y costoso, con un coste estimado de más de 2 mil millones de dólares por fármaco. Se puede tardar más de una década en desarrollar un medicamento y se tarda entre tres y seis años en descubrir candidatos preclínicos. Sin embargo, el aumento en la capacidad de cómputo, la posibilidad de generar y procesar grandes cantidades de datos y las herramientas de inteligencia artificial (IA), prometen acortar los plazos y los costes de manera exponencial.

César de la Fuente, Profesor Adjunto al Presidente en la **Universidad de Pensilvania** y su equipo, se han especializado en la búsqueda de nuevos antibióticos utilizando IA, capaces de **vencer la resistencia antibiótica**, es decir, la capacidad de un microorganismo para resistir los efectos de un antibiótico. Según el Prof. De la Fuente, en el año 2050, las muertes causadas por la resistencia antibiótica podrían superar a las muertes por cáncer.

Para abordar este problema, su equipo utiliza **aprendizaje automático** para **diseñar nuevos antibióticos**. Emulan el proceso evolutivo, codificando proteínas pequeñas en el ordenador y permitiendo que la máquina ejecute evolución in silico. Tras diseñar estas moléculas en la computadora, las sintetizan químicamente y prueban su eficacia en el laboratorio. El equipo que dirige ha sintetizado ya unos 55 péptidos que, cuando se han probado contra microbios resistentes a fármacos populares, como el germen responsable de las infecciones por estafilococo, han demostrado impedir que las bacterias se repliquen.

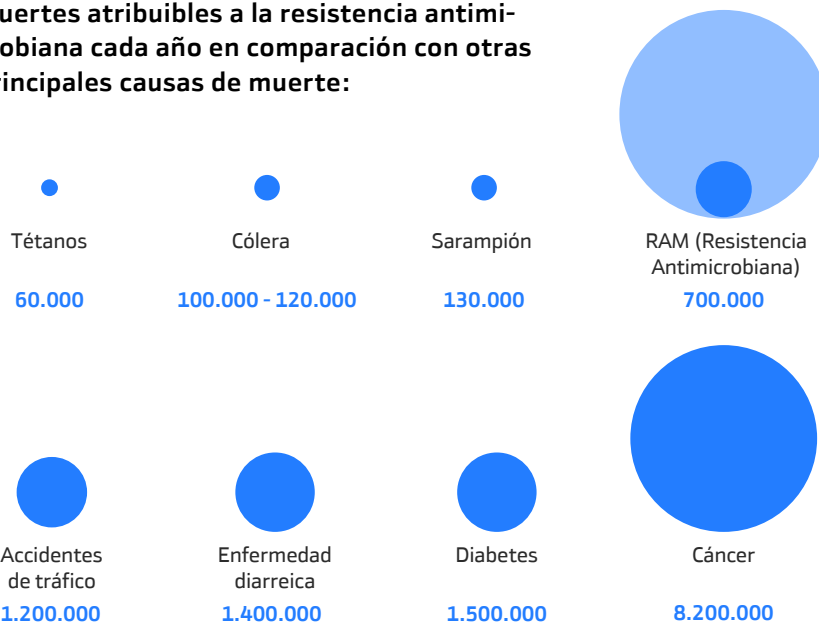


César de la Fuente



Ver vídeo

Muertes atribuibles a la resistencia antimicrobiana cada año en comparación con otras principales causas de muerte:



Source: Review on Antimicrobial Resistance 2014

Por otro lado, y utilizando también algoritmos de aprendizaje automático, buscan en el genoma humano péptidos que combatan los microbios. Para el diseño de los algoritmos, se inspiran en algoritmos de reconocimiento de imágenes y voz: estos algoritmos identifican patrones moleculares que podrían ser antibióticos potenciales. De la Fuente y su equipo han escalado este proceso para **analizar proteomas enteros, descubriendo "péptidos encriptados" con propiedades antimicrobianas**. Estos descubrimientos abren el camino para la creación de antibióticos basados en secuencias peptídicas naturales del proteoma humano, que se denominan péptidos encriptados, que son diferentes de los péptidos antimicrobianos descritos anteriormente y también poseen propiedades muy interesantes.

En el proceso de creación de nuevos antibióticos, han descubierto que **los antibióticos generados**

por IA actúan de manera diferente a los antibióticos convencionales, afectando la membrana bacteriana de una manera única. Además, estos antibióticos han demostrado ser eficaces en experimentos preclínicos con ratones.

El equipo también ha explorado proteomas de nuestros parientes más cercanos, los neandertales y los denisovanos, descubriendo diferencias en los antibióticos a lo largo de la evolución. Estos hallazgos resaltan el potencial de la IA en el descubrimiento de medicamentos y cómo puede revelar moléculas y mecanismos previamente desconocidos.

En todo este proceso científico de investigación, De la Fuente enfatiza la importancia de involucrar a bioeticistas y considerar las implicaciones de liberar ciertos conjuntos de datos al público: es necesario un enfoque multidisciplinar y la consideración cuidadosa de las implicaciones éticas y de seguridad.

Reprogramación del software bioeléctrico de la vida

Los patrones bioeléctricos, las señales eléctricas que se producen en los organismos vivos, desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y la regeneración de los tejidos.

La reprogramación de patrones bioeléctricos se refiere a la comprensión y manipulación de la "inteligencia" de sistemas biológicos. Aunque estos sistemas están genéticamente codificados, tienen una plasticidad que les permite adaptarse a diferentes circunstancias. Un ejemplo son los **xenobots**, creados a partir de células de piel de rana, que pueden replicarse y formar nuevas generaciones.

Michael Levin, Catedrático de Biología, Catedrático Distinguido de la Facultad de Filosofía y Letras y Catedrático de Ingeniería Biomédica de la **Universidad Tufts**, estudia la toma de decisiones anatómicas y conductuales a múltiples escalas de sistemas biológicos, artificiales e híbridos. Según el Prof. Levin, **los patrones bioeléctricos son como un "software" que guía la forma y la función de los organismos**.

Levin ha llevado a cabo investigaciones pioneras en el campo de la biología bioeléctrica, demostrando que **se pueden manipular los patrones bioeléctricos para inducir cambios en la forma y la función de los organismos**. El propósito de sus investigaciones es entender las habilidades de los colectivos celulares para formar patrones a gran escala. Esto se relaciona con la biología sintética, que va más allá de la biología tradicional. Un ser humano, por ejemplo, comienza como una célula y se transforma

en un ser complejo gracias a la inteligencia colectiva de las células. En el futuro, se espera desarrollar un "compilador anatómico" que permita a los científicos diseñar y construir estructuras biológicas específicas, con aplicaciones en medicina regenerativa.

Si cambias el código bioeléctrico, cambias a todo el organismo

Michael Levin



Ver vídeo

Un desafío es entender la inteligencia de los colectivos celulares. Estas células, que alguna vez fueron independientes, pueden trabajar juntas para lograr metas complejas. La investigación ha mostrado que los organismos pueden reprogramarse a través de señales eléctricas. Por ejemplo, se creía que la transformación de un renacuajo en rana era un proceso fijo, pero los experimentos han demostrado que pueden adaptarse a diferentes configuraciones. Estas adaptaciones se basan en señales eléctricas que las células han usado desde tiempos ancestrales.

Otro experimento llevado a cabo por el Prof. Levin y su equipo, reveló que, al alterar patrones eléctricos en renacuajos, células intestinales podían formar un ojo. **Esto indica que la información para crear estructuras supracelulares no está solo en la genética, sino que puede ser activada por señales eléctricas.** Uno de los experimentos que más repercusión ha tenido es el realizado con planarias, donde se encontró que **las señales bioeléctricas determinan cómo se reconstruyen si se parten por la mitad.** Al reprogramarlas, se pueden obtener planarias de dos cabezas que recuerdan esta condición en futuras regeneraciones.

Estos hallazgos tienen grandes implicaciones en medicina y bioingeniería. Se ha descubierto que **más allá de la genética, los patrones bioeléctricos pueden influir en el desarrollo de organismos.** Por ejemplo, algunas especies pueden desarrollar características de otras, sin cambios genéticos. Un ejemplo es el roble, que puede formar estructuras llamadas agallas al recibir señales de un parásito.

Este concepto de reprogramación es también esencial para entender la diferencia entre células sanas y cancerosas. **Las células cancerosas** actúan de forma independiente, pero **mediante reprogramación bioeléctrica, podrían ser influenciadas para comportarse de manera saludable.** La medicina del futuro podría combinar enfoques tradicionales con estrategias derivadas de esta innovadora rama de la ciencia que descubre que **las células tienen una inteligencia colectiva que les permite adaptarse a situaciones nuevas.** La teoría del Prof. Levin tiene implicaciones significativas en campos como la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos. Al comprender y manipular los patrones bioeléctricos, se podrían desarrollar **terapias innovadoras para la regeneración de tejidos dañados, el tratamiento de enfermedades y la mejora de la capacidad de curación del cuerpo humano.**

Aprovechar la evolución y las redes de resiliencia para revertir enfermedades

¿Cómo los sistemas biológicos pueden adaptarse y recuperarse de trastornos o enfermedades? ¿Cómo podemos utilizar este conocimiento para desarrollar tratamientos efectivos?

Los organismos vivos tienen mecanismos inherentes de resiliencia y plasticidad que pueden ser aprovechados para restaurar la función normal en caso de enfermedad. Estos mecanismos se han desarrollado a lo largo de millones de años de evolución y permiten a los organismos adaptarse y responder a cambios en su entorno.

Este es el campo de especialización de **Mauro Costa-Mattioli**, Director del Centro de Investigación



**Mauro
Costa-
Mattioli**



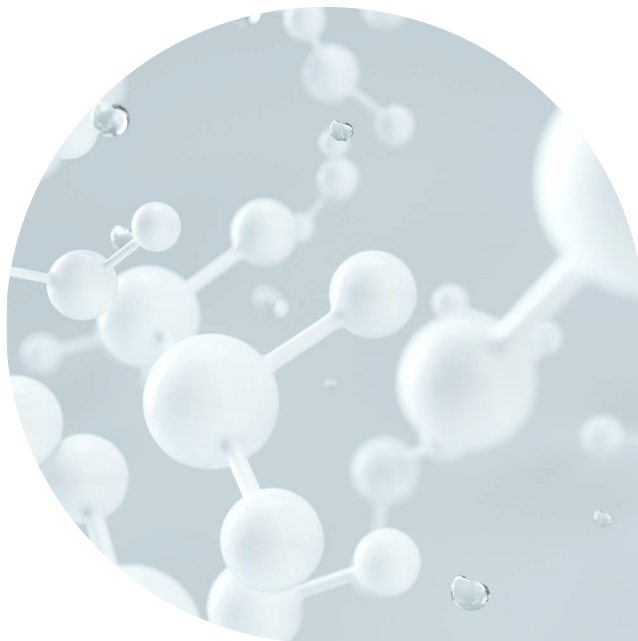
Ver vídeo

de la Memoria y el Cerebro y profesor adjunto de Neurociencia del **Baylor College of Medicine** e investigador principal de **Altos Labs**. En lugar de centrarse únicamente en identificar y corregir defectos genéticos específicos, el enfoque de Costa-Mattioli se basa en la idea de que al comprender cómo funcionan las redes de resiliencia en el cerebro y otros sistemas biológicos, se pueden identificar intervenciones terapéuticas que puedan potenciar estas redes y promover la recuperación y el restablecimiento de la función normal. Esto podría implicar el uso de fármacos, terapias genéticas u otras estrategias para modular la actividad de las redes de resiliencia y promover la reversión de enfermedades.

Dos conceptos emergentes, la resiliencia y el microbioma, están redefiniendo nuestra comprensión de la salud y la enfermedad. La resiliencia se refiere a la capacidad de resistir y adaptarse a condiciones adversas. Inspirado en la historia de Prometeo, quien desafió a los dioses para beneficiar a la humanidad, los investigadores buscan **entender cómo la resiliencia puede ser clave para revertir enfermedades**. En lugar de centrarse en enfermedades específicas, el enfoque es comprender la resiliencia a nivel biológico. La salud se ve como un sistema interconectado, desde células y microbios hasta órganos completos. Cualquier desequilibrio en este sistema puede conducir a enfermedades.

La enfermedad es un fallo progresivo en la homeostasis y la resiliencia del sistema. Su prevención o curación consiste en reparar ese fallo

**Mauro
Costa-Mattioli**



Un área de investigación particularmente interesante es la **formación de la memoria**. Se ha identificado un factor que determina la conversión de memorias a corto plazo en memorias a largo plazo. Además, se ha descubierto una molécula que puede potenciar la memoria en animales, tanto sanos como enfermos.

Por su parte, el microbioma, el conjunto de microbios que cohabitan en nuestro cuerpo, también juega un papel crucial en la curación de enfermedades. En el equipo del Prof. Costa-Mattioli han descubierto que **la falta de un microbio específico, Lactobacillus Reuteri, en ratones con trastorno del espectro autista (TEA) afectaba su comportamiento social**. Al reintroducir este microbio, se pudo revertir este déficit. Este microbio actúa induciendo la producción de oxitocina, una hormona asociada con la recompensa social. Lo más revolucionario es que estos hallazgos no se limitan a modelos animales. Un **ensayo clínico en Italia** mostró que al administrar Lactobacillus Reuteri a niños con TEA, se podía mejorar su comportamiento social. Esto sugiere que **el microbioma puede tener un impacto directo en la función cerebral**.

El futuro de la medicina podría estar en el desarrollo de **bacterias sintéticas o probióticos avanzados que promuevan la salud**. También se está explorando la posibilidad de identificar metabolitos específicos producidos por estos microbios o de crear alimentos que promuevan bacterias beneficiosas.

Los retos sociopolíticos de la edición genética

Siendo el progreso científico un bien que debería favorecer a toda la humanidad, nos encontramos con un mundo sociopolíticamente fragmentado y con una falta clara de normativas y regulaciones internacionales. En lo que respecta a la edición genética, el problema se agrava debido a las implicaciones éticas y de derechos humanos que conlleva.

Joy Zhang, Profesora de Sociología, Directora Fundadora del [Centro para la Ciencia Global y la Justicia Epistémica](#) de la Universidad de Kent, ilustra la falta de regulación internacional con el florecimiento de [iniciativas de edición genética en países como Honduras](#), donde existe una legislación muy laxa al respecto. Otro ejemplo es lo que está ocurriendo en Montenegro, donde se reúnen personas que planean crear una nueva jurisdicción para [fomentar el biohacking](#) y acelerar el desarrollo de fármacos que ralenticen o reviertan el envejecimiento.

La Prof. Zhang destaca el **desafío de la gobernanza global de la edición genética**. Dado que la ciencia y la tecnología trascienden las fronteras nacionales, es esencial establecer normas y regulaciones internacionales para la edición genética. Sin embargo, llegar a un consenso global puede ser difícil debido a las diferencias culturales y éticas. Mientras tanto, casos como el de He Jiankui, que creó [embriones humanos modificados genéticamente mediante CRISPR](#), siguen escandalizando a la comunidad científica y a la sociedad.

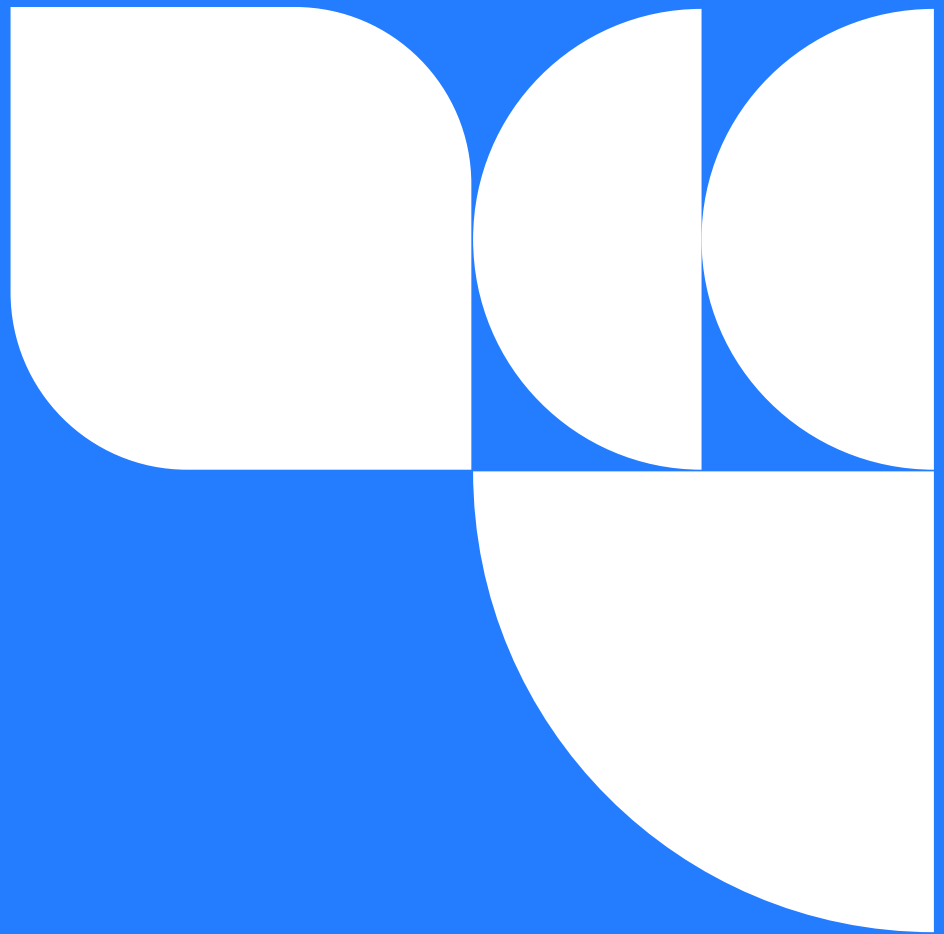
Otro de los principales desafíos es el acceso equitativo a estas tecnologías. Aunque la edición genética tiene el potencial de mejorar la salud humana, su uso podría estar limitado a aquellos que pueden permitírselo, exacerbando las desigualdades existentes en la salud y el bienestar. La Prof. Zhang enfatiza la necesidad de políticas que garanticen un acceso equitativo a las tecnologías de edición genética. Además, la edición genética plantea preguntas sobre la autonomía y el consentimiento. ¿Quién tiene el derecho de decidir qué genes se editan y cuáles no? ¿Cómo se obtiene el consentimiento informado para una tecnología tan compleja y con consecuencias tan duraderas? Estas son preguntas que la sociedad y los responsables políticos deben abordar.

Finalmente, la Prof. Zhang aboga por la inclusión de diversas perspectivas en el debate público sobre la edición genética. Argumenta que la justicia epistémica, el reconocimiento y la inclusión de diversas formas de conocimiento, son esenciales para una discusión equitativa y equilibrada sobre la edición genética.

Joy
Zhang



3



Ética, filosofía, transhumanismo y regulación

3

Ética, filosofía, transhumanismo y regulación

Una nueva narrativa

La convergencia de neurociencia, neurotecnología, inteligencia artificial y biotecnología está suponiendo un enorme avance para la salud y el bienestar de las personas. Pero muchas de las iniciativas están aún en procesos muy iniciales de validación y pasarán años para que tengamos disponibles a gran escala las soluciones presentadas hasta aquí. La comunicación efectiva de los avances en neurociencia y biotecnología es esencial para fomentar la comprensión y aceptación pública de estas disciplinas.

Es necesario comunicar al gran público estas aportaciones, sabiéndolas explicar en términos claros y accesibles, transmitiendo las enormes posibilidades potenciales sin caer en la exageración, y desgranando los retos éticos y legales a los que se enfrenta la sociedad.

Una sociedad bien informada debe dialogar para encontrar las mejores soluciones, apoyando las innovaciones y el progreso social y, a la vez, exigiendo las adecuadas regulaciones para salvaguardar los derechos humanos y que se cumplan las responsabilidades éticas de todos los actores involucrados.

Scott Simon, uno de los escritores y locutores más admirados de Estados Unidos y patrono de la Fundación Innovación Bankinter, se pregunta: si solo en EE.UU., se han gastado entre 80 mil y 130



Pere Estupinyà y Scott Simon

▶ Ver vídeo



mil millones de dólares en la vacuna del COVID-19, ¿por qué no se dedican similares esfuerzos en crear vacunas contra el cáncer o contra la diabetes y conseguir controlar estas enfermedades en 6 meses o 1 año?

Por otro lado, y a la hora de comunicar los avances, dice Simon, es necesario tener en cuenta las diferentes sensibilidades y valores del público. Por ejemplo, existe una parte de la sociedad que considera que el síndrome de Down no es una enfermedad sino una condición natural y que aporta a las personas que tienen trisomía 21 -otra forma de denominar al síndrome- una serie de características humanas especialmente valoradas. En ese caso, ¿queríamos un mundo sin síndrome de Down?

Por su parte, **Pere Estupinyà**, presentador y director del programa "**El Cazador de Cerebros**", considera que para transmitir todos los avances en la reparación y mejora humana lo primero que hay que hacer es simplificar y luego, crear una historia testimonial con alguno de los avances que sea más impactante y fácil de entender. A partir de ahí, desarrollar la comunicación en función de la audiencia objetivo.

Desde la parte de los científicos, **Mauro Costa-Mattioli** cree que los comunicadores deben

formar equipo con los científicos para transmitir los conocimientos y realizar la necesaria labor educativa. La colaboración entre científicos, comunicadores y educadores puede facilitar la creación de contenido atractivo y educativo que destaque la relevancia y el impacto de estos avances en la vida cotidiana, promoviendo así una sociedad más informada y receptiva a la innovación científica.

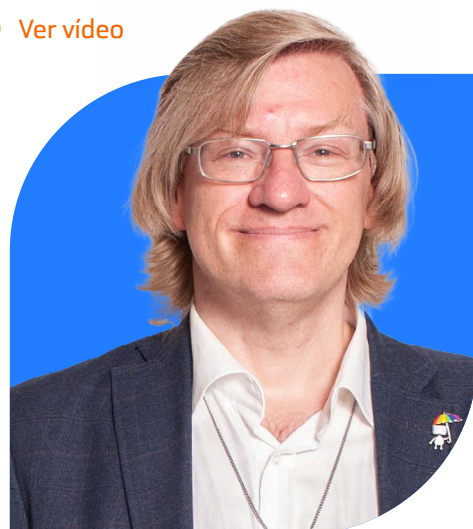
Transhumanismo y futuro de la humanidad

El **transhumanismo** es un movimiento intelectual y cultural que **promueve la mejora de la condición humana, especialmente mediante el uso de tecnologías que pueden aumentar la capacidad intelectual, física y psicológica de los seres humanos.**

El transhumanismo ha ganado relevancia en el contexto de las neurotecnologías y el potencial futuro de la humanidad. Podríamos definir el transhumanismo como una extensión del proyecto humanístico clásico que busca mejorar la condición humana. Mientras que los humanistas clásicos se centraban en la educación y las artes liberales para lograr este objetivo, los transhumanistas proponen que también se pueden utilizar avances tecnológicos para superar las limitaciones humanas. Así lo cuenta **Anders Sandberg**, investigador que trabaja

Anders Sandberg

▶ Ver vídeo



en el **Instituto del Futuro de la Humanidad** de la Universidad de Oxford, y que ha realizado numerosas investigaciones y publicaciones sobre los temas de la mejora cognitiva, los riesgos de la inteligencia artificial, la simulación de cerebros y la ética de la mejora humana.

La vida humana, con su corta duración y sus limitaciones cognitivas, puede ser mejorada a través de la tecnología. Esto podría permitirnos experimentar nuevas sensaciones, mejorar nuestras capacidades mentales y físicas, e incluso trascender lo que tradicionalmente se considera "humano". Sin embargo, no todos los transhumanistas están de acuerdo en qué constituye una mejora "buena" o "deseable", lo que da lugar a un intenso debate.

El deseo de superarse a uno mismo y de mejorar es intrínsecamente humano. El filósofo renacentista **Pico della Mirandola**, en su obra "*Oratio de Hominis Dignitate*", argumentaba que lo que nos hace únicos como seres humanos es nuestra capacidad para cambiar y mejorar. Esta idea es fundamental para el transhumanismo. El transhumanismo no solo se centra en la mejora individual, sino también en cómo estas mejoras pueden beneficiar a la sociedad en su conjunto. Por ejemplo, las vacunas son una forma de mejora colectiva que ha tenido un impacto positivo en la salud pública. Además, muchas personas ya han adoptado formas de mejora tecnológica, como el consumo de cafeína para aumentar la alerta o el uso de medicamentos para mejorar el rendimiento cognitivo.

Desde una perspectiva ética, el transhumanismo plantea numerosas cuestiones. ¿Hasta qué punto es ético modificar el cuerpo humano? ¿Debería la sociedad apoyar y financiar estas mejoras? ¿Cómo se equilibra la seguridad con el deseo de mejora? Estas son solo algunas de las preguntas que surgen en el debate transhumanista.

En cuanto al futuro de la humanidad, el transhumanismo sugiere que **los humanos pueden y deben usar la tecnología para superar sus limitaciones biológicas**. Esto podría implicar desde la mejora de nuestras capacidades físicas e intelectuales, hasta la extensión de la vida y, en última instancia, la posibilidad de una **inmortalidad digital o biológica**.



Anders Sandberg aglutina en cuatro grandes bloques los campos de acción del transhumanismo:

- **Mejora cognitiva:** la idea de utilizar medicamentos, técnicas de modificación del comportamiento o tecnologías de interfaz cerebro-ordenador para mejorar las capacidades cognitivas humanas, como la memoria, la atención y la inteligencia.
- **Riesgos de la inteligencia artificial:** Muchos transhumanistas, incluido Sandberg, se preocupan por los riesgos potenciales de la inteligencia artificial avanzada. Este tema se refiere a la idea de que la IA podría llegar a ser más inteligente que los humanos y, potencialmente, representar una amenaza para la humanidad.
- **Simulación de cerebros:** Sandberg ha trabajado en el campo de la simulación de cerebros, que es la idea de modelar y simular la actividad cerebral en una computadora. Esta área de investigación podría tener implicaciones para el entendimiento de la conciencia y la posibilidad de la "vida digital" más allá de la física.
- **Ética de la mejora humana:** La idea de mejorar a los humanos a través de la tecnología plantea numerosas cuestiones éticas, desde la democratización en el acceso a estas tecnologías hasta las implicaciones de permitir que las personas modifiquen sus propias capacidades.

Derecho a una decisión humana

La IA puede ser vista como una extensión de la mejora humana, no solo en términos de asistencia tecnológica, sino también en la toma de decisiones. En este contexto, el concepto del "derecho a una decisión humana" se refiere a la idea de que los individuos deberíamos tener el **derecho de que las decisiones importantes que nos afectan sean tomadas por humanos, no por algoritmos o sistemas de IA.**

Hay varias razones por las que este concepto es importante; en primer lugar, los algoritmos de IA, por muy avanzados que sean, no pueden capturar toda la gama de factores humanos y emocionales que pueden ser relevantes en la toma de decisiones. Los humanos tienen una comprensión intuitiva de factores como **la empatía, el juicio moral y el contexto social que las máquinas no pueden replicar.** En segundo lugar, hay cuestiones de responsabilidad y rendición de cuentas. Cuando una decisión es tomada por un algoritmo, puede ser

John Tasioulas

 Ver perfil



En una era dominada por la inteligencia artificial, es esencial considerar no solo lo que la tecnología puede hacer, sino también lo que debería estar permitido hacer, respetando siempre la dignidad y los derechos fundamentales del ser humano

John Tasioulas

 Ver vídeo

difícil **determinar quién es responsable si algo sale mal.** Por último, el derecho a una decisión humana también está relacionado con la **dignidad humana.** Se puede argumentar que ser juzgado o evaluado por un algoritmo puede ser deshumanizante.

Así lo explica **John Tasioulas**, Catedrático de Ética y Filosofía del Derecho en la Universidad de Oxford y Director del **Institute for Ethics in AI.** El profesor Tasioulas está trabajando para desarrollar marcos éticos y legales que puedan abordar estas y otras cuestiones relacionadas con la creciente utilización de la IA en la sociedad.

El Prof. Tasioulas destaca que más allá del bien común, es esencial considerar el concepto de

derechos colectivos e individuales. Estos derechos actúan como límites a lo que se puede imponer a los individuos, incluso en nombre del bien común, subrayando la intrínseca dignidad y valor de la condición humana.

El profesor hace hincapié en la **relación entre la condición humana y la moralidad**, utilizando el ejemplo de los dioses griegos, quienes, a pesar de su poder, no eran ejemplarmente morales. Tasioulas sugiere que **cualquier intento de trascender la condición humana podría erosionar nuestra comprensión básica de la moralidad**.

En el contexto de las tecnologías emergentes, Tasioulas plantea la cuestión de si el marco actual de derechos humanos, como el establecido en la Declaración Universal de Derechos Humanos, sigue siendo adecuado. Propone tres posibles modificaciones: reinterpretar derechos existentes, considerar nuevos titulares de derechos y, finalmente, la posibilidad de derechos nuevos, como el derecho al acceso a Internet o el derecho a una decisión humana.

El profesor advierte contra la suposición precipitada de que las nuevas tecnologías requieren automáticamente un nuevo marco regulatorio. En su lugar, insta a considerar cómo los derechos humanos existentes pueden abordar los desafíos presentados por la tecnología. Sin embargo, no descarta la necesidad de adiciones específicas, citando ejemplos como el **Artículo 22 del GDPR** y la **AI Bill of Rights**.

Tasioulas expone las ventajas y desventajas de las decisiones automatizadas dentro del concepto del "derecho a una decisión humana". Mientras que un sistema automatizado podría ofrecer consistencia y eficiencia, hay preocupaciones fundamentales sobre la justificación y responsabilidad de tales decisiones. El profesor subraya la importancia de la solidaridad y la interacción humana en el proceso de toma de decisiones, valorando la colaboración en la búsqueda conjunta de justicia.



Para finalizar, algunas consideraciones clave sobre ética y regulación de la Inteligencia Artificial, son:

Desvío de atención hacia la ética

de la IA: Existe una percepción de que las grandes empresas que controlan la inteligencia artificial podrían estar más interesadas en discutir sobre ética que en avanzar en procesos regulatorios. La ética podría ser utilizada para desviar la atención de la necesidad de regulación.

Interpretación de la ética:

La ética no debe ser vista simplemente como una forma suave y no ejecutable de regulación. Todas las formas de regulación tienen una base ética, ya que la ética se refiere a lo que constituye una buena vida y a nuestras obligaciones hacia los demás.

Derechos legales vs. derechos morales para la IA:

Es crucial distinguir entre derechos legales y derechos morales cuando se considera otorgar derechos a entidades de inteligencia artificial. Mientras que es posible otorgar derechos legales a robots para servir a intereses humanos, esto no implica que tengan derechos morales subyacentes.

Desarrollo de inteligencia artificial general (IAG):

Las grandes empresas tecnológicas afirman que su objetivo es desarrollar IAG, sugiriendo que será una herramienta poderosa para resolver problemas. Esta perspectiva puede ser incoherente, ya que, si la IAG tiene capacidades humanas, debería ser considerada como un portador de derechos y no simplemente como una herramienta.

Dependencia de sistemas de IA y pérdida de habilidades humanas:

A medida que confiamos más en los sistemas de IA para tomar decisiones, existe el riesgo de que los humanos se vuelvan dependientes de estos sistemas y pierdan habilidades esenciales. Además, pueden surgir sesgos en los sistemas que los humanos no pueden detectar sin la ayuda de la IA.

Crecimiento económico y valores profundos:

El crecimiento económico, a menudo promovido como un objetivo de la política tecnológica, puede no reflejar los valores más profundos que son importantes para la sociedad. Es esencial cuestionar si el desarrollo de la IA realmente mejora nuestras vidas o simplemente satisface demandas del mercado.

Perspectiva política de la IA y camino hacia una IA fiable en Europa -H3

La IA puede ser utilizada para mejorar investigaciones en neurociencia y para la creación de algoritmos avanzados que lleven a diseñar nuevos medicamentos, como se ha ido ilustrando a lo largo del presente informe. Además, **la IA puede ser vista como una mejora humana que amplía nuestras capacidades cognitivas**: desde herramientas para ayudar a niños autistas hasta aplicaciones para detectar caras de dolor en pacientes con demencia.

Con tantos y tan diversos campos de aplicación de la IA, es fundamental adoptar un enfoque ético y centrado en el ser humano en el desarrollo y regulación de la IA. En el momento que se celebraba el Future Trends Forum, se aprobaba en la Unión Europea la **primera normativa sobre inteligencia artificial en Europa**, la denominada **Ley de IA de la UE**.

Isabelle Hupont, responsable científica de la Comisión Europea, ha estado trabajando en el ámbito del procesamiento facial, que se refiere a sistemas de IA que toman imágenes o videos faciales como datos de entrada y, mediante algoritmos de IA, obtienen información como la identidad de una persona, emociones o atributos demográficos. El trabajo de Hupont se enfoca en la IA en el contexto del **Acta de IA de la Comisión Europea**, que establece reglas armonizadas sobre la IA y los 7 requisitos para una IA confiable definidos por el Grupo de Expertos de Alto Nivel de la Comisión Europea sobre IA.

Los 7 requisitos son:

1. Agencia humana y supervisión;
2. Robustez técnica y seguridad;
3. Privacidad y gobernanza de datos;
4. Transparencia;
5. Diversidad, no discriminación y equidad;
6. Bienestar social y ambiental; y
7. Responsabilidad.



Isabelle Hupont



Ver vídeo

Según el Acta de IA, hay **4 niveles de riesgo para las aplicaciones de IA**, que van desde el más alto hasta el más bajo:

1.

Riesgo "**Inaceptable**" o casos de uso prohibidos, que cubren los usos dañinos de la IA o usos que contradicen los valores éticos.

2.

Casos de uso de "**Alto riesgo**", que se identifican a través de una lista de áreas de aplicación de IA de "alto riesgo" que pueden tener un impacto adverso en la seguridad, la salud o los derechos fundamentales de las personas.

3.

Casos de uso de riesgo de "**Transparencia**", sujetos a un conjunto limitado de reglas de transparencia, por ejemplo, informar a las personas que están expuestas a dicho sistema.

4.

Casos de uso de "**Riesgo mínimo**" o sin riesgo, que cubren todos los demás sistemas de IA que pueden ser desarrollados y utilizados en la UE sin obligaciones legales adicionales que las ya existentes.

El Acta de IA tiene muchas referencias explícitas e implícitas al procesamiento facial. Por ejemplo, el uso de sistemas de identificación biométrica en tiempo real en espacios públicamente accesibles para fines de aplicación de la ley se considera una práctica prohibida

con algunas excepciones, como la búsqueda dirigida de posibles víctimas de delitos (incluyendo niños desaparecidos), la prevención de un ataque terrorista o la persecución de un sospechoso de un delito penal.

Neuroderechos: ética y neurotecnología; ¿es hora de nuevos derechos humanos?

Como se ha constatado a lo largo del presente informe, la neurotecnología está avanzando a pasos agigantados. Esta revolución tecnológica plantea **preguntas fundamentales sobre la esencia de lo que significa ser humano** y cómo protegemos nuestra privacidad, autonomía e identidad en la era de la neurociencia.

El cerebro, como epicentro de nuestras emociones, pensamientos y recuerdos, es el órgano que define nuestra identidad. La capacidad de registrar y alterar la actividad cerebral no solo significa que se puede entender mejor cómo funciona el cerebro, sino que también se puede influir en cómo pensamos, sentimos y actuamos. Esta perspectiva, que es fascinante desde el punto de vista médico y científico, también plantea preocupaciones éticas y morales significativas.

Los **neuroderechos** emergen como una respuesta a estas preocupaciones. Estos derechos buscan **garantizar que las personas estén protegidas contra el abuso y la explotación en la era de la neurotecnología avanzada.** La idea es que, de la misma manera que tenemos derechos que protegen nuestra libertad de expresión, privacidad y seguridad, también deberíamos tener derechos que protejan nuestra mente.

Rafael Yuste, Director del Centro de Neurotecnología y Profesor de Biología de la **Universidad de Columbia**, Presidente de la **Fundación NeuroRights**, y pionero en este campo, ha sido un actor fundamental en la promoción de la idea de que **necesitamos urgentemente un marco de derechos humanos que aborde específicamente las implicaciones de la neurotecnología.** Entendiendo ésta, explica el Prof. Yuste, como los métodos, herramientas o dispositivos que tienen dos propósitos principales: registrar la actividad del sistema nervioso (ya sea central o periférico) o modificar dicha actividad. Estos dispositivos pueden ser eléctricos, electrónicos, ópticos, magnéticos, acústicos, nanotecnológicos o químicos, y ahora se combinan con inteligencia artificial y redes neuronales profundas. Hay dos tipos de estos dispositivos que conviene distinguir a la

hora de abordar los neuroderechos, apunta el Prof. Yuste: los que requieren cirugía para ser implantados y los no quirúrgicos, como *wearables*. La neurotecnología es esencial porque el cerebro, que genera todas nuestras habilidades mentales y cognitivas, es el órgano que define nuestra esencia como seres humanos. Esta tecnología podría permitirnos entender cómo funciona el cerebro y cómo se genera nuestra mente, lo que sería un avance significativo en la neurociencia. Además, la neurotecnología es crucial para abordar enfermedades mentales y neurológicas, que actualmente no tienen cura debido a nuestra falta de comprensión sobre el cerebro.

¿Por qué ahora los neuroderechos?

Dado el enorme potencial de la neurotecnología, Rafael Yuste ideó y consiguió que se pudiera en marcha la iniciativa **BRAIN** en EEUU. Esta iniciativa tiene una duración de 15 años e involucra a más de 550 laboratorios. Solo para el año 2023, cuenta con 900 millones de dólares de financiación y está comenzando a generar muchas de las herramientas antes mencionadas, especialmente herramientas para usar en humanos. A la iniciativa BRAIN de EEUU le han seguido otras iniciativas similares en otros países, incluida China, cuya iniciativa cerebral se supone que es tres veces más grande que la estadounidense y está dirigida por el ejército con el objetivo de fusionar la neurotecnología con la IA. Existen iniciativas en Japón, Corea del Sur, Australia, Canadá, Israel y, junto con la iniciativa BRAIN de EEUU, Europa lanzó el **Proyecto Cerebro Humano**, que finaliza este año. Su enfoque es un poco diferente, ya que no se centra realmente en la tecnología, sino más bien en los datos generados por la tecnología, pero es muy complementario al resto. Todas estas iniciativas cerebrales en todo el mundo decidieron unirse en una **iniciativa internacional**. Aunque actualmente está coordinado de manera laxa, representa un esfuerzo global para desarrollar la neurotecnología.

La industria privada no se ha quedado al margen. De hecho, se estima que, a partir del año 2022, la



inversión privada en neurotecnología en EE.UU. supera a la iniciativa BRAIN por un factor de seis.

Con todas estas iniciativas en marcha, la neurotecnología permite realizar investigaciones muy avanzadas tanto en animales como en humanos. En estudios con animales, como ratones, se utilizan técnicas punteras como la **optogenética holográfica para medir y manipular la actividad cerebral con precisión a nivel de células individuales**. Un ejemplo es un estudio donde se pudo implantar una imagen en la corteza visual de un ratón, haciendo que el ratón actuara como si hubiera visto esa imagen. Este experimento ha sido replicado por laboratorios en EE.UU. y el Reino Unido. Además, en el **MIT y otros grupos, han implantado falsos recuerdos en el hipocampo de ratones**.

En cuanto a los humanos, la neurotecnología ha permitido avances como **interfaces cerebro-computadora que ayudan a pacientes paralizados a moverse o comunicarse**. Recientemente, gracias a la inteligencia

artificial, se han desarrollado técnicas no invasivas para decodificar la actividad cerebral. Por ejemplo, se han publicado estudios en Japón, Singapur y la Universidad de Texas en Austin que utilizan **fMRI para decodificar imágenes y lenguaje**. Facebook también está **trabajando en dispositivos que pueden decodificar el habla usando EEG -electroencefalogramas- y MEG -magnetoencefalogramas-**. Además, un estudio de la Universidad de Boston ha demostrado que **la estimulación transmagnética puede mejorar la memoria**.

La necesidad de definir los neuroderechos e incluirlos en las legislaciones se vuelve acuciante, indica el Prof. Yuste, además de por todo lo mencionado anteriormente, porque la próxima gran revolución tecnológica podría ser la de sustituir los teléfonos inteligentes por dispositivos que nos permitirían conectarnos directamente a la red utilizando algún tipo de interacción cerebro-ordenador. Y, además, porque la neurotecnología podría tener aplicaciones militares.

La propuesta de neuroderechos

En 2017, un grupo de expertos entre los que se encontraba el Prof. Yuste, conocido como el grupo Morningside, se reunió en la Universidad de Columbia para discutir estas implicaciones. Llegaron a la conclusión de que la neurotecnología plantea cuestiones de derechos humanos. Desde entonces, el trabajo del Prof. Yuste con la Fundación NeuroRights ha llevado a la propuesta de **cuatro derechos específicos** que abordan áreas clave de preocupación.

Estos derechos no solo son teóricos. Ya hay ejemplos concretos de cómo la neurotecnología puede influir en nuestra identidad y autonomía. **La estimulación cerebral profunda, por ejemplo, ha mostrado cambios en la personalidad de algunos pacientes**. Si bien esta técnica tiene beneficios médicos, también plantea preguntas sobre quiénes somos y cómo las intervenciones externas pueden cambiar eso.

El Prof Yuste aboga por la inclusión de los **neuroderechos** en la Declaración Universal de Derechos Humanos, adoptada por las Naciones Unidas, ya que, para este experto, **las consecuencias éticas y sociales de la neurotecnología son un problema de derechos humanos**.

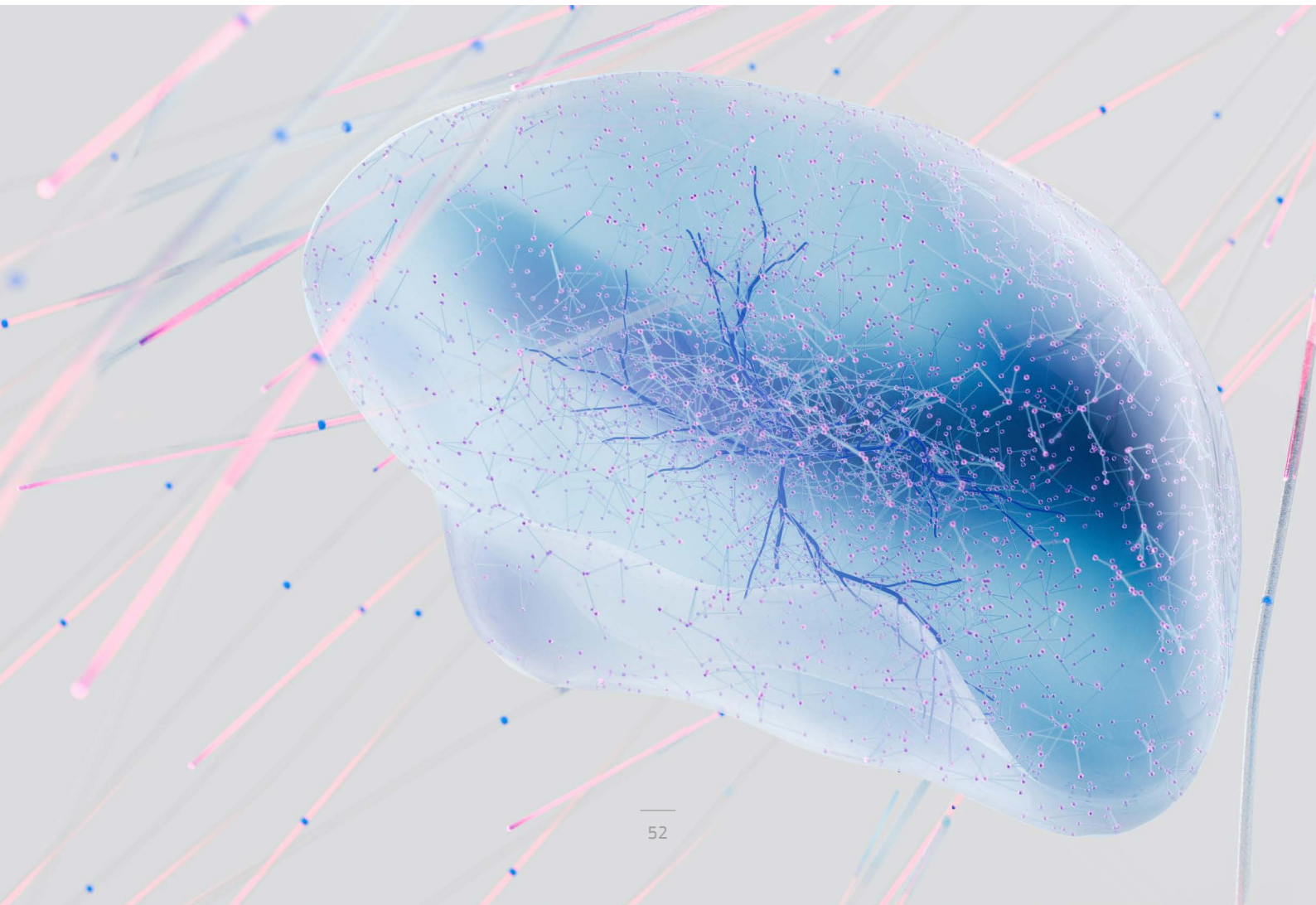
Los cuatro derechos específicos que proponen Yuste y el grupo de científicos y expertos en ética con los que trabaja, son:

- **Derecho a la identidad mental:** A tu propia identidad mental, en otras palabras, a ti mismo, a tu consciencia. Ya existen estudios con pacientes que, tras la estimulación cerebral profunda para el Parkinson, informan alteraciones en la personalidad. Nuestra identidad, nuestra consciencia, también es generada por nuestro cerebro. Por lo tanto, si podemos estimular el cerebro, podemos manipular eso también.
- **Derecho al libre albedrío:** esencialmente nuestra libertad cognitiva para actuar de una manera no perturbada por el uso externo de neurotecnología.
- **Derecho a la privacidad mental:** es decir, el derecho a que la actividad cerebral no pueda ser decodificada sin tu consentimiento.

- **Derecho de acceso igualitario** a los avances en la mejora del cerebro: la mejora mental parece inevitable. Debería ser introducida en la sociedad bajo el principio universal de justicia, para evitar dos tipos de humanos: una superespecie con humanos híbridos mentalmente mejorados y otra especie que no está mentalmente mejorada.

El derecho al libre albedrío y el derecho a la privacidad mental son esenciales en un mundo donde las empresas y los gobiernos podrían tener la capacidad de "leer" o influir en nuestros pensamientos.

Además, el derecho de acceso igualitario a las mejoras cerebrales es crucial para garantizar que no creamos una sociedad dividida entre aquellos que pueden permitirse mejoras neurotecnológicas y aquellos que no pueden. Esta división podría llevar a desigualdades significativas en términos de habilidades cognitivas, oportunidades y calidad de vida. El Prof. Yuste ilustra la importancia y la pertinencia

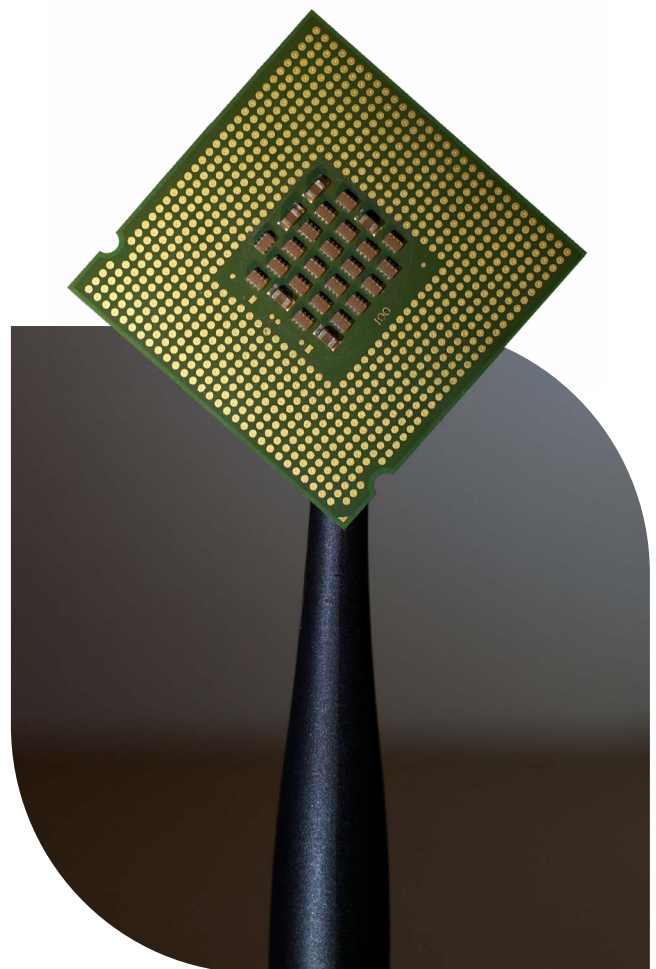


de este derecho ante el reciente anuncio de Neuralink de haber obtenido la aprobación de la FDA norteamericana para comenzar pruebas en humanos de su chip implantable, siendo el objetivo declarado de Neuralink incrementar la capacidad mental de los humanos mediante la incorporación de inteligencia artificial a nuestros procesos cerebrales utilizando neurotecnología.

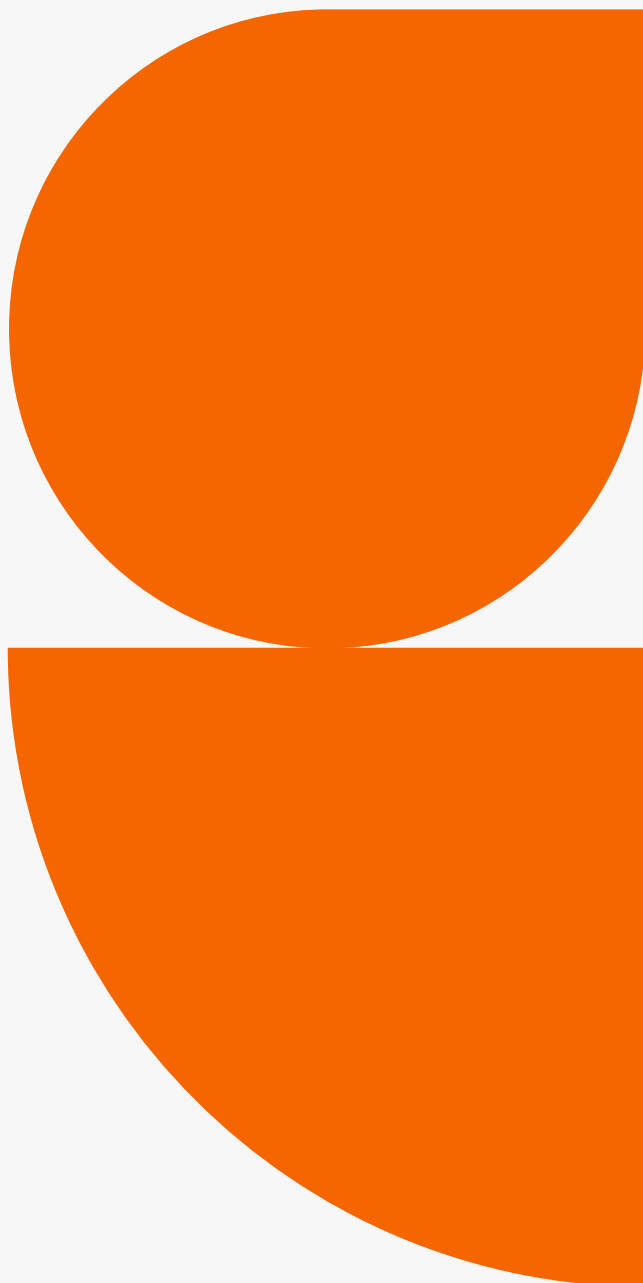
La Fundación NeuroRights no solo está proponiendo estos derechos, sino que también está trabajando activamente para que se reconozcan y adopten a nivel mundial. Su trabajo con gobiernos y organizaciones internacionales es un paso crucial para garantizar que la neurotecnología se desarrolle de manera ética y responsable. Los expertos liderados por Yuste desde la Fundación NeuroRights, han realizado un análisis de brecha comparando estos cuatro neuroderechos con las regulaciones de derechos humanos existentes en el mundo. La conclusión es que el sistema actual de derechos humanos no está preparado para enfrentar este desafío. Como ejemplos de las acciones que está llevando a cabo NeuroRights, el Prof. Yuste apunta los siguientes:

- En Chile asesoran al senado en una enmienda constitucional que protege la actividad cerebral y la información que proviene de ella como un derecho constitucional básico.
- Reino Unido es también un ejemplo de anticipación en la regulación de las aplicaciones de la neurotecnología con el informe producido por el Regulatory Horizons Council (RHC).
- También asesoran a Naciones Unidas y a la Unión Europea en el diseño de las nuevas regulaciones de la neurotecnología. En concreto, en España, se han tenido en cuenta las recomendaciones de la Fundación NeuroRights en la Carta de Derechos Digitales.

El documental "*The Theater of Thought*", realizado en colaboración con el renombrado cineasta Werner Herzog, es un esfuerzo de divulgación que busca sensibilizar al público sobre estas cuestiones. Aunque aún no está disponible para el gran público, promete ofrecer una visión profunda y reflexiva sobre el futuro de la neurotecnología y la necesidad de proteger nuestros derechos cerebrales.

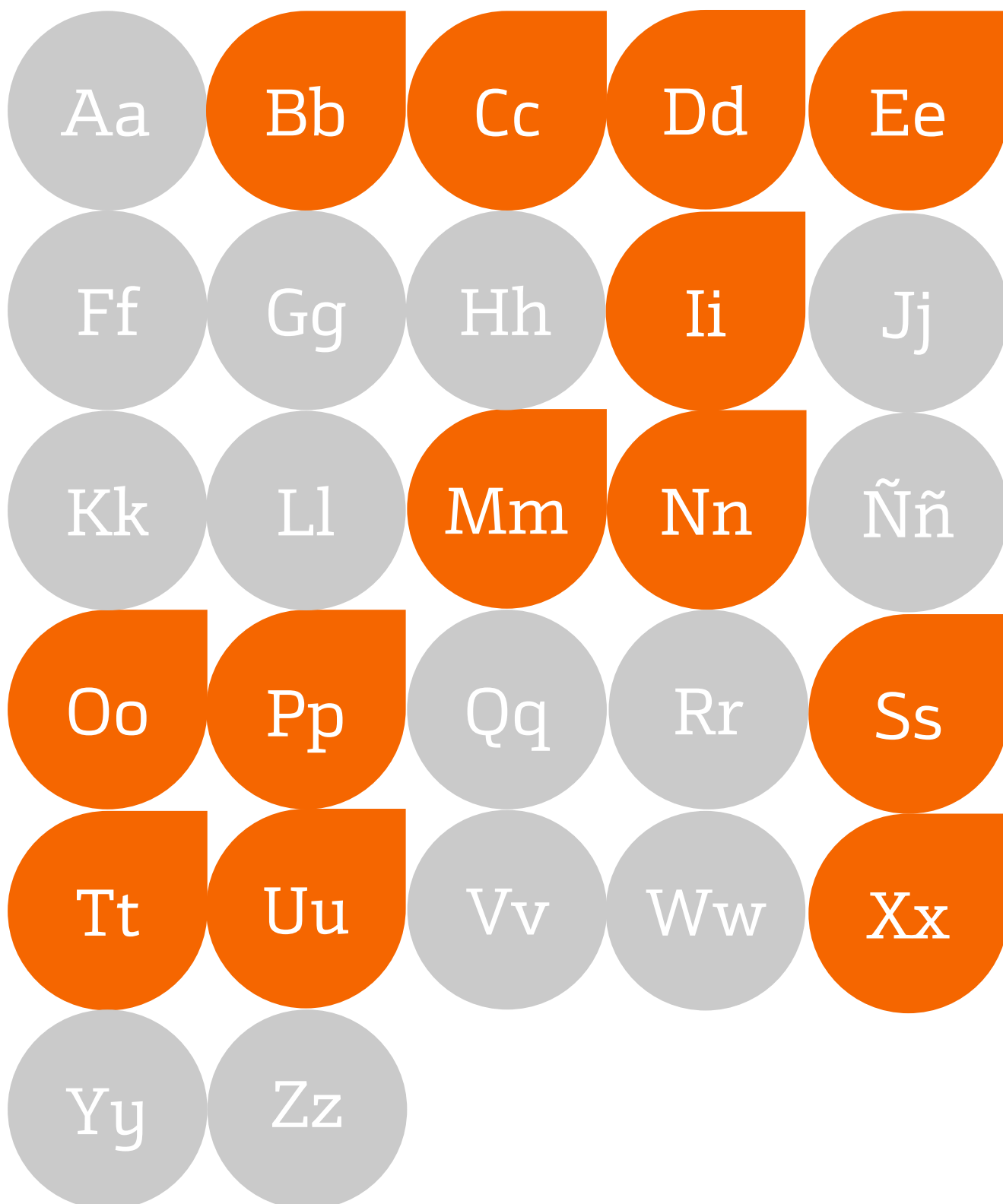


4



Glosario

Índice



Bb

Bioelectricidad

el uso de corrientes iónicas y gradientes de voltaje por todas las células, no sólo las neuronas, para coordinar su actividad y buscar resultados fisiológicos y anatómicos de alto nivel; es el ancestro evolutivo de la neurofisiología cerebral y el medio en el que se implementa la inteligencia colectiva de las células.

Biohacking

una combinación de acciones mediante diversas técnicas y herramientas con el fin de optimizar nuestra mente y vida para alcanzar un control total de nuestra biología. Biohacker significa ser la mejor versión de uno mismo.

Biomáquinas

forma parte de la biofísica. La biomecánica se ocupa de los procesos de movimiento en los sistemas biológicos, así como de las funciones de los aparatos de movimiento biológico. El uso de robots en este campo puede ayudar a los investigadores a comprender mejor cómo evolucionó la locomoción de los vertebrados a lo largo del tiempo.

Biomarcador

sustancia que se utiliza para indicar un tipo de afirmación biológica. Puede medirse objetivamente y valorarse como indicador de un proceso biológico normal, de una manifestación patógena o como respuesta a un tratamiento farmacológico.

Biotecnología

es una combinación de técnicas en las que se utilizan células vivas, cultivos de tejidos y moléculas derivadas de organismos para obtener y modificar un producto o desarrollar un microorganismo para utilizarlo con un fin específico.

Cc

Células madre neurales

células indiferenciadas del sistema nervioso central con potencial para diferenciarse en varios tipos de neuronas y células gliales. Las células madre neurales son prometedoras para la medicina regenerativa y la reparación del tejido neural dañado.

Cibernética

estudio de los procesos de comunicación y control en organismos vivos y máquinas. Abarca la interacción entre el ser humano y la tecnología, sobre todo en relación con los mecanismos de retroalimentación y autorregulación.

Cognición

la función cognitiva son los procesos mentales que nos permiten recibir, procesar y elaborar información. Es un método de aprendizaje para asimilar los datos que llegan al ser humano por diferentes vías: percepción, experiencias y convicciones generales para convertirlos en conocimiento.

CRISPR

tecnología de edición de genes que permite a los científicos realizar modificaciones precisas en el ADN de organismos vivos. Se basa en un mecanismo de defensa natural de las bacterias, en el que ciertos segmentos de su ADN contienen secuencias repetitivas intercaladas con secuencias únicas derivadas de material genético viral.

Dd

Dispositivos sensoriales

son instrumentos o sistemas electrónicos diseñados para detectar y medir diversos fenómenos físicos del entorno. Estos dispositivos están diseñados para imitar o mejorar las capacidades sensoriales humanas, permitiéndonos percibir e interpretar información que de otro modo sería inaccesible a nuestros sentidos naturales.

Ee

Edición genética

alteración del material genético de un organismo vivo mediante la inserción, sustitución o eliminación de una secuencia de ADN, normalmente con el objetivo de mejorar alguna característica de un cultivo o el ganado o corregir un trastorno genético.

Electrónica molecular

estudio y aplicación de nanocomponentes para la fabricación de componentes electrónicos. La escala molecular y el material son dos subdivisiones de la electrónica molecular utilizadas en dispositivos de alta tecnología e inteligencia artificial.

Epigenética

estudio de los cambios hereditarios en la expresión génica o el fenotipo celular que no implican cambios en la secuencia de ADN subyacente. Las modificaciones epigenéticas pueden verse influidas por factores ambientales y tener implicaciones para la salud y el desarrollo humanos.

Estimulación cerebral profunda (ECP)

procedimiento neuroquirúrgico que consiste en implantar en el cerebro un dispositivo médico denominado neuroestimulador para aliviar los síntomas de determinadas afecciones neurológicas. La ECP envía impulsos eléctricos a zonas específicas del cerebro a través de electrodos conectados al neuroestimulador.

Exoesqueletos

estructuras mecánicas o dispositivos *wearable* que se utilizan como apoyo y asistencia a los movimientos humanos o para mejorar las capacidades humanas.

Ii

Implantes neuronales

dispositivos tecnológicos que se conectan al cerebro humano. Se sitúan en la superficie cerebral. Actúan como prótesis biomédicas en zonas cerebrales disfuncionales.

Ingeniería genética

proceso que utiliza tecnologías de laboratorio para alterar la composición del ADN de un organismo.

Inteligencia diversa

un campo de estudio emergente en el que aprendemos a reconocer, comunicarnos, manipular y relacionarnos éticamente con agentes en encarnaciones no convencionales. Es decir, capacidad de resolución de problemas, aprendizaje y memoria en sistemas como mohos de limo, células individuales, redes moleculares, órganos y organismos sintéticos o de bioingeniería. La inteligencia se despliega en espacios problemáticos como el fisiológico, el anatómico y, por supuesto, el conocido mundo tridimensional del "comportamiento" convencional.

Interfaz cerebro-computador (BCI):

vía de comunicación que permite la interacción directa entre el cerebro y dispositivos o máquinas externos. Los BCI permiten a las personas controlar dispositivos externos o recibir información sensorial a través de señales neuronales, con aplicaciones en prótesis, tecnología asistencial y neurorrehabilitación.

Interfaz hombre-máquina (HMI)

punto de interacción o comunicación entre las personas y las máquinas. Los HMI pueden incluir interfaces físicas, como pantallas táctiles o teclados, e interfaces virtuales, como el reconocimiento de voz o el control por gestos.



Mejora cognitiva

se refiere al uso de diversas técnicas e intervenciones destinadas a mejorar y optimizar las funciones cognitivas, como la memoria, la atención, la resolución de problemas y el aprendizaje. Implica la aplicación de estrategias y tecnologías para potenciar las capacidades cognitivas humanas más allá de su capacidad natural.

Mejora física

se refiere a la utilización de diversos métodos, intervenciones y tecnologías para mejorar y aumentar las capacidades físicas humanas más allá de su estado natural.

Mejora genética

aplicación de principios biológicos, económicos y matemáticos para aumentar la productividad, la resistencia al medio ambiente y las enfermedades con el fin de lograr una mejor adaptación al entorno.

Mejora sensorial

se refiere al aumento o amplificación de las capacidades sensoriales humanas más allá de sus límites naturales. Implica el uso de intervenciones tecnológicas, como dispositivos portátiles o implantes, para potenciar uno o varios de los cinco sentidos: vista, oído, gusto, olfato y tacto.

Metacognición

se refiere al proceso de pensar sobre el propio pensamiento. Implica ser consciente y controlar activamente nuestros pensamientos, conocimientos y procesos cognitivos. La metacognición permite a los individuos reflexionar sobre sus propios estados mentales, evaluar su comprensión y rendimiento y realizar los ajustes pertinentes.

Modificación genética

Alteración deliberada del material genético de un organismo mediante técnicas biotecnológicas, como la edición de genes o la ingeniería genética, para introducir nuevos rasgos o características.



Nanomedicina

aplicación de la nanotecnología a la biomedicina para mejorar la calidad de vida humana combatiendo enfermedades de forma innovadora.

Nanotecnología

tipo de tecnología cuyo objetivo principal es diseñar y manipular la materia a nivel atómico y molecular con fines médicos e industriales.

Nanotecnología del grafeno

material alótopo bidimensional del carbono con propiedades mecánicas potenciales para el uso de la medicina como herramienta terapéutica y de diagnóstico. Es uno de los nanomateriales más prometedores por sus propiedades eléctricas: transparencia óptica, gran capacidad de transporte de corriente y mayor movilidad o velocidad electrónica.

Neurobiología sintética

campo que combina la biología sintética con la neurociencia para diseñar nuevos sistemas o dispositivos biológicos que permitan comprender y manipular los circuitos neuronales. Implica el diseño y la construcción de herramientas codificadas genéticamente para sondear y controlar la función cerebral.

Neurodiversidad

el concepto de que las diferencias neurológicas, como el autismo o el TDAH, deben reconocerse y respetarse como variaciones naturales de la neurología humana, fomentando la aceptación y la comprensión en lugar de considerarlas como déficits que hay que corregir o mejorar.

Neuroderechos

se refiere al concepto de aplicar de forma ética y responsable los conocimientos y avances neurocientíficos en beneficio de las personas y la sociedad en su conjunto. Abarca la idea de utilizar la neurociencia de manera que respete y defienda los derechos humanos fundamentales, la privacidad, la autonomía y el consentimiento.

Neuroelectric

es una tecnología de estimulación eléctrica cerebral no invasiva y de alta definición para la neuromodulación personalizada. Al medir y modificar la función cerebral, el objetivo es restablecer la salud del cerebro, minimizar las discapacidades y crear una vida mejor para los pacientes.

Neurofarmacia

es el estudio de cómo los fármacos pueden afectar al funcionamiento celular en el sistema nervioso.

Neuroética

campo de la ética que examina las implicaciones éticas de la neurociencia y la neurotecnología, sobre todo en relación con la optimización del cerebro, la privacidad y el consentimiento informado.

Neuroimagen

técnicas para visualizar y cartografiar la estructura y función cerebrales. Incluye métodos como la resonancia magnética (RM), la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética funcional (RMf).

Neuroingeniería

disciplina que utiliza técnicas para comprender, reparar, sustituir y mejorar las enfermedades de los sistemas neuronales.

Neuromodulación

terapia utilizada para intervenir en el funcionamiento periférico y central del sistema nervioso. Se trata de una técnica invasiva.

Neurotecnología

tecnología para comprender el cerebro, visualizar sus procesos y controlar, reparar o mejorar sus funciones. La neurotecnología emplea diversas técnicas para registrar la actividad cerebral y estimular partes concretas del mismo. Podemos diferenciar entre técnicas invasivas y técnicas no invasivas.

Neuroterapia digital

aplicación a los pacientes de intervenciones terapéuticas basadas en evidencia y dirigidas por software para prevenir, gestionar o tratar un trastorno médico o una enfermedad. Se utilizan de forma independiente o en combinación con medicamentos, dispositivos u otras terapias para optimizar la atención al paciente y los resultados sanitarios.

Neuroplasticidad

capacidad del cerebro para reorganizar su estructura, función y conexiones en respuesta al aprendizaje, la experiencia o una lesión. La neuroplasticidad es un mecanismo fundamental del aprendizaje, la memoria y la recuperación tras una lesión cerebral.

Neuroprótesis

desarrollo y uso de dispositivos o sistemas artificiales que sustituyen o mejoran la función del sistema nervioso, como interfaces cerebro-computador o prótesis controladas por señales neuronales.



Organoides cerebrales

cultivos tridimensionales de tejido cerebral derivados de células madre pluripotentes humanas o de otras fuentes celulares. Los organoides cerebrales pueden imitar ciertos aspectos del desarrollo y la función del cerebro, proporcionando un modelo para el estudio de trastornos del neurodesarrollo y el ensayo de fármacos.

Optogenética

técnica que utiliza proteínas sensibles a la luz para controlar y manipular la actividad de neuronas específicas en tejidos vivos. La optogenética permite controlar con precisión la actividad neuronal y tiene aplicaciones en la investigación neurocientífica y en posibles intervenciones terapéuticas.



Prótesis biónica

tecnología utilizada para sustituir una parte del cuerpo que puede haberse perdido a causa de un traumatismo, una enfermedad o un defecto congénito.

Ss

Simulación electrónica

modelos matemáticos que reproducen el comportamiento de un dispositivo o circuito electrónico real. El software de simulación electrónica involucra a sus usuarios haciéndolos partícipes de la experiencia de aprendizaje.

Simulación magnética

campo magnético artificial diseñado para imitar cómo responderían los compuestos reales a las propiedades magnéticas de los demás. La simulación puede analizar un imán permanente o un campo magnético creado por un flujo de corriente.

Tt

Terapias de estimulación

el hecho de activar o inhibir el cerebro directamente con electricidad. La electricidad puede administrarse directamente mediante electrodos implantados en el cerebro, o de forma no invasiva a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo.

Transhumanismo

es un movimiento filosófico e intelectual que aboga por la mejora de las capacidades humanas mediante la integración de tecnologías avanzadas y el progreso científico. En esencia, el transhumanismo pretende superar las limitaciones de la condición humana, como el envejecimiento, las enfermedades y las limitaciones cognitivas, utilizando tecnologías emergentes como la ingeniería genética, la nanotecnología, la inteligencia artificial y la cibernética.

Trastornos neurodegenerativos

grupo de enfermedades caracterizadas por la degeneración progresiva y la disfunción de las neuronas del cerebro o del sistema nervioso periférico. Algunos ejemplos son la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson y la esclerosis lateral amiotrófica (ELA).

Uu

Ultrasonidos focalizados de alta intensidad (HIFU)

procedimiento terapéutico utilizado en medicina. Utiliza energía ultrasónica focalizada no invasiva para calentar y destruir el tejido objetivo. Esta tecnología puede guiarse mediante resonancia magnética o ecografía para localizar con precisión la zona de interés.

Xx

Xenobot

una máquina viviente sintética, o protoorganismo, hecha de células de piel de rana. Un ejemplo de nueva tecnología con la que podemos explorar el espacio de posibilidades de los genomas no editados.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a todos los miembros del Future Trends Forum (FTF) asistentes a la reunión, y a los colaboradores en la organización de la reunión:

A Frances Stead Sellers, por su liderazgo y moderación en las sesiones del foro, a Carolina Aguilar y Javier Mínguez por su experta ayuda en el proceso de organización del foro, a Lourdes Rodríguez, Senior Foresight Consultant, por su visión y acompañamiento en la definición de los "Escenarios Futuros", a Antonio Gálvez, autor de este informe, y al equipo de Prodigioso Volcán por su contribución innovadora.

Y, por último, agradecer el compromiso del equipo de la Fundación Innovación Bankinter en que la innovación ayude a adelantarnos al futuro.

Las opiniones expresadas en este informe son del autor y no reflejan la opinión de los expertos que participaron en la reunión del Future Trends Forum.

Participantes

M^a José Alonso

Catedrática de Biofarmacia y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de Santiago de Compostela

Asier Arias Domínguez

Profesor asociado departamento de lógica y filosofía teórica de la UCM

Senén Barro

Director de CiTIUS-Centro de Investigación en Tecnologías Inteligentes de la Universidad de Santiago de Compostela

Charles Bolden

Ex administrador de la NASA, fundador y consejero delegado emérito de The Charles F. Bolden Group LLC y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Ángel Cabrera

Presidente del Georgia Institute of Technology y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

José Carmena

Profesor adjunto en la UC Berkeley. Fundador y codirector ejecutivo de Iota Biosciences

Dongmin Chen

Decano/Profesor de la Escuela de Innovación y Emprendimiento de la Universidad de Pekín y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Francis Collins

Investigador principal y ex Director del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos

Mauro Costa-Mattioli

Profesor adjunto en el Baylor College of Medicine, Investigador Principal en Altos Labs

Antonio Damasio

Catedrático Dornsife de Neurociencia, Psicología y Filosofía, y Director del Instituto Cerebro y Creatividad de la Universidad del Sur de California en Los Ángeles y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Gustavo Deco

Profesor de Investigación en la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA) y Profesor de la Universidad Pompeu Fabra (UPF)

César De la Fuente

Profesor Asistente Presidencial en la Universidad de Pensilvania

Soumitra Dutta

Decano, Saïd Business School en la Universidad de Oxford y Patrono de Fundación Innovación Bankinter

Kristina Dziekan

Miembro no ejecutivo del Consejo de ONWARD

Pere Estupinya

Presentador y Director de "El cazador de Cerebros" TVE

Guglielmo Foffani

Investigador y Coordinador Científico, Centro Integral de Neurociencias HM CINAC, Jefe de Grupo en el Hospital Nacional de Paraplégicos y Cofundador de Neurek

Carlos Franganillo

Presentador del Telediario 2ª Edición en TVE.

José Antonio Garrido

Fundador y Director Científico de INBRAIN Neuroelectronics e ICREA Profesor del Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología

Marc Güell

Director Cofundador y Jefe Científico Integra Therapeutics

Isabelle Hupont

Responsable científica en la Comisión Europea

Viktor Jirsa

Científico del Proyecto Cerebro Humano y Director Científico de EBRAINS

Richard Kivel

Inversor y miembro del Consejo de Tecnología y Sanidad y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Philip Lader

Ex embajador de EE.UU. ante la Corte de St. James's y patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Michael Levin

Biólogo sintético y del desarrollo de la Universidad de Tufts

Julia Li

Fundadora y Directora General de HCD

María López

Cofundadora y CEO de Bitbrain

Ana Maiques

Cofundadora y CEO de Neuroelectronics

Emilio Méndez

Asesor Senior en el Departamento de Ciencia y Tecnología Energéticas del Brookhaven National Laboratory y Patrono de la Fundación para la Innovación Bankinter

Javier Mínguez

Cofundador y CSO de Bitbrain

Tan Chin Nam

Ex Secretario Permanente del Servicio Público de Singapur y Asesor Corporativo y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Álvaro Pascual Leone

Profesor de Neurología en la Facultad de Medicina de Harvard

Rodrigo Quian

Profesor de Investigación ICREA. Instituto Hospital del Mar de Investigaciones Médicas (IMIM)

Ander Ramos-Murguialday

Líder en neuroprótesis y neurotecnología, y ciencia traslacional en TECNALIA y Doctorado por la Universidad de Tübingen

Mari Cruz Rodríguez Oroz

Directora del Departamento de Neurología de la Clínica de la Universidad de Navarra

Mavi Sánchez-Vives

Profesora de Investigación ICREA

Anders Sandberg

Investigador principal del Future of Humanity Institute de la Universidad de Oxford

Eden Schochat

Inversor en Aleph y Patrono de Bankinter Fundación para la Innovación

Jens Schulte-Bockum

Director de Operaciones de MTN Group y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Scott Simon

Escritor y locutor de radio NPR y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Sheila Stamps

Experta financiera y profesional de la gestión de riesgos y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

John Tasioulas

Catedrático de Ética y Filosofía del Derecho en la Universidad de Oxford

Steve Trachtenberg

Presidente y Profesor Emérito de la Universidad George Washington University y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter

Wilfried Vanhonacker

Cofundador y exdecano de CEIBS (Shanghái) y MSM Skolkovo (Moscú) y Patrono de la Fundación de la Innovación Bankinter

Grace Xin Ge

Presidenta y Consejera Delegada en funciones de Hyperganic y Patrono de Fundación Innovación Bankinter

Joy Y Zhang

Directora fundadora del Centro para la Ciencia Global y la Justicia Epistémica, Universidad de Kent

Rafael Yuste

Biólogo y profesor de Biología en la Universidad de Columbia

