

# Privacidad en la era de la neurotecnología: Actitudes de los ciudadanos ante la recogida y el uso de datos cerebrales

Emiram Kablo  
ekablo@mail.upb.de  
Paderborn University  
Paderborn, Germany

Patricia Arias-Cabarcos  
pac@mail.upb.de  
Paderborn University  
Paderborn, Germany

## ABSTRACT

Las interfaces cerebro-ordenador (BCI) se están expandiendo más allá del ámbito médico, hacia el entretenimiento, el bienestar y el marketing. Sin embargo, a medida que se populariza la neurotecnología de consumo, surgen problemas de privacidad debido a la naturaleza sensible de los datos de ondas cerebrales y su posible mercantilización. Se han demostrado ataques a la privacidad y los avances de la IA en la decodificación cerebro-voz y cerebro-imagen plantean un nuevo conjunto único de riesgos. En este espacio, contribuimos con el primer estudio de usuarios ( $n=287$ ) para comprender las expectativas de neuroprivacidad de las personas y su conocimiento de las implicaciones de la neurotecnología. Nuestro análisis muestra que, aunque los usuarios están interesados en la tecnología, la privacidad es una cuestión crítica para la aceptabilidad. Los resultados subrayan la importancia del consentimiento y la necesidad de aplicar una transparencia efectiva sobre el intercambio de neurodatos. Nuestras conclusiones sirven de base para analizar las lagunas de los actuales mecanismos de protección de la intimidad y contribuyen al debate sobre cómo diseñar una neurotecnología que respete la intimidad.

## CCS CONCEPTS

• **Security and privacy** → *Usability in security and privacy; Social aspects of security and privacy*; **Human and societal aspects of security and privacy**.

## KEYWORDS

neurotechnology, neuroprivacy, brain data, contextual integrity, user study

### ACM Reference Format:

Emiram Kablo and Patricia Arias-Cabarcos. 2023. Privacidad en la era de la neurotecnología: Actitudes de los ciudadanos ante la recogida y el uso de datos cerebrales. In *Proceedings of the 2023 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '23)*, November 26–30, 2023, Copenhagen, Denmark. ACM, New York, NY, USA, 15 pages. <https://doi.org/10.1145/3576915.3623164>

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or to publish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

CCS '23, November 26–30, 2023, Copenhagen, Denmark

© 2023 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

ACM ISBN 979-8-4007-0050-7/23/11...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3576915.3623164>

## 1 INTRODUCTION

El uso de interfaces cerebro-ordenador (BCI) ha evolucionado mucho más allá del ámbito médico para adentrarse en campos como el entretenimiento, el bienestar y el marketing. Por poner algunos ejemplos, hoy en día podemos encontrar juegos controlados por el cerebro o aplicaciones de meditación que se disfrutan con lectores de electroencefalogramas (EEG) de consumo. Los proveedores de RV están introduciendo sensores de ondas cerebrales en sus auriculares para mejorar la experiencia del usuario [1], y se esperan integraciones en wearables cotidianos, como los auriculares comunes. De hecho, el mercado de la ICB está creciendo a un ritmo rápido, con proyecciones que prevén un valor de 3.930 millones de dólares en 2027 [15].

Sin embargo, aunque los artilugios neurotecnológicos abren nuevos horizontes a la prestación de ricos servicios al usuario para mejorar el estilo de vida del público en general, la detección del cerebro de los consumidores abre la puerta a abusos sin precedentes contra la intimidad. Las ondas cerebrales se correlacionan con nuestros estados mentales, capacidades cognitivas y condiciones médicas, lo que puede servir de base para inferir emociones, prejuicios, intereses, trastornos de salud, rasgos de personalidad u otros datos privados que pueden utilizarse perniciosamente [20]. De hecho, ya se ha demostrado la viabilidad de algunos de estos ataques [28], y aparecen nuevas posibilidades de ataque con el rápido avance de la IA y su aplicación al procesamiento de datos cerebrales. Recientemente, científicos de la Universidad de Texas aplicaron con éxito Modelos de Lenguaje Amplio para decodificar pensamientos humanos con una precisión del 82% utilizando tecnología EEG no invasiva [43]. Se han publicado mejoras similares en relación con la extracción de imágenes imaginadas [42].

Se hace evidente que indagar en los datos relacionados con la mente supone riesgos para la libertad de pensamiento individual y, por tanto, para la sociedad, lo que exige nuevos marcos legales que regulen la "Neuroprivacidad" [21]. En este espacio, los debates éticos y jurídicos han sido intensos, lo que ha llevado a que Chile sea pionero en modificar su Constitución para introducir nuevos derechos neuronales [19]. Mientras que hasta ahora la investigación se ha centrado en abordar cuestiones éticas, legales y de ciberseguridad de la ICB, como vulnerabilidades y ataques, hay pocos conocimientos sobre las necesidades de privacidad de los usuarios. Frente a los riesgos y posibilidades únicos que ofrece la neurotecnología de consumo, es crucial comprender las expectativas de privacidad de los usuarios con respecto a los dispositivos BCI para construir un conocimiento de base que permita diseñar aplicaciones respetuosas con la privacidad. Para abordar esta laguna de conocimiento actual, diseñamos y llevamos a cabo un estudio de usuarios ( $n=287$ ) impulsado por las siguientes preguntas de investigación:

- **RQ1 [Expectativas de Neuroprivacidad] ¿En qué condiciones considera la gente aceptable compartir neurodatos?** Queremos saber con quién, para qué servicios y hasta qué punto los usuarios están dispuestos a compartir sus datos cerebrales.
- **RQ2 [Neuroprivacy and Neurotechnology Awareness] ¿Cuán conscientes son las personas de las implicaciones de la privacidad de la neurotecnología? ¿Cómo utilizarían esta tecnología?** Pretendemos explorar el nivel de comprensión, especialmente en lo relativo a la privacidad, que tienen los usuarios sobre la neurotecnología, identificando barreras y facilitadores para la adopción de las ICBs.

Contribuimos con el primer estudio sobre neuroprivacidad centrado en el usuario, utilizando la teoría de la Integridad Contextual (IC) [34] como marco básico para recoger las normas de privacidad en torno a los neurodatos. Nuestro análisis muestra que la gente tiene fuertes preocupaciones contra el uso de datos cerebrales para la publicidad, mientras que están interesados en la salud y los casos de uso de la investigación, así como el uso de la neurotecnología para el autoconocimiento y la mejora de la vida. En general, aunque nuestros participantes se muestran favorables a la tecnología, la privacidad se considera una cuestión crítica y el consentimiento informado se considera un factor determinante para su aceptación. Estos resultados subrayan la necesidad de mejorar la transparencia, la protección de la neuroprivacidad y los mecanismos de aplicación antes de que la mercantilización del intercambio de neurodatos normalice la vigilancia del cerebro.

Desde el punto de vista metodológico, al analizar cómo valoran los usuarios la aceptabilidad de los escenarios de compartición de neurodatos, descubrimos limitaciones en la aplicación actual de la metodología de encuesta de IC, que exponemos en nuestro debate para informar sobre el diseño de futuros estudios.

## 2 CONTEXTO

Esta sección establece la terminología y revisa los trabajos relacionados, destacando cómo los ampliamos y contribuimos a esta investigación.

### 2.1 Neuroprivacidad e Integridad Contextual

**Neuroprivacidad** o “privacidad cerebral” se refiere a los derechos que tienen las personas en relación con la extracción y el análisis de datos neuronales (también conocidos como neurodatos) de sus cerebros [7]. Abarca las cuestiones de privacidad que plantea el uso de la neurotecnología y su relevancia aumenta con el avance de las ICB de consumo y las aplicaciones fuera de los escenarios médicos más controlados. Las tecnologías BCI actuales pueden clasificarse en métodos invasivos y no invasivos. El primer tipo, los métodos invasivos, registran señales dentro del córtex implantando directamente electrodos cerca de la superficie del cerebro, como los hilos neuronales implantables de NeuraLink. Por su parte, la neurotecnología no invasiva funciona midiendo el cerebro desde el exterior, lo que resulta menos arriesgado y, por tanto, más conveniente para aplicaciones no críticas. La más portátil y utilizada de estas técnicas no invasivas es la electroencefalografía (EEG), que registra la actividad eléctrica a través de sensores colocados en la superficie

del cuero cabelludo. Centramos nuestro estudio de la privacidad en este tipo de neurotecnología de consumo, para la que actualmente existen en el mercado múltiples wearables (por ejemplo, Muse<sup>1</sup>, Emotiv<sup>2</sup>) y servicios, lo que indica el potencial de una adopción creciente más inmediata. .

Cuando se trata de estudiar la privacidad, la **integridad contextual (IC)** es un instrumento relevante desarrollado por Helen Nissenbaum [34]. Esta teoría proporciona un marco para entender las expectativas y normas de privacidad, con el argumento de que están conformadas por el contexto específico en el que se comparte la información personal, en lugar de estar regidas por principios o leyes universales. La IC especifica 5 parámetros que definen un flujo de información: (1) el *remitente* de la información, (2) el *receptor* de la información, (3) el *atributo* (es decir, el tipo de información) que se envía, (4) el *sujeto* de la información, y el (5) *principio de transmisión* o condición que rige el flujo de información. Cualquier cambio de los parámetros puede dar lugar a una violación de la norma de privacidad y provocar sentimientos de incomodidad o desconfianza. Por ejemplo, una persona (remitente/sujeto) puede sentirse cómoda compartiendo información personal relacionada con el cerebro (atributo) con su médico (destinatario) en el contexto de un examen médico con garantía de confidencialidad (principio de transmisión). Sin embargo, se sentiría violada si esa misma información se compartiera con un tercero sin su consentimiento (principio de cambio de sujeto/transmisión).

La IC se ha utilizado ampliamente en distintas comunidades de investigación como marco para definir y razonar sobre la privacidad, como herramienta para evaluar la conformidad entre las expectativas y la normativa sobre privacidad, o para encontrar lagunas en el estado del arte de las protecciones técnicas para ajustarse a las necesidades de los usuarios [3, 4, 17, 35, 38].

El estudio de las expectativas de neuroprivacidad, como uno de los focos del presente trabajo, es una aplicación de la IC para comprender las normas de los usuarios en escenarios emergentes que implican compartir datos cerebrales.

### 2.2 Trabajo Relacionado

**2.2.1 Sobre privacidad y seguridad de la ICB.** La actividad cerebral es rica en información. De hecho, dadas las características únicas de estas señales, se pueden utilizar para identificar a los individuos, como un tipo de biometría [18]. Pero más allá de las capacidades de identificación subyacentes a los neurodatos, las ondas cerebrales se correlacionan, entre otras cosas, con nuestros estados mentales, capacidades cognitivas y afecciones médicas [41]. Ejemplos de inferencias concretas a partir de datos cerebrales son la detección del alcoholismo [23] o el seguimiento de emociones [25]. Recientemente se ha sistematizado el tipo de fugas de privacidad que pueden derivarse de los neurodatos [27], destacando sus posibles consecuencias, especialmente en lo que se refiere al riesgo de rastreo de usuarios para publicidad dirigida.

[28] y Frank et al. [16] demostraron cómo manipulando los estímulos visuales (incluso subliminales) presentados a los usuarios de BCI, sus señales EEG podían revelar información privada como los PIN o la zona donde viven. Tarkhani et al. [44] analizaron las

<sup>1</sup><https://choosemuse.com/>

<sup>2</sup><https://www.emotiv.com/>

BCI vestibles para detectar vulnerabilidades desde la perspectiva del sistema operativo y del aprendizaje automático de adversarios, proponiendo soluciones de mitigación. Un estudio de Hanisch et al. [20] sobre la privacidad de los datos de comportamiento pone de relieve que la investigación sobre la protección de los datos cerebrales está significativamente inmadura con respecto a la de otros tipos de información sobre el comportamiento. Otra revisión exhaustiva, realizada por Bernal et al. [9] clasifica el estado del arte de los ataques a las BCI, haciendo un llamamiento a la necesidad de concienciar a los usuarios. Nuestro trabajo contribuye a esta área, ampliando el conocimiento de las necesidades de privacidad de los usuarios como núcleo para comprender mejor los vectores de ataque y diseñar mecanismos de protección.

**2.2.2 Sobre las expectativas de (neuro)-privacidad de los usuarios.** Existe amplio trabajo de investigación explorando las actitudes, percepciones y reacciones de privacidad de los usuarios con respecto a las nuevas formas de recopilación de datos y tecnologías emergentes, como las redes sociales [38], la Realidad Virtual [2], IoT u hogares inteligentes [3, 4]. En el campo de la neuroprivacidad y las neurotecnologías, sin embargo, hay pocos trabajos sobre la comprensión de las preocupaciones de los usuarios. Chuang et al. [29], como estudio paralelo para recabar la aceptabilidad de la biometría cerebral, realizaron una encuesta con 200 participantes en la que preguntaban por las percepciones de privacidad sobre diferentes bioseñales. Llegaron a la conclusión de que las ondas cerebrales se consideran una de las bioseñales más reveladoras por su capacidad para desvelar el funcionamiento interno de la mente de una persona. Sin embargo, no captaron los factores contextuales que determinan las normas de neuroprivacidad de los usuarios. Nosotros ampliamos ampliamente este conocimiento, investigando en qué condiciones los usuarios están dispuestos a compartir neurodatos.

El trabajo más relevante en la aplicación de la IC para captar las expectativas de privacidad es la investigación de Apthorpe et al. [3, 4] sobre las normas de privacidad de IoT. En su primer estudio, introducen un método de encuesta para aplicar CI para el descubrimiento rápido y eficiente de las normas de privacidad a escala y lo aplican ( $n=1.731$ ) en el contexto del hogar inteligente. En su segundo estudio, aplican este mismo método de encuesta para analizar cómo las normas de privacidad COPPA cumplen con las normas de privacidad de los padres cuyos hijos utilizan juguetes inteligentes IoT, demostrando alineación. Nosotros replicamos su metodología de encuesta, adaptándola al contexto de la neuroprivacidad, para recoger las expectativas de los usuarios en relación con 116 posibles escenarios de intercambio de neurodatos. Durante el diseño del estudio, descubrimos y resolvimos limitaciones metodológicas que se convirtieron en lecciones aprendidas para refinar la aplicación de este instrumento en el futuro.

### 3 METODOLOGÍA

Aquí describimos nuestra metodología basada en encuestas, basada en la instrumentalización de Apthorpe et al. de la IC para escalar la recopilación de normas de privacidad [3], y adaptándola al caso de la neuroprivacidad.

#### 3.1 Definición de los flujos de información de neurodatos

En esta sección, describimos cómo seleccionamos los parámetros de IC para definir los flujos de información de neurodatos, resumidos en la Tabla 1. Empezamos por fijar el *remitente* para que sea un dispositivo BCI. Los dispositivos BCI son el tipo más común de gadget disponible en el mercado, mientras que las integraciones de sensores de adquisición de datos cerebrales en otros objetos (por ejemplo, auriculares de RV) están aún en fase de desarrollo. También establecimos el parámetro *atributo* como “señales cerebrales” porque éste es el tipo básico de información en bruto que envían los dispositivos BCI. Existen otros posibles tipos de datos que puede recoger una BCI; por ejemplo, los dispositivos suelen incluir otros sensores, como giroscopios para detectar el movimiento de la cabeza o sensores de fotopleletismografía (PPG) para registrar la frecuencia cardíaca. Sin embargo, dado que la privacidad de los datos cerebrales es un tipo de datos bastante complejo y actualmente poco estudiado, decidimos centrarnos únicamente en la privacidad de los neurodatos, lo que puede establecer una línea de base para analizar posteriormente el efecto de añadir gradualmente otros atributos. Además, como los dispositivos BCI son vestibles y siempre miden a su usuario, el parámetro *sujeto* también es fijo. Los otros dos parámetros de IC se seleccionaron como se describe a continuación.

*Destinatarios.* Hemos elaborado nuestra lista de receptores de neurodatos basándonos en escenarios de aplicación práctica de la ICB que ya se han desplegado, consultando bibliografía académica y libros recientes que revisan exhaustivamente el estado de la neurotecnología [13, 33]. También revisamos los dispositivos de consumo más populares disponibles en el mercado [11, 22, 31, 32] y los servicios/aplicaciones que se ofrecen sobre ellos, tal y como se describen en sus sitios web y mercados asociados.

Según nuestro análisis, el uso más frecuente de la neurotecnología hasta ahora procede del ámbito médico, donde ha sido crucial para el diagnóstico de enfermedades [39]. Además, la investigación con ICB ha sido continua y variada, desde el desarrollo de aplicaciones relacionadas con la salud para que las personas discapacitadas puedan comunicarse mediante la tecnología cerebrovoz [37], hasta el estudio de procesos cognitivos, como el aprendizaje, en la investigación en psicología, o la exploración de las ondas cerebrales como nueva forma de autenticación biométrica en el campo de la seguridad informática [5, 10, 18]. Por estos motivos, añadimos médicos e investigadores como opciones en el parámetro de destinatario de la IC.

La revisión de los informes más avanzados sobre neurotecnología arrojó otros destinatarios. Los empresarios ya utilizan (o prevén utilizar) neurodispositivos para, por ejemplo, detectar la somnolencia de los camioneros o controlar la concentración. En las escuelas se han utilizado ICB para que los profesores sepan si los alumnos están concentrados. Los primeros usuarios publican capturas de pantalla de sus datos de EEG en cuentas de redes sociales para intercambiar experiencias y obtener comentarios de otros miembros, por lo que también consideramos plausible que los datos pudieran compartirse con familiares. Por último, cada vez hay más iniciativas de investigación dirigidas por los gobiernos, lo que convierte a los organismos públicos en otro destinatario relevante. Un ejemplo de

**Table 1: Contextual Integrity Parameters to define Neurodata Flows**

Sender	Recipients	Subjects & Attributes	Transmission Principles
A BCI device	its manufacturer online service providers academic researchers entertainment companies the user's medical doctor the user's social media accounts government agencies immediate family members the user's employer the user's teacher/professor	the user's brain signals	if the user has given verifiable and revocable consent if the user is directly notified before data collection if data is kept confidential and secure if data is stored online for a limited period if data is only stored until required if data is used to improve device performance if data is used to minimize safety concerns if data is used to enhance cognitive abilities if data is collected for medical assessment and monitoring if data is used for marketing if data is used for academic research if data is used to improve entertainment experience if data is subjected to privacy-preserving techniques if it complies with the EU Data Protection Regulation if the information is used to provide a personalized service null (no principle)

este último escenario es el creciente uso de pruebas neurocientíficas en los procesos penales.

Al examinar el mercado actual de la neurotecnología, el fabricante de los dispositivos de ICB aparece como destinatario obvio de los datos cerebrales. Otro tipo de destinatarios son los servicios en línea que proporcionan aplicaciones basadas en datos cerebrales y que no están necesariamente vinculados al fabricante. En los mercados de aplicaciones para distintos dispositivos de ICB, el juego era la categoría más importante, por lo que incluimos además a las empresas de entretenimiento como destinatarios específicos.

**Principios de transmisión.** Definimos los principios de transmisión basándonos en las condiciones comunes en las que se producen los flujos generales de información de datos en escenarios similares. Más concretamente, adaptamos la lista de principios de transmisión del estudio sobre privacidad basado en IoT CI de Apthorpe et al. [3], teniendo en cuenta los casos de uso de neurodatos descritos anteriormente. Algunos de estos principios se mencionan específicamente en muchas políticas de privacidad de dispositivos, como “los datos se mantienen confidenciales y seguros”. Otros se refieren a prácticas habituales en la recogida y almacenamiento de datos, por ejemplo “si el usuario ha dado un consentimiento verificable y revocable”. También añadimos el cumplimiento del GDPR, para calibrar la importancia de esta normativa para los usuarios europeos. Además, como se vio en [3], añadimos un principio de transmisión *null* para crear también flujos de información incondicionales.

Por último, al combinar los principios de transmisión con los destinatarios, descartamos ciertos flujos de información que no eran aplicables a discreción de los autores, basándonos en los casos de uso investigados en la literatura sobre trabajo relacionado.

Este proceso dio como resultado un total de 116 descripciones de flujos de información de neurodatos que debían calificarse en cuanto a su aceptabilidad, incluido el principio *null*. Este es el componente central del cuestionario de nuestra encuesta, que se describe en la sección siguiente.

### 3.2 Diseño de la encuesta e implementación

**Estructura.** El procedimiento de la encuesta comienza pidiendo a los usuarios que den su consentimiento informado. A continuación, se da una breve definición de lo que son las interfaces cerebroordenador, se explica que ya existen en el mercado dispositivos EEG para llevar puestos y se muestran ejemplos. Tras esta introducción, los participantes rellenan la parte del cuestionario. Todos los materiales sobre el instrumento de la encuesta se pueden encontrar en el Apéndice A.

Las preguntas de nuestra encuesta se organizan en las siguientes categorías:

- **Expectativas de neuroprivacidad.** Comenzamos preguntando sobre la aceptabilidad de enviar neurodatos a los 10 receptores diferentes especificados en la Tabla 1. Estas respuestas establecen la línea base de aceptabilidad, es decir, el juicio de los usuarios sobre el intercambio de datos sin tener en cuenta un principio de transmisión específico (principio *null*). Posteriormente, los participantes valoran la aceptabilidad de enviar neurodatos a cada receptor según los principios específicos aplicables definidos en la Tabla 1. El orden de los flujos de información en cada uno de estos bloques se aleatorizó por encuestado. En total, nuestros encuestados valoraron un total de 106 flujos condicionales y 10 flujos incondicionales. Las valoraciones se dan por flujo en una escala Likert de 5 puntos con opciones: Completamente aceptable (2), Algo aceptable (1), Neutral (0), Algo inaceptable (-1), Completamente inaceptable (-2). Hemos añadido al Apéndice la presentación visual en forma de matriz para calificar los flujos de neurodatos en el cuestionario.

Para explorar más a fondo cómo valoran los usuarios la aceptabilidad, incluimos dos preguntas adicionales. En primer lugar, preguntamos si los principios de transmisión se evaluaban de forma independiente o si siempre se daba por supuesto implícitamente el consentimiento. A continuación, añadimos una pregunta abierta para que los participantes compartieran cualquier información importante sobre su proceso de toma de decisiones. Esta parte de la encuesta responde a la pregunta de investigación RQ1.

- **Neuroprivacy & Neurotechnology Awareness.** En cuanto al conocimiento de la neuroprivacidad, queremos averiguar si la gente sabe qué tipo de datos sensibles pueden revelarse a partir de las ondas cerebrales. Para ello, preguntamos a los participantes qué información creen que puede deducirse de los datos cerebrales captados con una BCI comercial. En cuanto al conocimiento de la neurotecnología, en caso de que sean usuarios de ICB, preguntamos sobre sus escenarios de uso y frecuencia, así como si utilizarían esta tecnología en diferentes situaciones, aportando una justificación. En el caso de los no usuarios, preguntamos si utilizarían un casco de ICB si tuvieran la oportunidad, indagando también sobre su(s) escenario(s) de uso previsto y sus razones. Este conjunto de preguntas cualitativas se diseñó para ayudar a comprender el "por qué" de las puntuaciones de aceptabilidad, contribuyendo así a responder a la pregunta de investigación RQ2.
- **Demografía & Antecedentes.** El cuestionario termina con preguntas para recoger datos demográficos (como los que figuran en el Apéndice: sexo, edad, educación, país) e información sobre los antecedentes de los participantes que consideramos relevante para analizar sus respuestas sobre neuroprivacidad en la parte principal del cuestionario (conocimientos de TI, conocimientos de ICB, uso de la tecnología, actitudes hacia la privacidad). Utilizamos la escala estándar Internet Users' Information Privacy Concerns (IUIPC) de Malhotra et al. [26] para medir las actitudes hacia la privacidad. La información recogida en esta parte de la encuesta nos permite conocer la representatividad de nuestra muestra y tener en cuenta las variables demográficas. muestra y tener en cuenta las variables demográficas en nuestro análisis.

**Consideraciones sobre el diseño.** Hemos seguido las mejores prácticas en el diseño de encuestas para garantizar la calidad del instrumento. Para evitar que los participantes se sintieran intimidados, en el título y la introducción del estudio no se mencionaba la privacidad, ni siquiera se hacía alusión a ella. En su lugar, los encuestados participaron en una "encuesta sobre tecnología de interfaz cerebro-ordenador". Para tener en cuenta posibles respuestas deshonestas o descuidadas, incluimos preguntas de comprobación de la atención.

**Desarrollo y evaluación ética.** El estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional de nuestra universidad. Reclutamos a los participantes utilizando Prolific [36], una plataforma en línea que atiende explícitamente a los investigadores. Aplicamos los parámetros de selección de Prolific para seleccionar a los participantes que vivían en países europeos. Decidimos centrarnos en personas de Europa para obtener la perspectiva de los usuarios de tecnología que están sujetos al Reglamento General de Protección de Datos de la UE (GDPR) [12]. Se informó a los participantes de que la encuesta era anónima, voluntaria y de que todos los datos recogidos se procesarían de acuerdo con el GDPR, antes de pedirles el consentimiento y la confirmación de ser mayores de 18 años. El cuestionario se administró a través de la herramienta web de encuestas LimeSurvey<sup>3</sup>, cuyos servidores están ubicados en Alemania y cumplen el RGPD.

Al final de la encuesta, se informó a los participantes sobre el propósito real de explorar los problemas de privacidad en torno a

las ICB y se les dio la opción de ponerse en contacto con nosotros en caso de que tuvieran preguntas.

### 3.3 Análisis de datos

**Métodos de análisis cuantitativo.** Las respuestas cerradas sobre aceptabilidad se convirtieron de la escala Likert a valores cuantitativos, se promediaron y se trataron como datos continuos. Se analizaron las diferencias significativas en las puntuaciones de aceptabilidad en función de a) los principios específicos de transmisión y b) el impacto a la hora de compartir datos con distintos destinatarios. En todos los casos, realizamos pruebas no paramétricas de rangos con signo de Wilcoxon [46] para medidas repetidas, teniendo en cuenta la corrección de pruebas múltiples de Bonferroni [6]. Nuestro objetivo para ambos análisis era evaluar el efecto de los receptores y los principios de transmisión. En este caso, seguimos la metodología de Aphorpe et al. [3]. Comparamos la puntuación de aceptabilidad de cada receptor con el principio *null*, que representa los flujos de datos incondicionales, y los principios de transmisión *null*, que retratan los flujos de información condicionales. El principio *null* sirvió de referencia para evaluar la influencia de los destinatarios y los principios de transmisión en la puntuación de aceptabilidad de todos los participantes. Se realizaron varias pruebas para cada uno de los 10 destinatarios y los 15 principios de transmisión. Debido a la inaplicabilidad de algunos principios a determinados receptores, se realizaron un total de 106 pruebas. Para tener en cuenta las comparaciones múltiples, ajustamos el umbral estándar de 0,05 a un nuevo umbral de 0,00047 (0,005 / 106) basándonos en el método de Bonferroni.

Además, presentamos los resultados de seis pruebas de Wilcoxon para comparar diferentes grupos demográficos: edad, educación, formación informática, uso de dispositivos portátiles, conocimientos de ICB e interpretación del consentimiento. En este caso, fijamos el umbral de significación en 0,0083 (0,05 / 6) para tener en cuenta el método de corrección de Bonferroni, ya que utilizamos seis agrupaciones demográficas.

**Métodos de análisis cualitativo.** Las respuestas abiertas se analizaron siguiendo un método de codificación iterativo e inductivo. Un miembro del equipo de investigación leyó las respuestas y creó el libro de códigos con los códigos temáticos, y un segundo investigador codificó de forma independiente el conjunto completo de datos. Medimos la fiabilidad entre codificadores mediante el coeficiente Kappa de Cohen. Las altas puntuaciones obtenidas en esta métrica para todas las preguntas ( $\kappa > 0,75$ ) sugieren un excelente nivel de acuerdo [14]. Los casos en los que los codificadores diferían en sus códigos finales se discutieron y conciliaron. Los libros de códigos definitivos con las descripciones de las categorías y la distribución de los códigos se detallan en el apéndice A. Además, comprobamos si había diferencias significativas en las respuestas abiertas entre los participantes que daban puntuaciones medias de aceptabilidad altas ( $\geq 0$ ) y bajas ( $< 0$ ), utilizando una prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ). Esto nos permite observar la interacción entre los datos cuantitativos y cualitativos.

**Prueba piloto** Antes de publicar la encuesta principal, realizamos una prueba piloto con 15 participantes, solicitando su opinión y preguntando explícitamente por las ambigüedades percibidas. La observación más importante durante la prueba piloto fue que

<sup>3</sup><https://www.limesurvey.org/>

varios participantes mencionaron que no sabían cómo calificar la aceptabilidad de los principios. Más concretamente, algunas personas asumieron que para que los principios de transmisión fueran "válidos" todos deberían contener consentimiento, por ejemplo, "si los datos se mantienen confidenciales y seguros" debería ser "si el usuario ha dado su consentimiento y los datos se mantienen confidenciales y seguros". Este debate nos llevó a la conclusión de que los participantes podrían valorar los principios de transmisión de dos formas distintas: de forma independiente, asumiendo que no se da el consentimiento; o asumiendo que el consentimiento es implícito. Esta interpretación diferente puede distorsionar potencialmente las puntuaciones de aceptabilidad y la correcta interpretación de los resultados. Por este motivo, decidimos incluir nuevas preguntas para conocer mejor el procedimiento de valoración de los individuos.

Además, la prueba piloto sirvió para afinar la redacción y disposición de las preguntas mediante pequeñas modificaciones. Confirmó que los datos recogidos eran precisos y coherentes con la estructura prevista y ayudó a establecer un tiempo estimado de realización (unos 20 minutos).

El pilotaje del estudio también nos ayudó a estimar si el número de preguntas de la encuesta era demasiado cansado. La decisión de pedir a los usuarios que valoraran 116 flujos (incluido el principio *null*) se basó en trabajos anteriores. Apthorpe et al. realizaron con éxito su estudio CI con participantes que valoraron 82 flujos, por lo que seguimos el mismo diseño de preguntas tipo matriz que reduce la fatiga cognitiva (véase la Fig. 1). Dado que añadimos dos matrices más, pedimos explícitamente a los participantes del piloto que nos dieran su opinión, y sus respuestas nos indicaron que era adecuada.

## 4 RESULTADOS

El estudio se realizó en marzo de 2023. Recibimos 435 respuestas y la muestra final es  $n=347$ . Tuvimos que filtrar los duplicados, las respuestas que no superaron las comprobaciones de atención y los participantes que no se ajustaban al filtro de selección de la ubicación de la UE. En la primera pregunta de aceptabilidad inicial, añadimos la opción de respuesta "No tiene sentido" y 60 participantes respondieron que no tiene sentido compartir señales cerebrales con uno o más destinatarios, como se ve en Figure 2. A pesar de su participación en el estudio, estas personas no se incluyeron en el posterior análisis cuantitativo de aceptabilidad, ya que era evidente que no comprendían totalmente algunos flujos de información. El resultado fue un número total de 287 participantes. Los participantes tardaron una media de 20 minutos en completar la encuesta, y les pagamos 3£<sup>4</sup>.

**Antecedentes de los participantes.** Los participantes en nuestro estudio que valoraron todos los flujos ( $n=287$ ) son en un 62% hombres, en un 36% mujeres y el resto optó por no revelar su sexo o se identificó como no binario. En cuanto a la edad y la educación, los participantes son en su mayoría adultos jóvenes (80% <35 años), y la mayoría ha completado una licenciatura (35%) o un máster (24%). También es importante señalar que el 42,5% de los encuestados tienen conocimientos informáticos. En cuanto a los conocimientos sobre las ICB, aunque la mayoría (55%) ha oído hablar de esta

tecnología, sólo 7 participantes (2%) poseen o han utilizado un neurodispositivo. En el apéndice A se ofrece información demográfica detallada.

### 4.1 RQ1 - Expectativas de neuroprivacidad

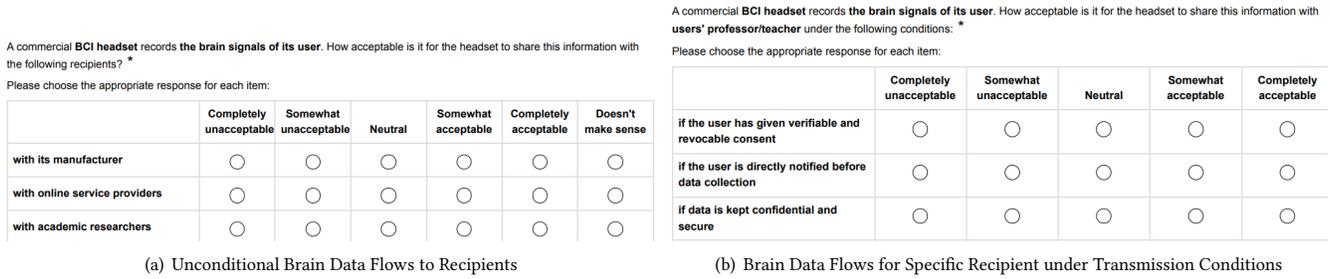
Nuestra investigación consiste en examinar la aceptabilidad de compartir señales cerebrales con diferentes destinatarios, así como analizar la relación de esta práctica con diversos factores como la familiaridad de los participantes con la tecnología BCI, el grupo de edad y el nivel de educación.

Figure 4 muestra la puntuación global de aceptabilidad de los participantes que comparten sus señales cerebrales con distintos destinatarios. La escala de colores va del rojo, que indica -2 (totalmente inaceptable), al verde, que representa 2 (totalmente aceptable). Nuestros resultados sugieren que los participantes están más dispuestos a compartir sus señales cerebrales con médicos e investigadores académicos que con agencias gubernamentales, plataformas de redes sociales o proveedores de servicios en línea. Los participantes parecen mostrarse ambivalentes sobre si revelar o no los datos cerebrales a sus familiares, profesores o fabricantes de tecnologías BCI. En las siguientes subsecciones, presentaremos las percepciones más significativas de nuestros resultados. El apéndice ofrece otros gráficos relevantes y una visión detallada de las puntuaciones medias de aceptabilidad de todas las respuestas de IC para los distintos grupos demográficos y los valores  $p$  resultantes para indicar las diferencias estadísticamente significativas.

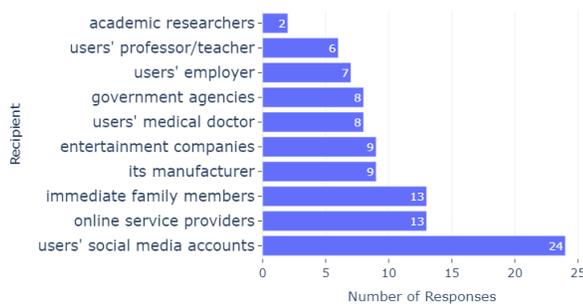
*4.1.1 Los principios muestran un impacto en la percepción de aceptabilidad de los participantes.* Como se explica en Section 3.3, realizamos pruebas de significación para comparar el efecto de los flujos de información condicionales e incondicionales y el efecto de tener distintos destinatarios.

El gráfico de la figura 5 muestra el porcentaje de casos en los que la inclusión de un principio de transmisión concreto (frente al principio de transmisión *null*) produce una diferencia estadísticamente significativa en la puntuación media de aceptabilidad. Podemos observar que los principios "si los datos se utilizan para marketing" y "si los datos se utilizan para mejorar el rendimiento del dispositivo" dan lugar a puntuaciones significativamente diferentes con respecto a los flujos incondicionales en el 100 % de los casos. El principio "si el usuario ha dado su consentimiento verificable y revocable" dio lugar a puntuaciones significativamente diferentes en el 90% de los casos. Los participantes mostraron una mayor aversión a compartir sus datos cerebrales cuando la recopilación de datos tenía fines de marketing, mientras que si daban su consentimiento mostraban una actitud más positiva respecto a compartir las señales cerebrales. El estudio de Apthorpe et al. mostró resultados similares en cuanto al efecto de los principios de transmisión y el destinatario sobre la aceptabilidad del flujo de información al compartir datos de diferentes dispositivos IoT [3]. A partir de esto, podemos inferir que los principios tienen un impacto importante en cómo los participantes perciben la aceptabilidad de compartir señales cerebrales. Por otra parte, observamos que el principio "si los datos se almacenan en línea durante un período limitado" da lugar a puntuaciones significativamente diferentes en el 50% de los casos.

<sup>4</sup>Esta compensación se estableció en base al esquema de recompensa ética recomendado por Prolific, es decir, al menos 9£/hora



**Figure 1: Matrix-like blocks of questions used for rating acceptability of brain data flows. (a) captures acceptability of recipients under no specified transmission condition (null principle). (b) captures acceptability ratings for a specific recipient (teacher/professor) under different conditions. Rows are partially shown to illustrate the question visualization concept; the full set of principles and recipients is described in Table 1.**



**Figure 2: Number of “Doesn’t Make Sense”-responses for different recipients**

4.1.2 *Cambio en la clasificación de los destinatarios en los flujos de información incondicionales frente a los condicionales.* Si comparamos la clasificación de los destinatarios para los flujos de información incondicionales (es decir, el principio *null*) y las puntuaciones medias de aceptabilidad para los condicionales, ordenados por sus medias, observamos un cambio en los destinatarios menos aceptables. Antes de preguntar a los participantes por la aceptabilidad de los flujos de datos para distintos destinatarios, observamos que los organismos gubernamentales eran los destinatarios menos aceptables, seguidos de las cuentas de redes sociales y los proveedores de servicios en línea. Tras nombrar explícitamente los principios de transmisión, los participantes consideran menos aceptable compartir señales cerebrales con sus cuentas de redes sociales, su empleador y su empresa de ocio, respectivamente, seguidos sólo a continuación por los gobiernos. Tras presentar los flujos condicionales determinados por los principios de transmisión, los participantes adquirieron una comprensión más realista de los fines y los casos de recogida y tratamiento de datos cerebrales.

4.1.3 *Los médicos y los investigadores son receptores aceptables de datos cerebrales.* Figure 3 muestra un mapa de calor que muestra la aceptabilidad de diferentes principios de transmisión para varios

receptores de señales cerebrales procedentes de ICB. El eje y muestra los principios de transmisión, mientras que el eje x muestra los receptores. La última fila está formada por los valores del principio *null* que indican la puntuación global de aceptabilidad, como se ve en la Fig. 4 para el flujo de información incondicional.

Cuando se trata de analizar la disposición a compartir datos BCI entre todos los participantes, teniendo en cuenta los principios de transmisión, los resultados demuestran que los profesionales médicos reciben el valor positivo más alto, lo que indica una fuerte confianza hacia el intercambio de datos con fines médicos, así como con los investigadores académicos, que también son favorecidos entre todos los participantes. Compartir datos con familiares directos y profesores o maestros se considera aceptable, pero recibe una valoración más baja. Llama la atención que los usuarios no consideren aceptable compartir sus datos con sus empleadores bajo ninguna condición, incluida la seguridad.

4.1.4 *Utilizar datos cerebrales para marketing no es adecuado.* Los usuarios son más proclives a compartir sus datos si no se utilizan con fines de marketing, independientemente del destinatario, como sus cuentas en redes sociales, proveedores de servicios en línea, empresas de ocio o fabricantes de dispositivos. Entre todos los grupos de edad, especialmente los de 25 a 54 años, mostraron una fuerte aversión a compartir las señales cerebrales si los datos se utilizan con fines de marketing. Esta actitud negativa puede deberse a la preocupación por la privacidad, el uso indebido de los datos y la comercialización de información sensible.

En cuanto a la recopilación de datos para la evaluación y el seguimiento médicos, los encuestados consideran aceptable el seguimiento de datos por motivos de salud, pero no se sienten cómodos con que ningún receptor lleve a cabo el seguimiento. Creen que no es adecuado que los gobiernos y los empresarios controlen los datos sanitarios.

4.1.5 *El consentimiento marca la diferencia.* Al realizar la encuesta, preguntamos sobre la interpretación del principio de transmisión, es decir, si los participantes suponían que el consentimiento verificable y revocable se aplica siempre en los flujos de datos condicionales. A modo de ejemplo, los participantes deducirían que "el usuario es notificado" significa "el usuario ha dado su consentimiento y es notificado". Una interpretación alternativa de los flujos de datos es

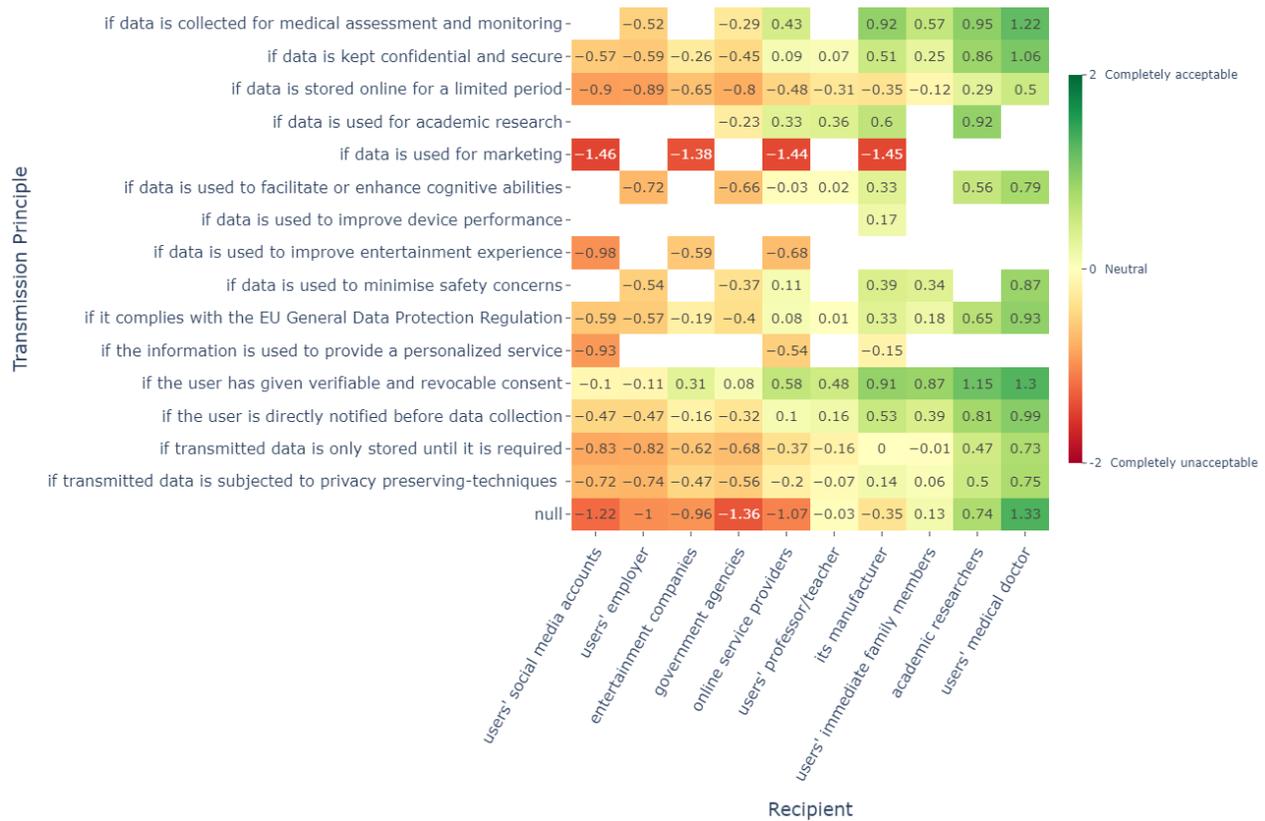


Figure 3: Heat map showing average acceptability scores of information flows by transmission principles and recipients

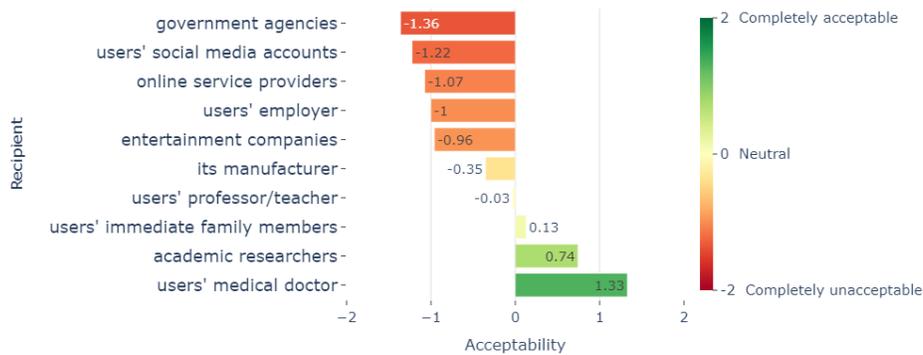
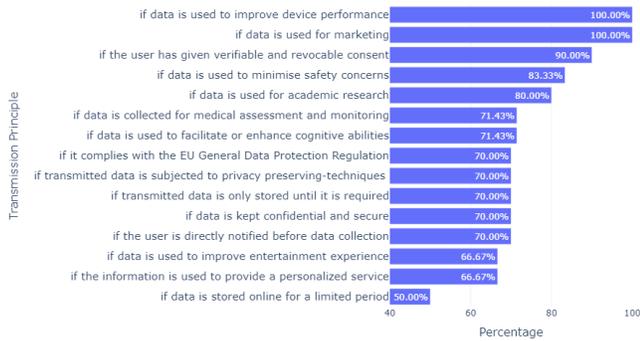


Figure 4: Overall acceptability score of participants sharing brain signals with different recipients without any condition

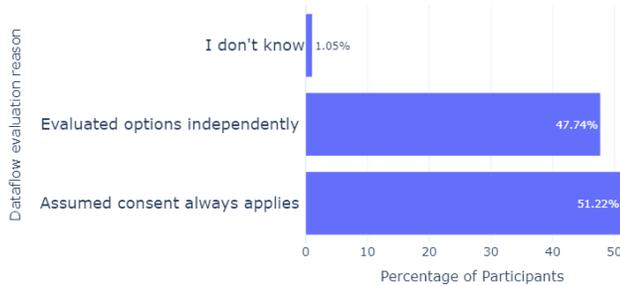
que los participantes evaluaron los principios individualmente, es decir, que "se notifica al usuario" se interpreta como se indica.

Figure 6 es un gráfico de barras que ilustra los planteamientos de los participantes a la hora de evaluar los principios de transmisión en las ICB. Los resultados indican que aproximadamente el 51%

de los participantes dieron por supuesto que se daba el consentimiento al responder a preguntas relacionadas con el flujo de datos cerebrales, lo que indica una posible falta de claridad en torno a la privacidad de los datos y el consentimiento. Alrededor del 48% de los participantes evaluaron las opciones de forma independiente y



**Figure 5: Percentage of instances where the inclusion of the specified transmission principle resulted in a statistically significant difference in acceptability scores with regard to the baseline null principle**



**Figure 6: Distribution of participants' reasons for evaluating transmission principles as a percentage**

no asumieron que el consentimiento se aplica a todos los principios. Si se observan los mapas de calor en Figure 7, los encuestados que asumieron que el consentimiento se aplica siempre están más dispuestos a compartir sus datos. Su puntuación media de aceptabilidad en todos los flujos de IC se sitúa en 0,13, mientras que la puntuación del grupo de participantes que evalúan los principios de forma independiente es de -0,25. Esta diferencia es significativa ( $p < 0, 0083$ ) Por lo tanto, los flujos de información condicional son más aceptables para las personas que consideran que siempre se aplica el consentimiento.

**4.1.6 Los adultos jóvenes están menos preocupados.** En nuestro estudio analizamos las puntuaciones medias de aceptabilidad de los flujos de información para distintos destinatarios en relación con los grupos de edad de nuestros participantes. Nuestros resultados indican que existen diferencias notables en las actitudes hacia el intercambio de señales cerebrales entre los distintos grupos de edad. En concreto, observamos que los participantes menores de 45 años

son ligeramente más abiertos a compartir sus señales cerebrales en comparación con los participantes de entre 45 y 64 años. La media de las puntuaciones de aceptabilidad de todos los flujos valorados del primer grupo es de -0,04, mientras que el segundo grupo dio una puntuación de -0,19. La diferencia en las puntuaciones de aceptabilidad es significativa con  $p < 0, 0083$ .

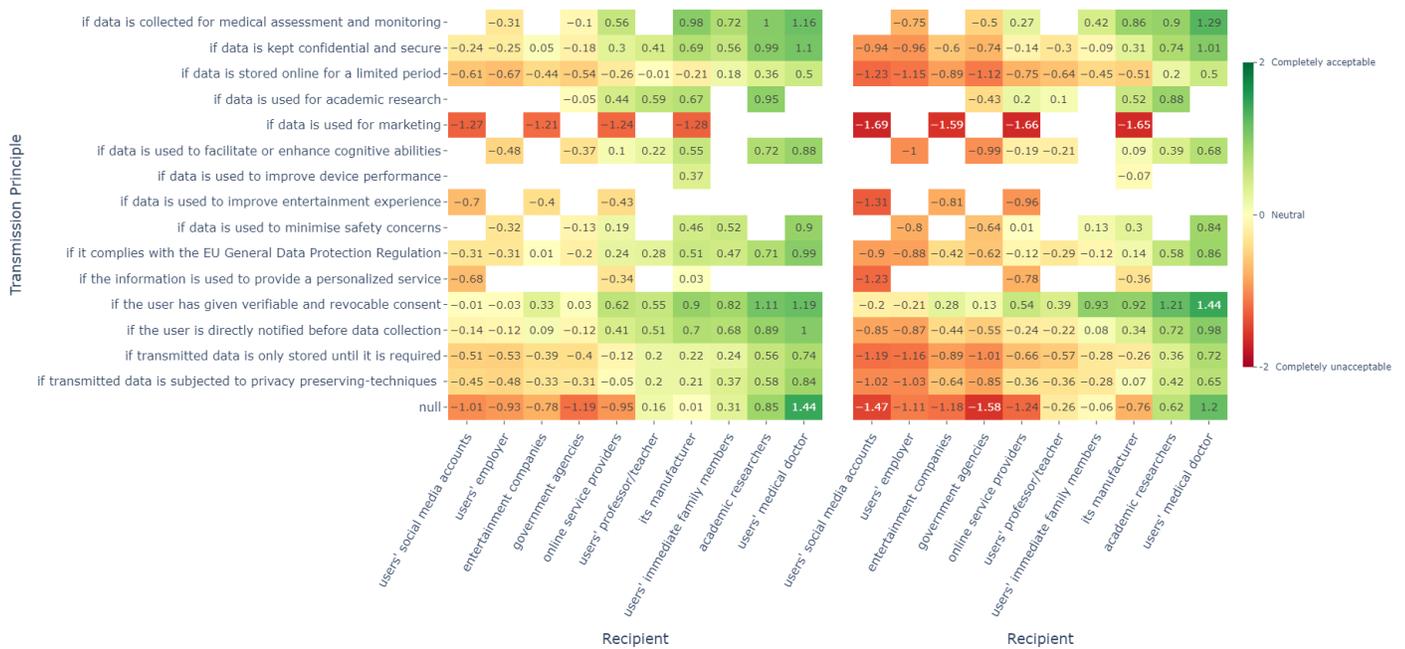
Para profundizar más, los individuos de entre 18 y 44 años mostraron una perspectiva relativamente favorable a compartir señales cerebrales si la información se obtiene para evaluación y tratamiento médico, se mantiene confidencial y segura, o se utiliza para investigación académica. Esta tendencia sugiere que los adultos más jóvenes y de mediana edad reconocen los beneficios potenciales de la tecnología BCI en la asistencia sanitaria y la investigación. Además, parecen más favorables a compartir las señales cerebrales si el usuario ha dado un consentimiento verificable y revocable, lo que subraya la importancia del control y el consentimiento del usuario en la aceptabilidad de la tecnología BCI.

Curiosamente, las personas de mayor edad tienden a expresar más aprensión a la hora de compartir datos cerebrales en general. Estos resultados subrayan la importancia de considerar la edad como un factor crucial que influye en la confianza, la preocupación por la privacidad y las preferencias a la hora de compartir datos.

**4.1.7 Los títulos académicos muestran más apertura hacia los investigadores como receptores.** El análisis aporta datos interesantes sobre cómo perciben los datos de señales cerebrales las personas con distintos niveles educativos. Los encuestados que poseían títulos académicos avanzados, como un doctorado o un máster, mostraron una actitud más favorable a compartir sus señales cerebrales con investigadores académicos que los participantes con un nivel inferior. La actitud negativa de los participantes a compartir sus señales cerebrales con empresas de ocio puede deberse a su percepción de que dichas entidades se preocupan menos por garantizar el bienestar y la seguridad personales, en comparación con los entornos médicos o académicos.

Comparando la puntuación media de todos los flujos de neurodatos de los participantes con un título académico superior (licenciatura, máster o doctorado) y la puntuación media de los que tienen otros estudios, observamos que el primer grupo está más preocupado (-0,12 frente a 0,07). La diferencia es estadísticamente significativa ( $p < 0, 0083$ ).

**4.1.8 Preocupaciones de las personas ajenas a la informática.** Además, analizamos la puntuación media de aceptabilidad de los principios de transmisión con distintos destinatarios en relación con los ámbitos educativos o profesionales de los participantes. Los participantes se agruparon en dos categorías en función de su formación académica o profesional. Como ya se ha mencionado, más del 40% de los participantes declararon tener estudios o trabajar en el campo de la informática. Más del 50% de las personas sin formación en TI parecen estar más preocupadas por compartir sus datos cerebrales en total, ya que se observan más valores negativos. La puntuación media de aceptabilidad sobre todos los flujos de neurodatos para los participantes con formación en TI es de 0,001, mientras que la puntuación de los participantes con formación en TI es de -0,08. Esta diferencia es estadísticamente significativa ( $p < 0, 0083$ ). En



**Figure 7: Heat maps that show average acceptability scores of data flows by transmission principles values and recipients for the different responses in regards to the information flows evaluation. The left heat map shows average scores if data flows from participants who assumed that consent was always given. The right map displays the values corresponding to participants who indicated that they evaluated the choices independently and did not assume that consent was given for every data flow**

resumen, a los participantes que tienen una gran afinidad por la tecnología les preocupa más compartir datos cerebrales con empresas de TI.

4.1.9 *Los usuarios de dispositivos wearables muestran un mayor nivel de apertura.* Como se indica en el Apéndice A, el 43% de los participantes declararon utilizar dispositivos portátiles. Al comparar este grupo con los participantes que no utilizan dispositivos portátiles, las puntuaciones revelan que los usuarios de dispositivos portátiles muestran en general una mayor disposición a compartir sus señales cerebrales. Su puntuación media de aceptabilidad para todos los flujos de datos es de 0,03, mientras que la puntuación de los usuarios de dispositivos no portátiles es de -0,11. La diferencia es estadísticamente significativa (0,03). La diferencia es estadísticamente significativa ( $p < 0,0083$ ). Por lo tanto, los usuarios de dispositivos wearables muestran un mayor nivel de apertura a la hora de compartir neurodatos.

En cuanto a los conocimientos sobre ICB, el 55% de los participantes declararon que no habían oído hablar de ellos con anterioridad. Sin embargo, comparando este grupo con los participantes que poseían, utilizaban o habían oído hablar antes de los ICB, las puntuaciones de aceptabilidad de -0,04 y -0,07, respectivamente, son muy similares y no estadísticamente significativas.

4.1.10 *Los factores regionales influyen en las percepciones.* En esta sección examinamos la aceptabilidad de compartir señales cerebrales entre participantes de diversos países, considerando varios

receptores. De hecho, observamos variaciones entre países, comparando las puntuaciones de aceptabilidad para flujos de datos condicionales e incondicionales. Sin embargo, no realizamos pruebas estadísticas porque el número de participantes de algunos países era demasiado bajo.

Pueden observarse diferencias en las puntuaciones de los flujos de datos entre los residentes griegos y los individuos de Polonia. Los mapas de calor muestran que los encuestados de Grecia tienen una actitud muy negativa hacia el intercambio de datos cerebrales, especialmente si los datos se almacenan en línea durante un periodo limitado o son recogidos por organismos gubernamentales, mientras que la puntuación de aceptabilidad incondicional de los médicos es significativamente alta, así como cuando se da el consentimiento. Por el contrario, los participantes de Polonia son más proclives a compartir sus señales cerebrales en general y si no se utilizan para marketing. Los residentes en Italia muestran una mayor aversión al flujo cuando los datos se utilizan con fines de marketing.

Los participantes de España mostraron una mayor disposición a compartir las señales cerebrales con sus familiares directos que los participantes de otros países. Los individuos de Alemania muestran un bajo nivel de disposición a compartir sus señales cerebrales con plataformas de medios sociales, empresas de entretenimiento y agencias gubernamentales.

Estas observaciones señalan que es esencial tener en cuenta los antecedentes específicos de cada país para dar cuenta de las diferencias en la aceptabilidad a la hora de diseñar BCI y políticas

de privacidad, ya que los factores culturales y regionales pueden influir en las percepciones de privacidad y confianza de los usuarios.

## 4.2 RQ2 - Neuroprivacy and Neurotechnology Awareness

**Conciencia de la neuroprivacidad.** Todos los  $n=347$  participantes respondieron a la pregunta ‘¿Qué cree que se puede deducir sobre una persona a partir de sus señales cerebrales recogidas por una ICB comercial?’. Descartamos 13 respuestas que no proporcionaban una respuesta real y luego codificamos el resto del conjunto de datos, obteniendo una  $\kappa$  de Cohen = 0,85. Nuestra taxonomía final de las inferencias de datos cerebrales percibidas por los participantes comprende nueve categorías. A continuación se detallan los tipos de inferencia más destacados por categoría. Damos la frecuencia de aparición de la categoría y el código entre paréntesis.

El tipo más frecuente de datos que los participantes creen que pueden derivarse de las ondas cerebrales son los **Estados mentales (26%)**. Se refieren a estados mentales/cognitivos, estados de ánimo, sentimientos y emociones en general (13,8%), y mencionan 19 sentimientos concretos. Las más comunes de estas inferencias concretas son gustos/disgustos e intereses del usuario de la ICB. La siguiente categoría en importancia es **Procesos mentales (18,8%)**. Los participantes creen que se pueden seguir las reacciones cerebrales a los estímulos (6,8%) y especificaron ejemplos de otros procesos mentales que consideran deducibles de las ondas cerebrales, como los procesos de pensamiento y toma de decisiones, los deseos, la atención y la posibilidad de determinar si una persona miente. Llama la atención que varios participantes hablen de inferir deseos *verdaderos* u opiniones *reales* (a diferencia de lo que una persona muestra al exterior) y de detectar mentiras, todo lo cual supone una importante amenaza contra la libertad mental [13].

*“Creo que la verdadera opinión sobre un tema puede deducirse del usuario, si miente o no, por ejemplo, o de sus deseos más profundos.” (P488)*

También cabe destacar que varias respuestas mencionan inferencias de procesos/estados mentales en relación con productos y anuncios, lo que denota tanto conocimiento como preocupación por las técnicas de neuromarketing, una tendencia que se ve respaldada por las puntuaciones cuantitativas de aceptabilidad en Section 4.1:

*“Creo que alguien podría obtener información sobre lo que alguien podría sentir (como emoción) al ver o utilizar un producto determinado. [...] y eso puede ser perjudicial, por ejemplo para una persona con sobrepeso que piensa en comida la mayor parte del tiempo, esa persona recibirá más anuncios de comida y eso va en contra del bienestar de esa persona” (P132)*

La tercera categoría más importante de lo que los participantes creen que puede deducirse de las ondas cerebrales se refiere a las **inferencias (más complejas) de orden superior (15,5%)**. Entre los tipos de datos más mencionados figuran el estado de salud (6,5%), el comportamiento (1,29%), la personalidad (1,6%) y las órdenes para controlar una máquina (1,1%). Además, muchas personas respondieron con **Datos cerebrales no específicos (11%)**, como señales cerebrales. Junto con las respuestas **Datos fisiológicos (9,3%)**, tenemos las 5 categorías que abarcan el 80,8% de los códigos

del conjunto de datos. Este último tipo de inferencia abarca sobre todo estados de estrés (3,2%) y fatiga (2,3%), así como información relacionada con el sueño (1,1%).

Pocos participantes consideran que sea posible extraer **constructos mentales (7%)**, como pensamientos, representaciones visuales en nuestra mente y recuerdos. Curiosamente, los recientes avances en grandes modelos lingüísticos e inteligencia artificial están facilitando este tipo de descodificación mediante lectores cerebrales no invasivos [43]. El resto de las respuestas o bien mencionaban explícitamente **No lo sé (5,7%)**, o bien se referían a la **Cantidad de datos (5,2%)** –en varios grados, desde que no se puede inferir nada hasta que se puede inferir todo–, o bien indicaban la posible extracción de **Información personal (1,1%)**, como la edad o el sexo. Además de la sensación general de los participantes de que las inferencias pueden utilizarse para el marketing, sus respuestas muestran inseguridad y miedo ante la incertidumbre de lo que puede aprenderse de las ondas cerebrales:

*“Esa es la cuestión... No tengo muy clara la respuesta a esta pregunta y me da miedo la salida” (P435)*

*“No tengo ni idea pero me da miedo.” (P307)*

**Neurotech Awareness.** Siete participantes declararon haber utilizado y/o poseer una ICB. En el grupo de los no propietarios (6), tres de ellos utilizaron un dispositivo de ICB en un contexto académico (para investigación, en una conferencia), un participante utilizó un juego controlado por ICB, otro probó la tecnología brevemente durante una feria, y el último informó de que lo utilizaba para registrar la actividad cerebral. Sólo una persona posee y utiliza habitualmente un dispositivo de ICB, en este caso con fines personales de salud mental. Cuatro encuestados mencionaron los siguientes escenarios específicos en los que utilizarían una ICB en el futuro: salud, mejora de las capacidades cognitivas, investigación y si fuera beneficioso.

En el caso de los no usuarios actuales, también informaron de si utilizarían o no una ICB, cómo y por qué. Codificamos las respuestas de los 336 participantes que respondieron, obteniendo una  $\kappa$  de Cohen = 0,81. La mayoría de las respuestas (77,6%) muestran una actitud positiva hacia el uso de neurotecnologías, y el 33,9% contiene una opinión negativa <sup>5</sup>.

Hay que señalar que el 5% de las respuestas son de participantes que no están seguros de si utilizarían o no la tecnología porque necesitan más información para tomar una decisión. Para los participantes positivos, los casos de uso más atractivos son el uso médico (para diagnóstico, control sanitario) y la investigación, donde los participantes ven un beneficio claro y confían en los destinatarios. Estas observaciones coinciden estrechamente con las valoraciones cuantitativas de aceptabilidad, que también favorecen estos flujos de datos. Por ejemplo, a los participantes les gustaría contribuir a estudios de investigación que puedan ayudar a aumentar los conocimientos sobre el cerebro y beneficiar a otras personas y a la sociedad.

*“Me gustaría utilizar BCIs. Definitivamente lo utilizaría por motivos médicos y científicos / de investigación. Estaría de acuerdo en utilizar la ICB por razones médicas*

<sup>5</sup>Nótese que los porcentajes no suman 100% porque algunos participantes expresaron tanto actitudes negativas como positivas.

*para obtener un mejor diagnóstico y para que los médicos me entendieran mejor en situaciones en las que no sé cómo describir con precisión mi problema. Mis razones para utilizar la BCI con fines científicos o de investigación son sencillas: me encantaría formar parte del desarrollo, la exploración y la mejora del mundo.” (P148)*

Las respuestas también sugieren un gran interés de los participantes por utilizar las ICB para autocontrolarse, comprenderse mejor a sí mismos (qué les estresa, cómo aprenden) y mejorar sus vidas, así como para entretenerse. El principal motivo que lleva a los participantes a utilizar la neurotecnología es la curiosidad.

En resumen, se favorecen los casos de uso para el bien personal y social. Sin embargo, los participantes expresaron positivamente su preocupación por la privacidad y la necesidad de salvaguardar los neurodatos y hacer un uso ético de la tecnología. Varios encuestados señalaron los beneficios potenciales de la tecnología si pudieran utilizarla de forma privada:

*“Quizá me interesaría utilizarlo en determinadas situaciones, por ejemplo en el trabajo, para controlar mi actividad cerebral (sin compartir los datos con mi jefe).” (P262)*

En el grupo de participantes que se muestran negativos hacia el uso de la neurotecnología, la razón más destacada es la privacidad y que no ven la utilidad que tendrían para ellos las ICB.

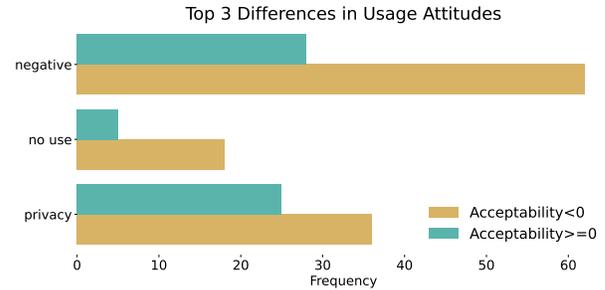
*“Nunca. No quiero que nadie escudriñe mi mente y mis pensamientos y sentimientos más íntimos, ni siquiera los seres queridos.” (P421)*

*“No utilizaría un BCI porque creo que no lo necesito en mi vida. También me preocupa la seguridad de mis datos personales, que quedarían registrados con los auriculares.” (P221)*

Aunque los participantes expresaron otras preocupaciones, como no estar seguros de la seguridad, nocividad o madurez de las neurotecnologías actuales, éstas fueron mucho menos frecuentes que la preocupación por la privacidad.

Para obtener más información, examinamos la interacción entre las actitudes de los participantes hacia la neurotecnología, sus percepciones sobre lo que puede derivarse de los datos cerebrales y las puntuaciones de aceptabilidad que otorgaron a los flujos de neurodatos. Para ello, dividimos a los participantes en dos grupos, los que calificaron todos los flujos de neurodatos como aceptables ( $\geq 0$ ) de media, y los que calificaron los flujos como inaceptables ( $< 0$ ). La distribución de las inferencias percibidas sobre los datos cerebrales entre ambos grupos no difiere significativamente: parecen pensar de forma similar, identificando las emociones, estados de ánimo y sentimientos como el tipo de datos inferibles más común. Por su parte, al comparar las respuestas sobre la percepción de neurodatos, surgen diferencias significativas ( $\chi^2 = 60,76398, p < 0,05$ ) entre ambos grupos. Los participantes que calificaron los flujos de neurodatos en el lado bajo de la aceptabilidad son más negativos con respecto a la tecnología BCI, informan con más frecuencia de que no conciben un uso para ella y señalan la privacidad como una razón en mayor número que el grupo que califica los flujos de

neurodatos como aceptables (Ver Fig. 8). Este análisis pone de manifiesto la importancia de la privacidad y la utilidad como factores importantes para la aceptación.



**Figure 8: Biggest differences in neurotechnology attitudes for participants who consider neurodata flows as acceptable (on average) versus those who consider them unacceptable**

## 5 DISCUSIÓN

Esta sección analiza nuestros hallazgos con respecto al trabajo relacionado, identifica desafíos abiertos y recomendaciones para diferentes partes interesadas y presenta las limitaciones de nuestro estudio.

### 5.1 Actitudes en materia de privacidad: BCI frente a otras tecnologías

Como se menciona en Section 2.2, varios trabajos investigaron las percepciones de privacidad de los usuarios al recopilar y compartir datos mediante diferentes dispositivos. Ahora reflexionamos sobre los paralelos y diferencias con nuestros hallazgos.

El estudio de Apthorpe et al. para descubrir las normas de privacidad de los dispositivos IoT [3] reveló que compartir bajo el principio de dar consentimiento obtuvo los puntajes promedio de aceptabilidad más altos. Por el contrario, compartir datos recopilados por IoT sobre el usuario con fines publicitarios y compartirlos con agencias de inteligencia gubernamentales o cuentas de redes sociales obtuvo la puntuación más baja. En un segundo estudio, Apthorpe et al. [4] analizó las normas de privacidad de los padres cuyos hijos usan juguetes inteligentes de IoT, siguiendo el mismo enfoque con resultados similares.

Al comparar la demografía y los antecedentes de los participantes, sus resultados mostraron que los padres más jóvenes y los padres que poseen dispositivos inteligentes generalmente son más tolerantes, pero la educación tuvo una influencia mínima en las puntuaciones de aceptabilidad.

Nuestros hallazgos están alineados con estos resultados: el consentimiento es muy relevante para aceptar flujos de neurodatos (puntuación promedio de aceptabilidad más alta), y los "fines de marketing" son el factor que conduce a la aceptabilidad más baja. Compartir datos con agencias de inteligencia gubernamentales y redes sociales también se encuentra en el extremo inferior de la aceptabilidad. En cuanto a la demografía, al igual que [4], los adultos jóvenes están menos preocupados por compartir sus señales cerebrales, al igual que los propietarios de dispositivos portátiles.

Un hallazgo contrastante fue que nuestros participantes con títulos académicos avanzados mostraron una mayor disposición a compartir sus datos cerebrales. La razón podría estar relacionada con los casos de uso para los que imaginaron el uso de BCI, especialmente la investigación, que puede verse favorecida por este sector de la población.

En el ámbito de la realidad virtual, el trabajo de Adams et al. [2] abordó las percepciones de seguridad y privacidad de los usuarios y desarrolladores de la realidad virtual. La mayoría de los participantes en su estudio basado en entrevistas tenían preocupaciones sobre compartir datos de los numerosos sensores con el fabricante del dispositivo, lo cual también es una preocupación común para nuestros participantes con respecto a la tecnología BCI.

Con un alcance más amplio, Motti & Caine pretendía comprender las preocupaciones relacionadas con la privacidad de los usuarios de dispositivos portátiles [30], tanto para dispositivos montados en la muñeca (WMD) como relojes inteligentes y dispositivos montados en la cabeza (HMD), como gafas inteligentes y dispositivos AR/VR. En ambos casos, al igual que en nuestro estudio y en trabajos anteriores, los usuarios estaban preocupados por la falta de control y conciencia sobre el acceso a la información, siendo estas preocupaciones mayores en el caso de HMD. El estudio no proporcionó resultados específicamente para dispositivos EEG, por lo que nuestros resultados complementan esta línea de trabajo, reforzando la importancia de la conciencia y el consentimiento.

Además, los datos recopilados de los sensores de armas de destrucción masiva y de destrucción masiva (excluido el EEG) difieren significativamente en comparación con la información recopilada por los dispositivos EEG. Nuestro análisis cualitativo muestra que los participantes creen que se puede derivar una cantidad significativa de información sensible a partir de señales cerebrales recopiladas por BCI comerciales, especialmente relacionadas con estados mentales, lo que hace que la privacidad sea una gran preocupación.

Sobre un tipo diferente de sensor, Steil et al. [40] realizó una encuesta en varios países sobre las actitudes de privacidad hacia el seguimiento ocular. Una vez más, a los usuarios no les gusta el uso de datos para marketing. Curiosamente, este estudio también muestra una actitud positiva hacia los casos de uso de investigación y salud.

Finalmente, una observación única en nuestra encuesta es que la curiosidad es un fuerte impulsor que influye en la voluntad de utilizar BCI, incluso cuando se conocen todos los datos potenciales contenidos en los EEG. Por lo tanto, es importante concienciar a las personas sobre las ventajas y desventajas, para que puedan tomar decisiones plenamente informadas antes de adoptar la tecnología.

## 5.2 Lecciones aprendidas y desafíos abiertos

Nuestro análisis cualitativo revela un gran interés en la neurotecnología, pero también una preocupación con respecto a los propósitos de la recopilación de neurodatos y su uso. Los sentimientos de malestar, desconfianza y falta de control pueden obstaculizar la adopción de esta tecnología para casos de uso altamente beneficiosos. Además, aunque nuestros participantes demostraron intuición sobre lo que se puede extraer de las ondas cerebrales, una parte de los encuestados no sabían o solo informaron información vaga. Especialmente relevante es el bajo número de personas que creen

que los pensamientos y otras construcciones mentales específicas, como las imágenes (por ejemplo, lo que estamos viendo mientras usamos el BCI) pueden decodificarse a partir de señales cerebrales. Si bien la tecnología comercial aún no ha llegado a ese punto, no parece muy lejos considerando los recientes avances en IA. Sobre esta base, postulamos que los desarrolladores e investigadores deberían trabajar en el diseño de **mecanismos de transparencia** apropiados para comunicar a los usuarios de BCI cuáles son los datos recopilados y los riesgos de privacidad. Por ejemplo, ampliar la investigación sobre las etiquetas de privacidad nutricional [24] para dar cabida a la complejidad añadida por los neurosensores.

Otra línea de investigación futura a explorar es comprender la **alineación de las expectativas de privacidad de los usuarios con las prácticas actuales de la industria** seguidas por las empresas y servicios de neurotecnología. Este tipo de análisis sistemático identificaría el tamaño de la brecha actual y los puntos principales donde se requieren protecciones de la privacidad.

Otra investigación desafiante que debemos emprender en base a nuestros conocimientos es la exploración de **nuevos mecanismos de consentimiento** que van más allá de las políticas de privacidad inutilizables. Ya ineficientes en otros escenarios, podrían volverse aún más complejos al incluir cláusulas relacionadas con neurodatos. Si no surgen enfoques utilizables, corremos el riesgo de que los neurodatos se mercantilicen, fluyan y se compartan con otras piezas de información, y amenacen nuestra libertad y autodeterminación en una nueva medida.

Además, una de las principales lecciones aprendidas de nuestro estudio provino de la aplicación práctica de la metodología de encuesta de CI. En este proceso, observamos diferencias importantes en cómo los usuarios emiten juicios cuando califican los flujos de información. Específicamente, detectamos que el consentimiento está implícito y asumido por muchos evaluadores (alrededor de la mitad en nuestro estudio), lo que afecta la puntuación de aceptabilidad (inclinándose hacia valores más positivos). Si bien esto podría ser el resultado de estudiar una población (los europeos) que se ve influenciada por estar sujeta a la protección del RGPD durante varios años, es interesante observar que las interpretaciones de los principios pueden estar sesgadas. En base a esto, al utilizar este método, **recomendamos dar instrucciones claras a los encuestados de CI sobre cómo calificar los flujos**, o recopilar más información cualitativa sobre cómo toman decisiones. Esto respaldará una comprensión imparcial de la aceptabilidad de la privacidad. Otra recomendación es **realizar estudios transculturales** para comprender cómo las diferencias culturales y regionales impactan las percepciones de neuroprivacidad de los usuarios. Además, la encuesta de CI de neurodatos se puede ampliar con nuevos principios y destinatarios para investigar las percepciones de los usuarios con respecto a casos de uso novedosos o para verificar si las regulaciones actuales se alinean o violan las normas de privacidad de los usuarios, provocando cambios si es necesario.

## 5.3 Factores que influyen en la aceptabilidad de las BCI

Hemos descubierto que compartir señales cerebrales con fines médicos o académicos es generalmente más aceptable para las personas que compartirlas con agencias comerciales o gubernamentales. Es

probable que esto se deba a la confianza depositada en los profesionales e investigadores de la salud, así como a los posibles beneficios para la salud y el bienestar personal.

Los participantes muestran indecisión a la hora de compartir señales cerebrales con familiares, profesores y fabricantes de BCI, lo que puede deberse a múltiples factores. Una posible razón podría ser que los participantes no comprendan completamente las implicaciones de compartir sus datos con estas partes.

También es esencial reconocer que el nivel de conocimiento, la edad y la educación del BCI pueden afectar la disposición de las personas a compartir señales cerebrales. Por ejemplo, aquellos con títulos educativos más altos tienden a ser más favorables a compartir señales cerebrales con investigadores académicos, mientras que los grupos de mayor edad exhiben valores negativos más fuertes a la hora de compartir datos de BCI con diversas entidades, lo que sugiere mayores preocupaciones sobre la privacidad entre las personas mayores.

Además, se debe considerar cómo las diferencias culturales y regionales pueden afectar las percepciones de privacidad y confianza de los usuarios al compartir datos cerebrales.

Comprender los factores que influyen en la aceptabilidad de compartir señales cerebrales es otro aspecto crucial para desarrollar futuras aplicaciones y políticas de BCI que satisfagan las necesidades e inquietudes de los usuarios. Al abordar las preocupaciones sobre la privacidad y generar confianza en el manejo de datos confidenciales de BCI, podemos allanar el camino para una adopción e integración más amplia de la neurotecnología en diversos aspectos de nuestras vidas.

#### 5.4 Explorando la aceptabilidad de los principios de transmisión

Se encontró que los participantes estaban más abiertos a compartir datos de BCI cuando habían dado consentimiento verificable y revocable. Este hallazgo enfatiza la importancia del control y consentimiento del usuario en la aceptación de la tecnología BCI. Al permitir que los usuarios brinden su consentimiento informado y mantengan el control sobre sus datos, se puede fomentar la confianza en la tecnología BCI, aumentando potencialmente su adopción y aceptación. Además, se descubrió que los participantes estaban más inclinados a compartir datos si se mencionaba explícitamente que los datos no se utilizarían con fines de marketing. Esto sugiere que la transparencia y el uso específico de datos desempeñan un papel fundamental en la configuración de las actitudes de los usuarios hacia el intercambio de señales cerebrales.

En conclusión, comprender estas tendencias en la aceptabilidad de los principios de transmisión puede guiar el desarrollo de políticas y regulaciones centradas en el usuario en torno al intercambio de datos de BCI. Al abordar las preocupaciones sobre privacidad, consentimiento y uso de datos, los desarrolladores y formuladores de políticas pueden ayudar a crear un entorno que fomente la confianza en la tecnología BCI y fomente su adopción.

#### 5.5 Limitaciones

**Método.** Nuestro estudio, como cualquier investigación basada en encuestas, tiene la limitación de que las preguntas son autoinformadas. Usamos filtros de calidad (verificaciones de atención y mediciones de tiempo) para eliminar las malas respuestas.

**Muestra.** Reclutamos personas de países de la UE para brindar una perspectiva europea además de las perspectivas centradas en Estados Unidos que predominan en la literatura. Sin embargo, nuestra muestra no es representativa por país y solo podemos obtener información general del punto común de los usuarios que están familiarizados con las regulaciones GDPR. Esto debe tenerse en cuenta, ya que es posible que los resultados no se generalicen a otras poblaciones. Varios estudios evidenciaron diferencias en la sensibilidad a la privacidad entre ciudadanos de diferentes países, señalando a los europeos como los más preocupados por la privacidad [8, 45]. Estas diferencias son dinámicas, evolucionan con el entorno social y regulatorio y pueden influir en las puntuaciones de aceptabilidad otorgadas a los flujos de neurodatos.

**Análisis-IUIPC.** Aunque recopilamos IUIPC para investigar el impacto de las preocupaciones sobre la privacidad en las puntuaciones de aceptabilidad, las respuestas fueron proporcionadas predominantemente por usuarios con altos niveles de preocupación por la privacidad. La puntuación de 284 de 287 participantes se situó por encima de 3,5 en una escala Likert de 7 puntos, donde 1 indica *muy en desacuerdo* y 7 *muy de acuerdo*, siguiendo los métodos de análisis de Malhotra et al. [26]. Como resultado, no pudimos examinar el efecto potencial de diferentes actitudes de privacidad en la aceptabilidad de los flujos de neurodatos.

**Alcance.** Captamos las normas de privacidad de personas que en su mayoría no son usuarios (o incluso nunca han oído hablar) de la neurotecnología. Para obtener una visión más integral, sería interesante estudiar a los primeros en adoptar y a los grandes usuarios de BCI, analizando su proceso de toma de decisiones para adoptar la tecnología, sus patrones de uso y sus actitudes en materia de privacidad. De manera similar, nuestro estudio está limitado en el alcance del tipo de datos cerebrales que se analizan; elegimos señales cerebrales, pero sería interesante realizar más investigaciones sobre las preocupaciones sobre atributos específicos derivados de ellas y la combinación con otros datos de sensores.

### 6 CONCLUSIÓN

Las aplicaciones emergentes basadas en neurotecnología recopilan, comparten y analizan datos cerebrales sensibles, lo que genera preocupaciones sobre la privacidad. Hasta ahora, la investigación se ha centrado en aspectos éticos, ha especificado la necesidad de establecer nuevos derechos de privacidad e investigado posibles ataques a las BCI y contramedidas técnicas. En este trabajo, estudiamos la perspectiva de quienes se ven más directamente afectados por posibles violaciones de la privacidad en la neurotecnología: sus usuarios. Nuestro estudio subraya la importancia del propósito, el consentimiento y la transparencia con respecto a la neuroprivacidad. Nuestra colección de normas de privacidad puede servir como base para identificar brechas en las prácticas actuales de neuroprivacidad y apoyar a organizaciones, desarrolladores, formuladores de políticas, investigadores y defensores de la privacidad

para que contribuyan al avance de las neurotecnologías que respete la privacidad.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank the anonymous reviewers for their insightful feedback that helped us improve the paper. We also thank the students that supported us in setting up the study: Levi Kletetzka for executing the pilot, and Salman Shabbir, for collecting the final data.

## REFERENCES

- [1] [n. d.]. *Galea: Bringing next generation neurotechnology to mixed reality*. <https://galea.co>
- [2] Devon Adams, Alseny Bah, Catherine Barwulor, Nureli Musaby, Kadeem Pitkin, and Elissa M. Redmiles. 2018. Ethics Emerging: the Story of Privacy and Security Perceptions in Virtual Reality. In *Fourteenth Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS 2018)*. USENIX Association, Baltimore, MD, 427–442. <https://www.usenix.org/conference/soups2018/presentation/adams>
- [3] Noah Aporhorpe, Yan Shvartzshnaider, Arunesh Mathur, Dillon Reisman, and Nick Feamster. 2018. Discovering smart home internet of things privacy norms using contextual integrity. *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies* 2, 2 (2018), 1–23.
- [4] Noah Aporhorpe, Sarah Varghese, and Nick Feamster. 2019. Evaluating the Contextual Integrity of Privacy Regulation: Parents' IoT Toy Privacy Norms Versus COPPA. In *28th USENIX security symposium (USENIX security 19)*. 123–140.
- [5] Patricia Arias-Cabarcos, Thilo Habrich, Karen Becker, Christian Becker, and Thorsten Strufe. 2021. Inexpensive Brainwave Authentication: New Techniques and Insights on User Acceptance. In *30th USENIX Security Symposium (USENIX Security 21)*. USENIX Association, 55–72. <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity21/presentationgenaron/arias-cabarcos>
- [6] Richard A Armstrong. 2014. When to use the Bonferroni correction. *Ophthalmic and Physiological Optics* 34, 5 (2014), 502–508.
- [7] New York City Bar Association et al. 2005. Are your thoughts your own? Neuro-privacy and the legal implications of brain imaging. *New York: The Committee on Science and Law* (2005).
- [8] Steven Bellman, Eric J Johnson, Stephen J Kobrin, and Gerald L Lohse. 2004. International differences in information privacy concerns: A global survey of consumers. *The Information Society* 20, 5 (2004), 313–324.
- [9] Sergio López Bernal, Alberto Huertas Celdrán, Gregorio Martínez Pérez, Michael Taynnan Barros, and Sasitharan Balasubramaniam. 2021. Security in brain-computer interfaces: state-of-the-art, opportunities, and future challenges. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 54, 1 (2021), 1–35.
- [10] Rig Das, Emanuele Maiorana, and Patrizio Campisi. 2016. EEG biometrics using visual stimuli: A longitudinal study. *IEEE Signal Processing Letters* 23, 3 (2016), 341–345.
- [11] Emotiv Systems. 2023. Emotiv website. <https://www.emotiv.com/>. Accessed: 03/05/2023.
- [12] EU. 2016. General Data Protection Regulation. (2016). Available at: <https://gdpr-info.eu/> (accessed: 15.09.2022).
- [13] Nita A Farahany. 2023. *The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology*. St. Martin's Press.
- [14] Joseph L Fleiss, B Levin, and M Cho Paik. 1981. *Statistical methods for rates and proportions*. Vol. 1981218. New York: Wiley.
- [15] The Neurorights Foundation. 2023. Market Analysis NEUROTECHNOLOGY. <https://neurorightsfoundation.org/>. Accessed: 03/05/2023.
- [16] Mario Frank, Tiffany Hwu, Sakshi Jain, Robert T Knight, Ivan Martinovic, Prateek Mittal, Daniele Perito, Ivo Sluaganovic, and Dawn Song. 2017. Using EEG-based BCI devices to subliminally probe for private information. In *Proceedings of the 2017 on Workshop on Privacy in the Electronic Society*. 133–136.
- [17] Frances Grodzinsky and Herman T Tavani. 2010. Applying the “contextual integrity” model of privacy to personal blogs in the blogosphere. (2010).
- [18] Qiong Gui, Maria V Ruiz-Blondet, Sarah Laszlo, and Zhanpeng Jin. 2019. A survey on brain biometrics. *Comput. Surveys* 51, 6 (2019), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3230632>
- [19] Lorena Guzman H. 2022. UNESCO Website. <https://en.unesco.org/courier/2022-1/chile-pioneering-protection-neurorights>. Accessed: 03/05/2023.
- [20] Simon Hanisch, Patricia Arias-Cabarcos, Javier Parra-Arnau, and Thorsten Strufe. 2021. Privacy-Protecting Techniques for Behavioral Data: A Survey. *arXiv preprint arXiv:2109.04120* (2021).
- [21] Marcello Ienca and Roberto Andorno. 2017. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life sciences, society and policy* 13, 1 (2017), 1–27.
- [22] InteraXon. 2022. InteraXon Website. <https://choosemuse.com/>. Accessed: 03/05/2023.
- [23] Nader Karamzadeh, Yasaman Ardeshirpour, Matthew Kellman, Fatima Chowdhry, Afrouz Anderson, David Chorlian, Edward Wegman, and Amir Gandjbakhche. 2015. Relative brain signature: a population-based feature extraction procedure to identify functional biomarkers in the brain of alcoholics. *Brain and behavior* 5, 7 (2015), e00335.
- [24] Patrick Gage Kelley, Joanna Bressee, Lorrie Faith Cranor, and Robert W Reeder. 2009. A “nutrition label” for privacy. In *Proceedings of the 5th Symposium on Usable Privacy and Security*. 1–12.
- [25] Jingxin Liu, Hongying Meng, Asoke Nandi, and Maozhen Li. 2016. Emotion detection from EEG recordings. In *2016 12th international conference on natural computation, fuzzy systems and knowledge discovery (ICNC-FSKD)*. IEEE, 1722–1727.
- [26] Naresh K Malhotra, Sung S Kim, and James Agarwal. 2004. Internet users' information privacy concerns (IUIPC): The construct, the scale, and a causal model. *Information systems research* 15, 4 (2004), 336–355.
- [27] Anuradha Mandal and Nitesh Saxena. 2022. SoK: Your mind tells a lot about you: On the privacy leakage via brainwave devices. In *Proceedings of the 15th ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks*. 175–187.
- [28] Ivan Martinovic, Doug Davies, Mario Frank, Daniele Perito, Tomas Ros, and Dawn Song. 2012. On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces. In *21st USENIX Security Symposium (USENIX Security 12)*. 143–158.
- [29] Nick Merrill, Max T Curran, and John Chuang. 2017. Is the Future of Authenticity All In Our Heads? Moving passthroughs from the lab to the world. In *Proceedings of the 2017 New Security Paradigms Workshop*. 70–79.
- [30] Vivian Genaro Motti and Kelly Caine. 2015. Users' privacy concerns about wearables: impact of form factor, sensors and type of data collected. In *Financial Cryptography and Data Security: FC 2015 International Workshops, BITCOIN, WAHC, and Wearable, San Juan, Puerto Rico, January 30, 2015, Revised Selected Papers*. Springer, 231–244.
- [31] MyndPlay. 2023. MyndPlay website. <https://myndplay.com/>. Accessed: 03/05/2023.
- [32] Neurosky. 2015. Neurosky Website. <https://store.neurosky.com/pages/mindwave>. Accessed: 03/05/2023.
- [33] NeuroTechX. 2021. *The Neurotech Primer: A Beginner's Guide to Everything Neurotechnology*. Independently published.
- [34] Helen Nissenbaum. 2004. Privacy as contextual integrity. *Wash. L. Rev.* 79 (2004), 119.
- [35] Elizabeth O'Neill. 2022. Contextual integrity as a general conceptual tool for evaluating technological change. *Philosophy & Technology* 35, 3 (2022), 79.
- [36] Stefan Palan and Christian Schitter. 2018. Prolific. ac—A subject pool for online experiments. *Journal of Behavioral and Experimental Finance* 17 (2018), 22–27.
- [37] Qinwan Rabbani, Griffin Milsap, and Nathan E Crone. 2019. The potential for a speech brain-computer interface using chronic electrocorticography. *Neurotherapeutics* 16 (2019), 144–165.
- [38] Pan Shi, Heng Xu, and Yunan Chen. 2013. Using contextual integrity to examine interpersonal information boundary on social network sites. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 35–38.
- [39] Zuoting Song, Tao Fang, Jing Ma, Yuan Zhang, Song Le, Gege Zhan, Xueze Zhang, Shouyan Wang, Hui Li, Yifang Lin, et al. 2021. Evaluation and Diagnosis of Brain Diseases based on Non-invasive BCI. In *2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*. IEEE, 1–6.
- [40] Julian Steil, Inken Hagestedt, Michael Xuelin Huang, and Andreas Bulling. 2019. Privacy-aware eye tracking using differential privacy. In *Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*. 1–9.
- [41] Shravani Sur and Vinod Kumar Sinha. 2009. Event-related potential: An overview. *Industrial psychiatry journal* 18, 1 (2009), 70.
- [42] Yu Takagi and Shinji Nishimoto. 2022. High-resolution image reconstruction with latent diffusion models from human brain activity. *bioRxiv* (2022), 2022–11.
- [43] Jerry Tang, Amanda LeBel, Shailee Jain, and Alexander G Huth. 2022. Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings. *bioRxiv* (2022), 2022–09.
- [44] Zahra Tarkhani, Lorena Qendro, Malachy O'Connor Brown, Oscar Hill, Cecilia Mascolo, and Anil Madhavapeddy. 2022. Enhancing the security & privacy of wearable brain-computer interfaces. *arXiv preprint arXiv:2201.07711* (2022).
- [45] Sabine Trepte, Doris Teutsch, Philipp K Masur, Carolin Eicher, Mona Fischer, Alisa Hennhöfer, and Fabienne Lind. 2015. Do people know about privacy and data protection strategies? Towards the “Online Privacy Literacy Scale”(OPLIS). *Reforming European data protection law* (2015), 333–365.
- [46] Robert F Woolson. 2007. Wilcoxon signed-rank test. *Wiley encyclopedia of clinical trials* (2007), 1–3.

## A APPENDIX: OPEN DATA

The survey instrument, detailed demographics and further analysis material (statistical test results, codebook, heat maps) are available at <https://gitlab.com/hitsresearchgroup/neuroprivacy>.