

EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN NEUROCIENTÍFICA DEL EFECTIVO: REVISIÓN Y PERSPECTIVAS ACTUALES

2025

BANCO DE **ESPAÑA**
Eurosistema

Documentos Opcionales

N.º 2506

Laura Jimena González Gómez, Fernando León,
Jaime Guixeres Provinciale, José M. Sánchez
y Mariano Alcañiz

**EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN NEUROCIENTÍFICA DEL EFECTIVO: REVISIÓN
Y PERSPECTIVAS ACTUALES**

EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN NEUROCIENTÍFICA DEL EFECTIVO: REVISIÓN Y PERSPECTIVAS ACTUALES

Laura Jimena González Gómez

BANCO DE ESPAÑA

Fernando León

BANCO DE ESPAÑA

Jaime Guixeres Provinciale

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA CENTRADA EN EL SER HUMANO,
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

José M. Sánchez

BANCO DE ESPAÑA

Mariano Alcañiz

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA CENTRADA EN EL SER HUMANO,
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Documentos Ocasionales. N.º 2506

Abril 2025

<https://doi.org/10.53479/39505>

La serie de Documentos Ocasionales tiene como objetivo la difusión de trabajos realizados en el Banco de España, en el ámbito de sus competencias, que se consideran de interés general.

Las opiniones y análisis que aparecen en la serie de Documentos Ocasionales son responsabilidad de los autores y, por tanto, no necesariamente coinciden con los del Banco de España o los del Eurosistema.

El Banco de España difunde sus informes más importantes y la mayoría de sus publicaciones a través de la red Internet en la dirección <http://www.bde.es>.

Se permite la reproducción para fines docentes o sin ánimo de lucro, siempre que se cite la fuente.

© BANCO DE ESPAÑA, Madrid, 2025

ISSN: 1696-2230 (edición electrónica)

Resumen

En este documento, se analizan investigaciones recientes que utilizan métodos neurocientíficos para demostrar su potencial en el campo de la investigación del análisis de billetes. Se busca destacar la importancia y las posibilidades que ofrecen estas metodologías para mejorar la verificación de la autenticidad y el diseño del efectivo. En el informe se abarca la literatura clave de una variedad de dominios, incluyendo la neurociencia y la neurociencia del consumidor, para proporcionar conocimientos detallados sobre las herramientas de medición más importantes de la actualidad. Se analiza su valor teórico y empírico para evaluar cómo estas herramientas pueden complementar los métodos tradicionales de investigación. Hasta la fecha, el uso de herramientas de medición en el campo del efectivo es limitado, lo cual es sorprendente, dado el gran potencial que tienen para avanzar en la investigación. Los resultados indican que herramientas como la electroencefalografía, el seguimiento ocular o *eye tracking*, la conductancia de la piel, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la codificación de las expresiones faciales son cruciales para obtener información detallada sobre las respuestas neuronales y fisiológicas ante estímulos visuales y táctiles, lo que permite mejorar significativamente la autenticación y el diseño de los billetes. En el informe se ofrece un panorama comprensivo que permite vislumbrar el valor de adoptar el método neurocientífico y su complementariedad con métodos tradicionales de investigación. Además, se resalta la necesidad de integrar estas metodologías para obtener una comprensión más completa del comportamiento del consumidor y la percepción del efectivo. Esta integración no solo puede mejorar la seguridad y funcionalidad del efectivo, sino también fomentar una conexión emocional más fuerte con los usuarios y asegurar su relevancia en una sociedad en constante evolución. Las investigaciones futuras deben centrarse en expandir la aplicación de evaluaciones transculturales, también deben enfocarse en desarrollar prototipos de efectivo con características táctiles mejoradas y explorar la interacción entre estímulos vocales y táctiles en la autenticación de billetes. Finalmente, se debe continuar investigando la inclusión de personas con discapacidades visuales en los estudios de percepción del efectivo, implementando características táctiles específicas que faciliten la identificación de la autenticidad y promuevan la inclusión y usabilidad del efectivo.

Palabras clave: neurociencia, diseño, efectivo, percepción, psicología, señales fisiológicas.

Códigos JEL: D87, E42, O36.

Abstract

Recent research using neuroscientific methods is discussed to demonstrate their potential in the field of banknote analysis research. This study seeks to highlight the importance of these methodologies and the possibilities they offer to improve authenticity and cash design. The report covers key literature from a variety of domains, including neuroscience and consumer neuroscience, to provide detailed insights into the most important measurement tools today. Their theoretical and empirical value is analysed to assess how these tools can complement traditional research methods. To date, the use of measurement tools in the cash field has been limited, which is surprising given their great potential to advance research. The results indicate that tools such as electroencephalography (EEG), eye tracking (ET), skin conductance (SCR), heart rate variability (HRV) and facial expression coding (FC) are crucial for obtaining detailed information on neural and physiological responses to visual and tactile stimuli. The report provides a comprehensive overview with insights into the value of adopting the neuroscientific approach and its complementarity with traditional research methods. It also highlights the need to integrate these methodologies to gain a more complete understanding of consumer behaviour and cash perception. This integration can not only improve the security and functionality of cash, but also foster a stronger emotional connection with users, ensuring its relevance in an ever-changing society. Future research should focus on expanding the application of cross-cultural assessments, developing cash prototypes with enhanced tactile features and exploring the interaction between vocal and tactile stimuli in banknote authentication. Finally, research should continue to investigate the inclusion of people with visual impairments in cash perception studies by implementing specific tactile features that make it easier to determine the authenticity of cash and promote inclusion and usability.

Keywords: neuroscience, neurotool design, cash, perception, psychology, physiological signals.

JEL classification: D87, E42, O36.

Índice

Resumen 5

Abstract 6

1 Introducción 8

2 Metodología 11

2.1 Modo de realización del método 11

3 Avances en la investigación neurocientífica: una revisión de la situación actual 13

3.1 Herramientas de medida empleadas en la evaluación 15

3.2 Percepción visual y táctil en la comprensión de objetos e imágenes 17

3.3 Estudios de percepción del efectivo en entornos experimentales 21

4 Aportes de la psicología 25

5 Conclusiones 26

6 Mejoras potenciales 28

7 Líneas de investigación futuras 29

8 Glosario 31

Bibliografía 42

1 Introducción

Los estudios en neurociencia surgen con el objetivo de comprender el funcionamiento y la estructura del sistema nervioso desde distintas aproximaciones y mediante metodologías y técnicas diversas. Cada vez son más las disciplinas científicas que estudian las bases biológicas de la conducta —neuroeconomía, *neuromarketing*, neuropsicología, neuroeducación, neuroarquitectura, neurodiseño, neurociencia cognitiva, neurofisiología, neurociencia computacional—, para seguir avanzando en el conocimiento del cerebro, su actividad y su relación con el entorno.

En la última década, las investigaciones han adoptado metodologías basadas en la observación del cerebro, a través de tecnologías como la electroencefalografía (EEG) o la resonancia magnética funcional (fMRI), y las tecnologías de medición fisiológica, como el seguimiento ocular o *eye tracking* (ET), la conductancia de la piel (SCR), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y la codificación de las expresiones faciales (FC). Los conocimientos a los que se tiene acceso en la actualidad están en constante evolución; por tanto, el desarrollo de estas técnicas resulta ser cada vez más prometedor, puesto que permite obtener información más detallada y rigurosa del funcionamiento del cerebro y de las respuestas psicofisiológicas asociadas a los distintos procesos mentales implícitos, como la percepción, la memoria, la emoción, la atención y la motivación.

Las indagaciones en este ámbito se centran en resolver interrogantes, como ¿qué elementos visuales son más atractivos para el cerebro?, ¿qué emociones despiertan las interacciones con los productos?, ¿de qué manera influye el diseño en la toma de decisiones?, ¿cómo se valora un producto cerebralmente y cómo reacciona el cerebro ante nuevos diseños? Por tanto, las respuestas psicofisiológicas desempeñan un papel crucial en los comportamientos no conscientes, ya que el cuerpo reacciona de manera instintiva ante estímulos externos. Desde el aumento del ritmo cardíaco ante una experiencia emocionante hasta la dilatación de las pupilas frente a un producto atractivo; dichas respuestas fisiológicas pueden influir sutilmente en las preferencias y decisiones de las personas sin que estas sean plenamente conscientes de ello.

La comprensión de esta asociación entre lo físico y lo psicológico es fundamental a la hora de diseñar productos y estrategias más efectivas para captar la atención. Por tanto, la medición de la actividad cerebral y fisiológica y de sus respuestas perceptuales proporciona información valiosa para analizar, encontrar y desarrollar nuevas metodologías y métricas que permitan determinar nuevos paradigmas investigativos en campos nacientes donde pueden ser adoptadas estas tecnologías.

El análisis del efectivo basado en las herramientas de la neurociencia y en la medición de los diversos procesos fisiológicos y cognitivos que confluyen resulta ser un paradigma investigativo prometedor para conseguir que el efectivo en términos de diseño y seguridad sea más intuitivo y seguro, y coexista con los otros medios de pago utilizados en la actualidad.

La metodología para aplicar el neuroanálisis en el diseño del efectivo y de los elementos de seguridad destaca como técnica que puede capturar procesos mentales implícitos y no conscientes, como las emociones y las actitudes. Tradicionalmente, la evaluación de la percepción del efectivo se ha basado en respuestas explícitas obtenidas mediante cuestionarios y entrevistas. Sin embargo, el neuroanálisis permite una evaluación más profunda de los procesos cognitivos, incluyendo el interés visual, la atención, las emociones, la motivación y la carga mental. Esta metodología proporciona un criterio para tomar decisiones sobre los diseños del efectivo y los elementos de seguridad, que combina medidas explícitas tradicionales con técnicas neurométricas para determinar las configuraciones más adecuadas para el público (Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020).

El proyecto Neurocash, desarrollado y patentado por el Banco de España y el Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas (LabLENI), del Instituto Universitario de Investigación en Tecnología Centrada en el Ser Humano de la Universitat Politècnica de València, combina neurodiseño y tecnologías de análisis de datos avanzados para aplicar métodos neurocientíficos al desarrollo del efectivo, buscando crear una conexión emocional entre las personas y su moneda¹. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un efectivo que sea atractivo, identificable, y que sea utilizado con orgullo por los usuarios; intuitivo, con diseños y elementos de seguridad fácilmente reconocibles, y seguro, de modo que se dificulte su falsificación. La incorporación de tecnologías que miden el comportamiento humano y analizan las respuestas fisiológicas y neuronales inconscientes permite obtener datos más fiables sobre las preferencias de los usuarios, y evita sesgos externos. Además, los algoritmos basados en inteligencia artificial (IA) analizan estos datos para inferir indicadores neurométricos relacionados con las preferencias de los usuarios, así como el impacto visual, emocional y cognitivo de los diseños. Como resultado, Neurocash ofrece una forma innovadora de diseñar un efectivo que se adapta a las demandas y necesidades de la sociedad (Aroca, 2023).

Es crucial considerar la aplicación de un mayor número de proyectos de evaluaciones de percepción en el ámbito del análisis del efectivo, que abarquen diferentes poblaciones culturales. Además, se debe adaptar la metodología neurocientífica de manera versátil para obtener e interpretar nuevos tipos de datos. Estos datos permitirán la creación de nuevos prototipos de efectivo, donde lo estético y lo funcional se fusionen para crear una experiencia multisensorial que conecte emocionalmente a la población con el uso del efectivo.

La colaboración entre entidades para la investigación en neurociencia enfocada al estudio de la percepción del efectivo es crucial para avanzar en la comprensión y aplicación de estos conocimientos. Dicha colaboración permite realizar más investigaciones experimentales, lo que contribuye al crecimiento del conjunto de datos y proporciona una base más sólida para el análisis. Bancos centrales, instituciones académicas y organismos internacionales pueden unir sus esfuerzos y recursos para diseñar y ejecutar estudios que exploren cómo las personas perciben las características de seguridad y el diseño estético del efectivo, y cómo estas percepciones influyen en la capacidad de identificar su autenticidad.

¹ <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2020260735>

Por tanto, el presente escrito ha buscado determinar componentes teóricos y metodológicos que sustenten la investigación neurocientífica basada en la percepción del efectivo y el valor que aporta.

2 Metodología

Previamente a la revisión de artículos científicos, se abordaron y analizaron los siguientes aspectos, a través de la consulta de diversas fuentes de información:

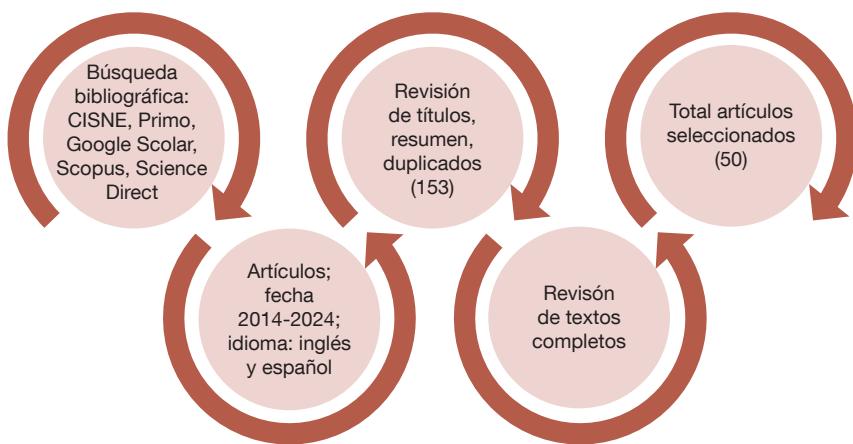
- ¿Cómo pueden aplicarse los principios de la neurociencia al análisis del efectivo? Esto incluye el estudio de la percepción y los procesos cerebrales involucrados en la identificación de características específicas de los billetes.
- Metodologías y herramientas más empleadas en investigaciones anteriores. Se incluyeron la EEG y la fMRI, y tecnologías de medición fisiológica como el ET, la SCR, la HRV y la FC.
- Revisión de literatura académica y científica relacionada con la percepción, la atención, la memoria y la emoción. Se buscaron estudios que hubieran investigado la respuesta cerebral ante estímulos como el efectivo.
- Estudio documental del contexto histórico sobre los primeros estudios de la percepción del efectivo y su evolución.
- Revisión de patentes y propiedad intelectual relacionadas con la investigación para comprender los aspectos legales relacionados con la propiedad intelectual.

2.1 Modo de realización del método

El propósito de este informe fue llevar a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva que permitiera identificar y analizar los estudios más relevantes sobre el comportamiento humano y la percepción de los billetes, utilizando metodologías avanzadas como el ET, la FC y la EEG, entre otras técnicas de medición psicofisiológica. A través de una búsqueda sistemática en plataformas académicas como CISNE, Primo, Google Scholar, Scopus y Science Direct, se trató de seleccionar artículos que aportaran información valiosa para comprender cómo diferentes estímulos afectan a las respuestas emocionales y cognitivas, con un enfoque particular en la percepción de elementos similares a los billetes.

El proceso de selección de artículos incluyó un riguroso filtrado basado en criterios específicos, como la fecha de publicación, el idioma y la relevancia del contenido en relación con el objetivo de la investigación. Este enfoque aseguró que los estudios incluidos en la revisión fueran los más pertinentes y actualizados, de modo que se pudiera construir una base sólida para el análisis y la discusión de los hallazgos. Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica utilizando las plataformas CISNE, Primo, Google Scholar, Scopus y Science Direct, empleando diferentes combinaciones de términos: «eye tracking; human behaviour», «facial coding; human behaviour», «electroencephalogram (EEG); physiological response», «voice; measures», «psychology; perception», «emotions; facial expression», «gesture behaviour tracking; emotion; facial expression» y «measures;

Diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda bibliográfica



FUENTE: Banco de España.

sensors neuroscience». Para estas combinaciones se utilizaron los operadores booleanos «AND» y «OR».

Los resultados obtenidos se basaron en el título, las palabras clave o el resumen de los artículos más relevantes para este informe. Posteriormente, se realizó una selección de los resultados para alinearlos con el objetivo del informe. Este proceso de filtrado siguió los siguientes pasos (véase esquema 1): Primero, se restringió la búsqueda a artículos publicados entre 2014 y 2024, en inglés y en español. Segundo, se revisaron los títulos y los resúmenes de los artículos, eliminando aquellos que no se ajustaban al objetivo o que estaban duplicados. Los artículos que generaban dudas se guardaron para un análisis más detallado. El repositorio utilizado para la conservación de los artículos fue Mendeley. Tercero, se llevó a cabo un análisis completo del texto de los artículos para determinar su inclusión. En la primera búsqueda, se obtuvieron 152 estudios.

Se implementó una segunda etapa de filtrado, limitando nuevamente por tipo de documento (artículo), fecha (2017-2024) e idioma (inglés y español). Este cribado adicional, basado en el título, el resumen y la eliminación de duplicados, dio como resultado 103 publicaciones. Finalmente, tras una revisión detallada de los artículos cuya relevancia generaba dudas, se seleccionaron 50 que se ajustaban al objetivo de la revisión. Adicionalmente, es importante precisar que se utilizaron referencias de libros y artículos de fechas anteriores a 2004 debido al valor y relevancia que aportaban al tema objeto de este informe. Asimismo, se cumplimentó una base de datos que permitió la organización y gestión de los registros bibliográficos.

3 Avances en la investigación neurocientífica: una revisión de la situación actual

El desarrollo científico de los últimos años se ha caracterizado por explicar los fenómenos humanos en términos de actividad cerebral y respuestas fisiológicas. En este contexto, comprender el comportamiento humano en diversas situaciones resulta sin duda interesante e intrigante. Es aún más fascinante cuando se logra interpretar las motivaciones inconscientes que hay detrás de la toma de decisiones y, como resultado, las conductas explícitas asociadas.

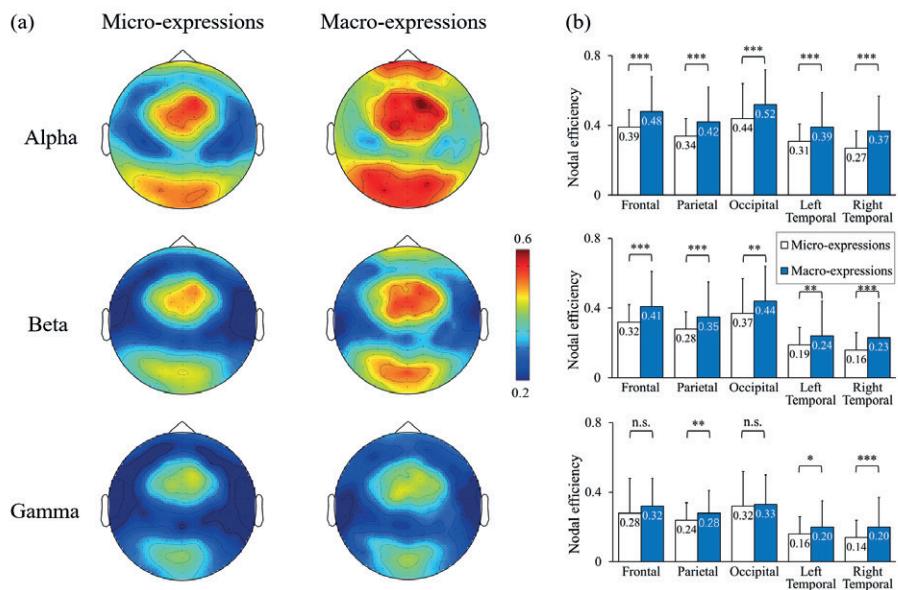
Actualmente existen muchos sistemas capaces de detectar, procesar y clasificar diversas señales de actividad cerebral, psicofisiológicas, expresiones faciales y voz, los cuales operan bajo exposición a estímulos específicos, y su objetivo es reconocer los procesos emocionales, perceptivos, de memoria, atención y motivación implícitos (Lee, Pei, Lin, Grammo y Liu, 2023). Estos sistemas se han dividido en dos categorías metodológicas principales: a) herramientas de imágenes cerebrales, como la EEG y la fMRI, y b) herramientas psicofisiológicas, como el ET y la SCR (Stanton et al., 2017, citado en Alsharif, Salleh y Baharun, 2021).

Las herramientas de imágenes cerebrales varían en su capacidad de medir la actividad de un área específica del cerebro y la capacidad de distinguir entre diferentes regiones del cerebro (Verhulst, De Keyser, Gustafsson, Shamps y Van, 2019). La EEG estudia, explora y analiza las respuestas neuronales de las personas hacia estímulos como anuncios, productos, marcas y precios (Hamkim y Levi, 2019; Stuldreher, Thammasan, Erp y Brouwer, 2020; Georgiadis, Kalaganis, Oikonomou, Nikolopoulos, Laskaris y Kompatsiaris, 2022). Se utiliza principalmente para investigar procesos afectivos y cognitivos (Verhulst et al., 2019).

Por su parte, el ET es considerada la herramienta fisiológica más popular para registrar los movimientos oculares, la atención, las fijaciones, los movimientos sacádicos y la dilatación de la pupila; estas respuestas fisiológicas son asociadas a los estímulos que evocan estados emocionales (Alsharif et al., 2021; Lee et al., 2023; Zhao et al., 2024; Ramsøy et al., 2017, citado en Hamkim y Levi, 2019; Stuldreher et al., 2020). Mientras tanto, la SCR registra indicadores compartidos de procesos cognitivos y afectivos relacionados con eventos específicos (Stuldreher et al., 2020; Baraybar et al., 2017; Gakhal y Senior, 2008; Petrescu et al., 2018; citados en Hamkim y Levi, 2019).

En el ámbito del reconocimiento de las expresiones faciales, diversos estudios han utilizado metodologías basadas en la EEG y la FC con el propósito de mejorar las tasas de reconocimiento de expresiones asociadas a emociones, puesto que el rostro humano es una fuente de información rica en canales no verbales con un poder predictivo bastante alto. Estudios de Ravaja et al. (2013) (citado en Cherubino et al., 2019) indicaron que la actividad del cigoto mayor, un músculo responsable de la sonrisa, puede servir como un buen predictor de decisiones cuando las personas miran una imagen fija. Asimismo, el estudio llevado a cabo por Zhao et al. (2024) proporcionó un indicador neurocientífico para el reconocimiento de microexpresiones utilizando características de eficiencia de nodos de redes cerebrales derivadas de señales de EEG.

Esquema 2
Red de eficiencia nodal



FUENTE: Zhao et al. (2024).

Diferentes estudios han mostrado la importancia de la información verbal en la FC, y han indicado que para categorizar una emoción las personas no solo se valen de datos obtenidos del propio rostro, sino también de la adecuación de la expresión de la palabra y su conocimiento conceptual asociado a algún tipo de emoción básica (Barret y Kensinger, 2010; Carroll y Russell, 1996; Goldberg, 1951; Knudsen y Muzekari, 1983; Munn, 1940; Patterson y Baddeley, 1977; Wallbott, 1988; citados en Gordillo, Lozano, López, Pérez, Arana y Mestas, 2013).

En un estudio realizado por Picard, Dacremont, Valentín y Giboreau (2003), se encontró evidencia de que la semántica relacionada con las experiencias táctiles es relevante para interpretar las dimensiones (liso, grueso, suave, áspero, duro) y para seleccionar escalas de adjetivos en tareas de calificación de dichas texturas.

Los estudios han dirigido la atención hacia las características de la voz y las expresiones lingüísticas que matizan el contenido de los actos comunicativos. La combinación entre la anatomía, la emoción y las respuestas fisiológicas se revela como un aspecto fundamental para comprender cómo se trasmiten los mensajes, ya que se modifican el tono y la entonación según el estado emocional y la categorización frente a los estímulos que se perciben. En este sentido, en la percepción de los estímulos, la interacción multisensorial desempeña un papel importante en las correlaciones y emparejamientos de las investigaciones.

Las técnicas de aumento de datos son esenciales para mejorar el reconocimiento de emociones en el habla, pero es crucial encontrar el tipo y la cantidad de aumentos de datos óptimos para maximizar su efectividad. Los experimentos muestran que diferentes estrategias de aumento de datos, como la extracción de fuente glotal y la eliminación de silencios, son más o menos efectivas según los datos sean dependientes o independientes del hablante. Los resultados destacan la necesidad de elegir cuidadosamente la técnica de aumento de datos adecuada para cada condición específica para lograr el mejor rendimiento en el reconocimiento de emociones en el habla (Atmaja y Sasou, 2022).

3.1 Herramientas de medida empleadas en la evaluación

En el esquema 3, se visualizan las herramientas de medida empleadas en la evaluación neurocientífica; asimismo, en el cuadro 1 se describen los principales indicadores y las señales empleadas para el análisis de las respuestas comportamentales y psicológicas que muestran las personas ante la presencia de estímulos. Estas herramientas, que incluyen desde el rastreo ocular hasta el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, permiten una comprensión detallada de cómo los individuos procesan diferentes estímulos y reaccionan ante ellos.

Indicadores como el índice de discriminabilidad y el tiempo de respuesta, junto con medidas psicofisiológicas como la respuesta de conductancia de la piel y los potenciales

Esquema 3

Tipos de medidas en estudios neurométricos

EXPLICIT



QUESTIONNAIRE



DECISION

IMPLICIT

HUMAN BEHAVIOUR



EYE
TRACKING



FACIAL
CODING



GESTURE
BEHAVIOUR
TRACKING



VOICE

PHYSIOLOGICAL RESPONSE



ELECTROENCEPHALOGRAM (EEG)



SKIN CONDUCTANCE RESPONSE (SCR)
HEART RATE VARIABILITY (HRV)

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 1

Tipos de medidas en estudios neurométricos

Explícitos	
Cuestionario	Escala SAM, test de estrategias cognitivo-emocionales (Hernández, 2010)
	Desarrollo de cuestionarios y test de aptitudes y percepciones basados en los objetivos de la investigación
Decisión	
	El tiempo que transcurre entre inspeccionar y decidir. La decisión puede estar marcada por la identificación de la denominación de un billete, si es genuino o falso (Dodgson y Raymond, 2022)
	La cantidad de aciertos cuando un estímulo ha sido identificado (Dodgson y Raymond, 2022; De Heij, 2015)
Implícitos	
Comportamiento humano	
Seguimiento ocular (eye tracking, ET)	Movimientos sacádicos, tiempo de fijación, atención visual (Goldstein y Brockmole, 2016; Kellman y Arterberry, 2018). Mapa de calor de la imagen (Cheng et al., 2020; Hua, Ni y Lu, 2023). Los movimientos oculares, la atención, las fijaciones, los movimientos sacádicos y la dilatación de la pupila por causas emocionales (Alsharif et al., 2021; Lee et al., 2023; Zhao et al., 2024; Ramsøy et al., 2017, citado en Hamkim y Levi, 2019; Stuldreher et al., 2020)
	Prominencia visual: seguimiento ocular mediante <i>crowdsourcing</i> (Cheng et al., 2020), enfoques de arriba abajo y de abajo arriba (Pang, Jiang, Wu y Ju, 2020)
Codificación de las expresiones faciales (FC)	Microexpresiones y macroexpresiones: alegría y tristeza (Zhao et al., 2024)
Voz	La voz se convierte en texto y se codifica la emoción de las palabras y frases utilizadas (Cambria et al., 2016)
Comportamiento gestual (GBT)	Cantidad de gestos realizados ante la presentación de un estímulo (Goldstein y Brockmole, 2016; Kellman y Arterberry, 2018)
Respuesta psicológica	
Electroencefalograma (EEG)	Aproximación (motivación) y evitación en relación con estímulos, esfuerzo mental y compromiso (Baurley et al., 2014; Khasnobish, Datta, Bose, Tibarewala y Konar, 2017; Alsuradi, Park y Eid, 2020; Eldeeb, Weber, Ting, Demir, Erdogmus y Akcakaya, 2020; Georgiadis et al., 2022)
Conductancia de la piel (SCR)	Cambios fisiológicos producidos por la presentación de un estímulo a nivel de respuesta (Goldstein y Brockmole, 2016; Kellman y Arterberry, 2018)
Variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV)	Activación de los sistemas simpático y parasimpático frente a la presentación de un estímulo (Goldstein y Brockmole, 2016; Kellman y Arterberry, 2018)

FUENTE: Banco de España.

relacionados con eventos (ERP), ofrecen una visión integral de los procesos cognitivos y emocionales subyacentes. Además, la utilización de tecnologías avanzadas como la EEG y el análisis de la expresión facial facilita la identificación de patrones específicos de actividad cerebral y expresiones emocionales, proporcionando datos valiosos para el diseño y evaluación de productos que buscan optimizar la experiencia del usuario. En conjunto, estas metodologías permiten una evaluación precisa y robusta de la interacción humano-producto, y son esenciales para el desarrollo de estrategias que mejoren la aceptación y usabilidad de los diseños evaluados.

Las metodologías anteriormente expuestas son emparejadas con modelos matemáticos, geométricos y estadísticos, para la obtención de datos que, a su vez, son analizados e interpretados a través de índices que miden su fiabilidad y validez. En el cuadro 2 se describen los índices más empleados en investigación neurocientífica.

Cuadro 2

Indicadores cognitivos empleados en la investigación neurocientífica

Carga de trabajo	Nivel de demanda cognitiva inducida por una tarea específica (Cherubino et al., 2019)
Atención y memoria	Las formas y los colores son componentes procesados por el cerebro en forma de estímulos visuales y el cerebro los deconstruye en sus elementos constitutivos, fundamentales para la atención: filtros de prominencia o de abajo arriba, control de arriba abajo, selección visual competitiva, memoria de trabajo (Cherubino et al., 2019; Dodgson y Raymond, 2019)
Procesamiento emocional	Las emociones van acompañadas de reacciones (corporales) que están parcialmente fuera del control del individuo. Estas reacciones autónomas incluyen expresiones faciales (p. ej., sonreír y fruncir el ceño) y reacciones fisiológicas (p. ej., sudar) causadas principalmente por cambios en el sistema nervioso autónomo. Por tanto, el seguimiento de actividad autónoma como la frecuencia cardíaca (HRV) y la conductancia de la piel (SCR) permite evaluar el estado emocional ante un estímulo (Cherubino et al., 2019; Baurley et al., 2014)
<i>Engagement</i>	Se refiere a la vinculación, implicación, compromiso, pasión, entusiasmo, esfuerzo y energía (Salanova y Schaufeli, 2009; Carrasco González, De la Corte y León Rubio, 2010)

FUENTE: Banco de España.

3.2 Percepción visual y táctil en la comprensión de objetos e imágenes

Entre las diversas capacidades sensoriales, el sentido del tacto desempeña un papel crucial en el reconocimiento de objetos y de sus texturas (Faucheu, Weiland, Juganaru-Mathieu, Witt y Cornuault, 2019). Aunque en gran medida la visión puede ser suficiente para reconocer objetos, el sentido del tacto, ya sea de forma independiente o en combinación con la visión, puede contribuir a una discriminación completa y precisa de los objetos (Klatzky y Lederman, 2014). También resulta ser una dimensión crucial de la experiencia del usuario en el diseño (Sinico, 2023).

Diversos objetos generan distintos patrones de respuesta en las regiones somatosensoriales del cerebro humano cuando se exploran táctilmente (Burton, Abend, MacLeod, Sinclair, Snyder y Raichle, 1999). Por lo tanto, como se ha demostrado en varios estudios, es posible reconocer objetos analizando las señales cerebrales a través de la EEG durante la percepción táctil (Dornhege, 2007; Sanei y Chambers, 2008; James et al., 2007; Martinovic et al., 2012; Pal et al., 2014, y Gohel et al., 2016; citados en Khasnobish et al., 2017; Eldeeb et al., 2020; Alsuradi et al., 2020). Bajo la premisa anterior, el estudio llevado a cabo por Khasnobish et al. (2017) propuso y validó la hipótesis de que los textos tridimensionales (en relieve) pueden reconocerse mediante el análisis de señales de EEG evocadas táctilmente.

En el estudio llevado a cabo por Eldeeb et al. (2020) se presentaron 18 condiciones diferentes: combinación de movimiento (frotar, golpear), frecuencia de movimiento (2, 1 y 0,5 Hz, lento, medio, rápido), tres niveles de texturas (superficies de árboles lisas, medianamente rugosas y rugosas). Los resultados del estudio mostraron que las características de la EEG basadas en las potencias totales en las bandas de frecuencia mu (8-15 Hz) y beta (16-30 Hz) permitieron la clasificación de texturas independientemente del tipo de movimiento y las condiciones de frecuencia con una precisión muy alta en una sola prueba. La precisión aumentó con una menor frecuencia de movimiento de interacción y a media que aumentaba la rugosidad de la superficie. Esto indica que mediante la EEG es posible clasificar diferentes texturas con el tacto activo.

**A**

El participante está tocando la textura montada en el transductor de fuerza

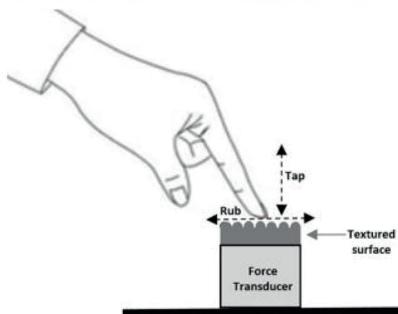
**B**

Diagrama esquemático que muestra las condiciones del movimiento de tocar y frotar

FUENTE: Eldeeb et al. (2020).

Las investigaciones señalan que, aunque las modalidades sensoriales son diferentes, el cerebro emplea estrategias similares para manejar la atención en las redes de atención táctil y visual. Ambas redes requieren elegir estímulos relevantes y ajustar la actividad cerebral para mejorar el procesamiento sensorial (Burton et al., 1999).

Por otro lado, Yanagisawa y Takatsuji (2015) señalaron que las expectativas visuales pueden tener un impacto significativo en la percepción táctil, resaltando la relevancia del contraste y la asimilación. La rugosidad, rigidez y adherencia son características clave que afectan a la calidad percibida del tacto (Ballesteros, 1993; Faucheu et al., 2019; Summers, Irwin y Brady, 2022). El método propuesto permite a los diseñadores e investigadores identificar combinaciones visuales y táctiles óptimas para mejorar la percepción de la textura de los productos. Este enfoque puede ser valioso en el diseño de productos al crear texturas superficiales que generen sensaciones táctiles específicas y mejoren la experiencia del usuario.

En los últimos años, en la neurociencia visual se han introducido métodos de detección basados en la prominencia visual para simular el mecanismo biológico de atención visual. La prominencia visual se refiere a la capacidad de procesar automáticamente áreas de interés en una imagen, ignorando selectivamente las áreas no relevantes. Se ha demostrado que los atributos visuales, como el brillo y el color, influyen significativamente en la ubicación

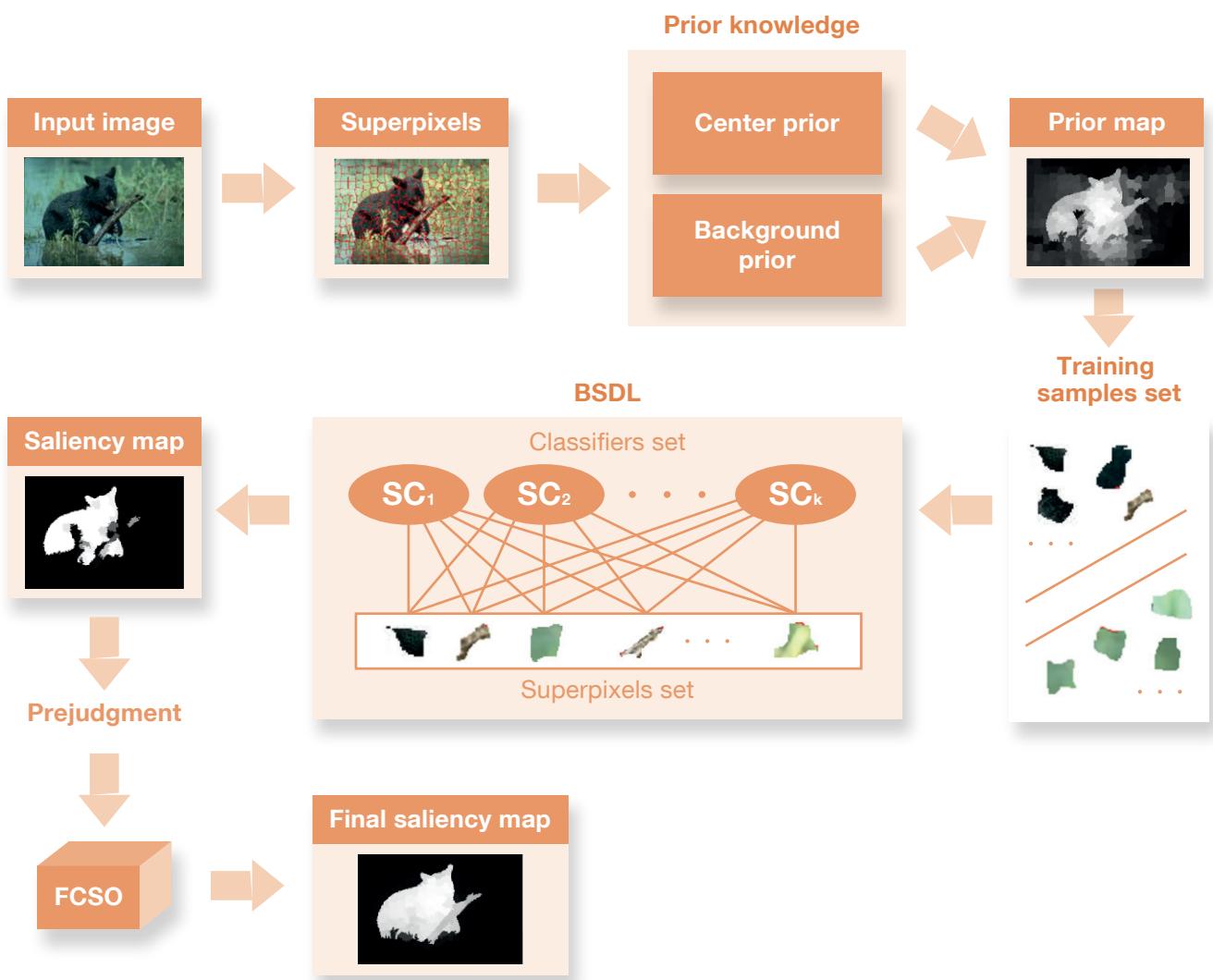
y duración de las fijaciones oculares. Estos atributos determinan qué elementos de una escena compleja captan la atención de los consumidores. Los elementos más destacados visualmente son fijados y mirados durante más tiempo que los menos destacados (Zhang, Malmberg y Sclaroff, 2019; Zhang, Li, Zeng y Lu, 2021).

En este contexto, la prominencia visual se asocia a cómo de destacable es un producto en comparación con otros, basándose en atributos visuales como el brillo, el color y el contraste. La prominencia visual puede llevar a sesgos en la toma de decisiones, ya que los productos visualmente más destacados reciben más atención y, por lo tanto, son percibidos como más valiosos o preferibles. Este efecto se ha observado en estudios neuroeconómicos donde se muestra que los estímulos que reciben más atención tienden a recibir calificaciones más altas en cuanto a agrado y es más probable que sean elegidos (Zhang et al., 2019; Zhang et al., 2021).

En un diseño experimental compuesto por tres experimentos de elección de alimentos, los participantes realizaron elecciones rápidas entre pares de alimentos, manipulando tanto la preferencia relativa como la prominencia visual de los productos. Se utilizaron diferentes duraciones de exposición visual y condiciones de carga cognitiva para medir el efecto de la prominencia visual. Resultado del experimento 1: Se encontró que la prominencia visual influye en las elecciones más que las preferencias cuando las decisiones deben tomarse rápidamente. Resultado del experimento 2: Este sesgo aumenta bajo condiciones de alta carga cognitiva. Resultado del experimento 3: La prominencia visual tiene un impacto significativo cuando las preferencias entre las opciones no son fuertes (Milosavljevic, Navalpakkam, Rangel y Koch, 2012).

Por su parte, Cheng, Fan y Hu (2020) presenta un innovador modelo de prominencia visual que utiliza datos de seguimiento ocular recopilados mediante *crowdsourcing*, integrando redes neuronales profundas para mejorar la precisión y escalabilidad de la predicción de atención visual. Los experimentos demostraron que la precisión de los datos de la mirada alcanzó un ángulo visual de 1°, superando otros métodos existentes en un 3,6 %. El modelo mostró un aumento del 44,8 % en la precisión de predicción tras ser entrenado con estos datos, y de su aplicación en el diseño web resultó una mejora del 8,2 % en las calificaciones de los diseños revisados. Este enfoque no solo ofrece una solución más eficiente y precisa para la predicción de la prominencia visual, sino que también tiene aplicaciones prácticas en el diseño visual y en la evaluación de interfaces de usuario (Genevsky, Yoon y Knutson, 2017; Cheng et al., 2020).

En el esquema 5, Pang et al. (2020) presenta un marco innovador para la detección de la prominencia visual, en el que combina los beneficios de los enfoques de arriba abajo y de abajo arriba, logrando una detección más precisa y eficiente. El modelo segmenta las imágenes en superpíxeles, genera mapas previos mediante la integración de antecedentes y centra el aprendizaje en la distribución de la prominencia, determinando la confiabilidad de las predicciones de prominencia para cada superpíxel. Los resultados experimentales demuestran que este método es eficaz incluso en imágenes complejas, y que supera a otros métodos en diversas situaciones (Pang et al., 2020).



FUENTE: Pang et al. (2020).

Hua et al. (2023) propone la reutilización del color en el diseño de productos a partir de imágenes animadas, con un método que combina tecnología de seguimiento ocular y algoritmos de redes neuronales. El estudio identifica dos enfoques: uno que mapea esquemas de color de productos referenciando estilos de color de imágenes planas, y otro basado en la semántica del color. Utilizando seguimiento ocular, se capturan puntos de interés en imágenes animadas y se extraen colores relevantes, que luego se optimizan mediante un perceptrón multicapa (MLP) para diseñar productos infantiles. Los resultados demuestran que este método permite una conversión efectiva de colores de imágenes animadas a productos, mejorando la satisfacción del consumidor y las decisiones de compra. Este enfoque innovador amplía las fuentes de color para el diseño de productos.

La percepción visual y táctil desempeña roles complementarios y esenciales en la comprensión de objetos e imágenes. La capacidad del tacto para discernir texturas y

características físicas específicas, combinada con la habilidad de la visión para captar atributos, permite una discriminación más completa y precisa de los objetos. La prominencia visual, influenciada por elementos como el brillo y el color, desempeña un papel crucial en la atracción de la atención y la toma de decisiones, y afecta a la percepción del valor y a la preferencia de los productos (Botvinick y Cohen, 1998). Estudios recientes han demostrado que la integración de datos táctiles y visuales, así como el uso de redes neuronales profundas y técnicas de aprendizaje automático, puede mejorar significativamente la precisión y la eficiencia en la detección de la prominencia visual, lo que ofrece valiosas aplicaciones prácticas en el diseño de productos y la evaluación de interfaces de usuario (Cheng et al., 2020; Pang et al., 2020).

3.3 Estudios de percepción del efectivo en entornos experimentales

La evidencia científica derivada de los estudios experimentales en diferentes campos de aplicación demuestra la importancia de aplicar las metodologías basadas en análisis de la actividad cerebral y psicofisiológicas en contextos donde la actividad humana tiene lugar. En este sentido, bancos centrales de todo el mundo han llevado a cabo investigaciones experimentales sobre la percepción de los billetes, para determinar cómo son percibidas las funcionalidades de las características de seguridad y cómo afectan a la identificación de las falsificaciones, cómo, en términos de estética, el diseño puede generar impacto en la percepción con respecto a la integración de la imagen y las características de seguridad, y cómo a través de modelos matemáticos y de aprendizaje automático se puede innovar en la autenticación de billetes genuinos o falsos y encontrar el método más eficaz para verificar su autenticidad (Gangula et al., 2023; Ferrero y Montrucchio, 2024; Nasayreh et al., 2024; Sijian, 2024).

La autenticación es un proceso cognitivo importante que se utiliza para determinar si la identificación inicial de un objeto está corroborada por información sensorial adicional (Wang et al., 2021; Dodgson y Raymond, 2022). En este proceso cognitivo de autenticación se activan dos funciones principales: reconocimiento del valor y manipulación (De Heij, 2015). Por consiguiente, el sistema visual y háptico desempeña un papel crucial sobre la manera en que son percibidos los billetes y sus características.

El procesamiento visual produce la información esencial para diferenciar lo genuino de lo falso. Los resultados de los estudios de Dodgson y Raymond (2022) revelaron que durante la autenticación de un billete se desarrollan una serie de señales neuronales en cascada; muy rápidamente, después de ver el billete, la información sensorial que diferencia lo falso de lo genuino se codifica y, luego, los procesos neuronales interpretan esta señal sensorial temprana, que contribuye a emitir el juicio de autenticación. Asimismo, se logró evidenciar que las decisiones de autenticación de billetes auténticos se toman más rápidamente que las de billetes falsos.

La investigación presentada por Raymond (2017) examinó la identificación de falsificaciones en un conjunto de 200 individuos del público general, para explorar la autenticidad de los billetes utilizando el sentido del tacto. Se utilizó un billete de muestra

específicamente diseñado y producido para este propósito. Este billete presentaba impresión calcográfica en ambas caras, pero carecía de marca de agua, hilo de seguridad u otros elementos de protección. Los billetes fueron diseñados e impresos utilizando tecnología estándar de la industria de billetes.

Los hallazgos sugieren que los individuos que utilizaron sus dedos de forma exploratoria al inspeccionar el nuevo billete al inicio del estudio obtuvieron mejores resultados en la tarea de autenticidad que aquellos que no lo hicieron. Esto no solo sugiere que los programas de educación pública deben fomentar la exploración táctil como método de autenticación, sino que también respalda firmemente el uso de señales táctiles que son difíciles de falsificar (como, por ejemplo, el grabado calcográfico). En este sentido, el tacto desempeña un papel fundamental en la evaluación de la autenticidad de este billete de muestra (Raymond, 2017).

Otro estudio realizado por Raymond y Jones (2019) consistió en determinar cómo los movimientos oculares se emplean para buscar información visual durante la autenticación de objetos complejos. Para investigar esto, se examinaron tanto la distribución como la secuencia de las fijaciones oculares durante una tarea repetitiva y acelerada de autenticación de billetes. Esta tarea involucraba billetes de baja denominación, tanto genuinos como falsificados, recuperados forensemente.

El estudio buscó determinar si las fijaciones oculares se distribuyeron indiscriminadamente en la superficie del billete, si se dirigieron intencionalmente a elementos de seguridad difíciles de falsificar o si fueron capturadas por características sensoriales del billete. Además, se exploró si el control sobre los movimientos oculares es fundamental para la autenticación de objetos (Raymond y Jones, 2019).

Los hallazgos respaldan la idea de que la búsqueda visual durante la autenticación combina procesos estratégicos y automáticos, y que el rendimiento en la autenticación depende del control activo y estratégico de las fijaciones. Como grupo, la mirada se dirige primero al retrato que hay en el billete; después, realiza un control estratégico más débil para priorizar la búsqueda en el área del holograma; finalmente, lleva a cabo una búsqueda más amplia de otras áreas del holograma, según el análisis de los patrones de escaneo (Raymond y Jones, 2019).

En resumen, los individuos que logran un alto nivel de éxito en la autenticación de billetes tienden a enfocar su mirada en áreas que se sabe que contienen pistas útiles para la autenticación, mientras que evitan las áreas menos informativas. Por otro lado, aquellos con menos éxito en la autenticación tienden a explorar de manera más aleatoria toda la superficie del billete. Esta nueva explicación de cómo se utiliza la orientación visual para respaldar la autenticación no solo tiene un impacto en el diseño de billetes, especialmente en lo que respecta a retratos y elementos de seguridad, sino que también enfatiza la importancia de controlar conscientemente los movimientos de los ojos al hacer juicios precisos sobre objetos (Raymond & Jones, 2019).

Horst, Miedema, Snell y Theeuwes (2020) y Horst, Snell y Theeuwes (2020) llevaron a cabo dos experimentos de campo en los que evaluaron la capacidad de expertos y público general para detectar billetes en euros falsificados utilizando la percepción visual, táctil o ambas. El principal hallazgo de este estudio fue que la información visual impacta principalmente en el proceso de toma de decisiones en un primer vistazo, mientras que la información táctil ayuda cada vez más al rendimiento, a medida que continúa acumulándose en el tiempo.

En el experimento llevado a cabo por Giuliani, Manippa, Brancucci, Tommasi y Pietroni (2018), se indicó que, en la percepción visual, las asimetrías izquierda-derecha ayudan a descifrar los procesos numéricos y emocionales que pueden estar implicados en la percepción de los billetes. Se puso a prueba el reconocimiento de billetes de 5 € y 100 € presentados en los campos visuales izquierdo y derecho. Los resultados indicaron que el billete de 100 € se identifica más rápido que el billete de 5 € en el campo visual derecho, mientras que no se observa diferencia en el campo visual izquierdo. El resultado se interpretó como efecto de la coincidencia entre la valencia positiva que el billete de 100 € transmite y el lado en el que se mapea (derecho positivo). Este hallazgo se considera como evidencia para un reconocimiento de los billetes basado en la valencia.

Manippa, Giuliani, Brancucci, Tommasi, Palumbo y Pietroni (2021) indicaron que la percepción afectiva de los billetes en euros (en términos de valencia, excitación y familiaridad) varía según su valor nominal y está influenciada por factores como el género, el estatus socioeconómico y la actitud subjetiva hacia el dinero (medida por el puntaje de Amor al Dinero, LoM). Los resultados de la investigación indicaron que tanto la valencia como la excitación aumentan de manera logarítmica con el valor nominal de los billetes, mientras que la familiaridad disminuye con valores más altos. Estos hallazgos resaltan la importancia de estudiar estas variables para comprender mejor los sesgos relacionados con el dinero y los comportamientos económicos anormales.

Por otro lado, los billetes, a pesar de que representan de manera explícita una cantidad numérica, podrían no necesitar obligatoriamente un procesamiento numérico para ser identificados. Esto permite deducir que el estado emocional que un billete comunica está codificado y trazado en el espacio horizontal antes que cualquier otra característica del estímulo (Giuliani et al., 2018).

En el estudio realizado por Horst, Snell y Theeuwes (2021), se integró el diseño del billete con su funcionalidad en las hipótesis de la investigación. Estas hipótesis indicaban que, en presencia de una figura destacada dentro de un elemento de seguridad del billete, las falsificaciones se detectarían mejor cuando la ubicación de la figura destacada estuviera alineada con la ubicación del elemento de seguridad falsificado. En otras palabras, la figura destacada actuaría como una señal de atención.

Además, se postuló que este efecto sería más fuerte cuanto menor fuera la confianza del observador. Los hallazgos sugieren que los elementos de diseño destacados pueden ayudar significativamente en la detección de los billetes falsificados. Este efecto de

indicación también se observó en medidas de sensibilidad perceptiva, como la precisión. Además, dado que los bajos niveles de confianza tuvieron un impacto positivo en la autenticación, se argumenta que el público general se beneficiaría de una mayor conciencia sobre la existencia de billetes falsos (Horst et al., 2021).

Con respecto a estudios realizados en lo concerniente a las características de tamaño, color y diseño de los billetes, Ojedo y Macizo (2023) indicaron que el diseño es la característica más ardua de procesar en comparación con el tamaño y el color. Esta observación estaría respaldada por el hecho de que, de manera general, las personas tienen mayor facilidad para la percepción global de los estímulos visuales que para la percepción local.

Un aspecto crucial en este ámbito es la inclusión y accesibilidad de las personas con discapacidad visual, especialmente en su interacción con el dinero en efectivo. En este contexto, es esencial un diseño que incorpore características eficaces que faciliten la identificación de la autenticidad del efectivo. Por ejemplo, la implementación de variaciones en la longitud entre denominaciones adyacentes y la inclusión de marcas táctiles en billetes de algodón y polímero, características que ya se encuentran presentes en algunos billetes a escala mundial. La correcta funcionalidad de estas características y su uso sencillo sin necesidad de formación previa han demostrado ser beneficiosos para su rápida identificación (Banco de México, 2021).

4 Aportes de la psicología

La investigación neurocientífica ha avanzado considerablemente en la comprensión de la percepción y autenticación del efectivo, utilizando herramientas avanzadas como la EEG, la FC, el comportamiento gestual (GBT) y la SCR. Estas tecnologías han permitido obtener información detallada y precisa sobre las respuestas neuronales y fisiológicas a diversos estímulos visuales y táctiles, lo que es crucial para diseñar un efectivo más seguro. Sin embargo, para obtener una visión más completa del comportamiento del consumidor, es esencial complementar estas herramientas con métodos psicológicos.

Desde el campo de la psicología, la estandarización y validación de pruebas psicológicas pueden enriquecer la investigación neurocientífica y proporcionar datos cuantitativos y cualitativos sobre las actitudes, emociones y comportamientos de los consumidores en relación con el efectivo. Ello permite correlacionar estos datos con las mediciones neurocientíficas para obtener una comprensión más holística y precisa.

La implementación de estudios piloto y análisis factorial confirmatorio asegurará la fiabilidad y validez de estas pruebas, mientras que la evaluación de la validez convergente y discriminante, junto con la fiabilidad test-retest, garantizará su consistencia temporal y su precisión. La integración de estas pruebas con herramientas neurocientíficas mediante la sincronización de datos y análisis multimodal permitirá una interpretación más rica y contextualizada de los hallazgos, proporcionando puntos de vista valiosos para mejorar el diseño y la seguridad del efectivo.

Adicionalmente, conviene diseñar campañas de sensibilización e intervenciones educativas basadas en teorías psicológicas sobre el uso y las medidas de seguridad del efectivo para edades tempranas, puesto que la predisposición al uso aumenta a medida que disminuye la edad.

La colaboración entre neurociencia y psicología proporciona un enfoque multidisciplinario robusto que mejora significativamente nuestra comprensión de la percepción del efectivo.

5 Conclusiones

Las conclusiones que se presentan a continuación subrayan la importancia de continuar investigando y desarrollando enfoques multidisciplinarios que mejoren la seguridad, el diseño y la percepción del efectivo, y aseguren su relevancia y funcionalidad en una sociedad en constante evolución:

- La investigación neurocientífica ha revelado que **el uso de tecnologías avanzadas como la EEG, el ET, la FC, el GBT y la SCR** permite obtener **información detallada sobre las respuestas neuronales y fisiológicas a diversos estímulos visuales y táctiles**. Esto resalta la importancia de estas herramientas para mejorar la comprensión de cómo los usuarios perciben y autentican el efectivo.
- **La percepción multisensorial es crucial en la autenticación y valoración del efectivo.** Los estudios indican que combinar estímulos visuales y táctiles mejora significativamente la precisión en la identificación de billetes genuinos frente a falsificados, lo que subraya la necesidad de realizar diseños que incorporen ambos tipos de estímulos.
- La colaboración interdisciplinaria ha demostrado ser efectiva para abordar la complejidad de la percepción y autenticación del efectivo. **Integrar métodos de diversas disciplinas proporciona una visión más completa del comportamiento del usuario**, lo que contribuye a la mejora del diseño y la seguridad de los billetes.
- **Las características táctiles, como las texturas en relieve, desempeñan un papel fundamental en la autenticación del efectivo.** Los estudios muestran que los usuarios que utilizan la exploración táctil obtienen mejores resultados en la identificación de billetes genuinos, lo que sugiere la necesidad de promover esta práctica en profundidad en los estudios experimentales.
- **Los factores emocionales y numéricos influyen en la percepción del efectivo.** La investigación ha revelado que los billetes comunican estados emocionales que afectan a su reconocimiento y valoración, y destacan la importancia de considerar estos factores en el diseño de los billetes.
- La prominencia visual es un determinante clave en la toma de decisiones respecto al efectivo. **Atributos visuales como el brillo y el color influyen significativamente en la atención y preferencia de los usuarios**, lo que sugiere **la necesidad de optimizar estos elementos en el diseño de los billetes**.
- La integración de **tecnologías de seguimiento ocular y análisis facial** proporciona datos valiosos sobre las respuestas cognitivas y emocionales de

los usuarios. **Estas tecnologías permiten identificar patrones específicos** de atención y emoción, **mejorando así la efectividad del diseño del efectivo**. Hacen posible conseguir señales adicionales que refuerzan el análisis del seguimiento ocular predominante; también añade valor combinarlas con otras señales que permiten hacer un análisis más completo. *Eye tracking* con gestos es una señal muy fuerte cuya correlación ha quedado validada en distintos estudios. La atención visual y cómo se interactúa es una combinación ideal para comprender el impacto que tiene el diseño en la percepción, y está siendo validada por estudios a escala europea, estudios internos de desarrollo como el mencionado con anterioridad llevado a cabo por el Banco de España y LabLENI.

- **La inclusión de personas con discapacidades visuales en los estudios de percepción del efectivo** es esencial para garantizar la accesibilidad y usabilidad del efectivo. Implementar características táctiles eficaces y variaciones en el diseño facilita la identificación de la autenticidad del efectivo por este grupo y promueve la inclusión y la equidad.

6 Mejoras potenciales

- Una buena oportunidad para llevar a cabo investigación en este campo es realizar estudios multiculturales que midan diferentes zonas poblacionales. Esto permite comparar la percepción del efectivo en diversas culturas y obtener resultados más completos y representativos, y evita posibles sesgos y enriquece la comprensión global del tema.
- Otra área de mejora es el aumento de la muestra en los estudios experimentales. Al incluir un mayor número de participantes, se pueden obtener datos más robustos y fiables, lo que incrementa la validez estadística y la generalización de los hallazgos, y proporciona una base más sólida para las conclusiones.
- Además, fomentar la colaboración entre los equipos de investigación y la industria neurométrica es fundamental. Esta sinergia permite perfeccionar la metodología y avanzar en el campo, al integrar conocimientos y tecnologías de ambas áreas. La cooperación activa puede llevar a realizar experimentos más innovadores y a profundizar los resultados, así como a mejorar la aplicabilidad práctica de las técnicas desarrolladas.
- Los estudios experimentales específicos sobre la percepción de las monedas son escasos. La mayor parte de la investigación se ha centrado en los billetes, dejando un vacío significativo en la comprensión de cómo las personas perciben y evalúan las monedas. Realizar estudios experimentales adicionales sobre la percepción de las monedas permitirá obtener datos valiosos sobre su diseño y características de seguridad, y sobre cómo estos factores influyen en la aceptación y confianza del público.
- Faltan datos comparativos entre la percepción de las monedas y la de los billetes. Sin estudios experimentales que aborden directamente la percepción de las monedas, es difícil establecer comparaciones y entender las diferencias y similitudes en la forma en que los usuarios interactúan con estos diferentes tipos de efectivo. Investigaciones experimentales que incluyan tanto monedas como billetes pueden proporcionar una visión más completa y permitir el desarrollo de estrategias de diseño y seguridad más integradas y efectivas.

7 Líneas de investigación futuras

Es fundamental continuar explorando cómo los estímulos multisensoriales pueden mejorar la autenticidad y percepción del efectivo. Los estudios de voz y tactilidad ofrecen un vasto potencial para desarrollar nuevas metodologías y enfoques. A continuación se detallan varias líneas de investigación futuras:

- **Evaluación de la percepción táctil en diversas poblaciones:** Expandir los estudios sobre la percepción táctil del efectivo en diversas poblaciones, incluyendo diferentes grupos etarios y culturales. Evaluar cómo las personas de distintos contextos perciben y valoran las texturas y características táctiles del efectivo para obtener puntos de vista valiosos para el diseño inclusivo y seguro del efectivo.
- **Integración de estudios de voz en la evaluación del efectivo:** Los estudios de voz pueden ofrecer una dimensión adicional en la evaluación del efectivo, especialmente en cuanto al reconocimiento y la respuesta emocional. Investigar cómo las descripciones verbales del efectivo, así como el análisis de la prosodia y el contenido emocional de las respuestas vocales, pueden influir en la autenticación y percepción del efectivo.
- **Desarrollo de prototipos de efectivo con características táctiles mejoradas:** Crear nuevos prototipos de efectivo que incorporen características táctiles avanzadas, como texturas en relieve y variaciones en la longitud, es esencial. Estos prototipos deben ser evaluados no solo por su funcionalidad, sino también por su capacidad para generar una experiencia táctil enriquecedora que facilite la identificación y autenticación.
- **Estudios longitudinales sobre la eficacia de la educación táctil:** Implementar programas educativos que fomenten la exploración táctil como método de autenticación del efectivo y evaluar su eficacia a largo plazo. Analizar cómo la formación continua en la percepción táctil puede mejorar la capacidad de las personas para identificar efectivo falsificado y efectivo auténtico.
- **Análisis de la combinación de voz y tacto en la autenticación del efectivo:** Explorar cómo la combinación de estímulos vocales y táctiles puede mejorar la autenticación del efectivo. Investigaciones que integren descripciones verbales con la exploración táctil pueden revelar nuevas estrategias para diseñar efectivo que sean más fáciles de autenticar y usar.
- **Aplicación de neurotecnologías en la evaluación de respuestas táctiles y vocales:** Utilizar herramientas neurocientíficas avanzadas, como la EEG y el seguimiento ocular, para analizar las respuestas cognitivas y emocionales a los estímulos táctiles y vocales. Estos estudios pueden proporcionar datos

detallados sobre cómo el cerebro procesa la información táctil y vocal durante la autenticación del efectivo.

- **Investigación sobre la influencia de la prosodia en la percepción del efectivo:** Analizar cómo las variaciones en el tono, ritmo y entonación de la voz influyen en la percepción y autenticación del efectivo. Estudios que investiguen la relación entre la prosodia y la respuesta emocional al efectivo pueden ofrecer nuevas perspectivas para el diseño de estrategias de autenticación verbal.
- **Evaluación de la interacción multisensorial en la autenticación del efectivo:** Continuar investigando cómo la interacción entre la percepción táctil y los estímulos vocales afecta a la toma de decisiones en la autenticación del efectivo. Estudios experimentales que integren múltiples modalidades sensoriales pueden ayudar a optimizar el diseño del efectivo y mejorar su funcionalidad y seguridad.

Estas líneas de investigación futuras no solo ampliarán el conocimiento en el campo de la neurociencia aplicada al análisis del efectivo, sino que también contribuirán al desarrollo del efectivo, de modo que sea más seguro y accesible, y emocionalmente resonante para los usuarios.

8 Glosario

Algoritmos de aprendizaje automático: Métodos computacionales avanzados que permiten el análisis de grandes volúmenes de datos para identificar patrones y realizar predicciones (Gangula, Srivastava, Mohanty y Prakasam, 2023).

Análisis factorial confirmatorio: Técnica estadística utilizada para verificar la validez de los modelos de investigación, como son los relacionados con la percepción y autenticación del efectivo (Cherubino et al., 2019).

Asimetría cerebral: Las diferencias estructurales y funcionales entre los hemisferios del cerebro, así como las conexiones que permiten a los seres humanos responder a diversas tareas. Además, se reconoce que estas diferencias están influenciadas por el sexo, según lo indican los hallazgos de Portellano Pérez (2005, 2009; citados en Uribe y Conde, 2021).

Atención visual: Proceso mediante el cual el sistema visual selecciona información relevante de un entorno visual complejo (Goldstein y Brockmole, 2016).

Autenticación: Proceso de verificación de la autenticidad de un objeto, particularmente aplicado a billetes, mediante la percepción visual y táctil (Dodgson y Raymond, 2022).

Billetes falsificados: Imitaciones ilegales de billetes genuinos que son objeto de estudio en la investigación sobre autenticación y percepción (Gangula et al., 2023).

Codificación de expresiones faciales (FC): Técnica para analizar micro- y macroexpresiones faciales, con el objetivo de estudiar las emociones y la conducta (Zhao et al., 2024).

Conductancia de la piel (SCR): Técnica que mide la actividad de las glándulas sudoríparas, utilizada para estudiar respuestas emocionales (Stuldreher et al., 2020).

Electroencefalografía (EEG): Técnica que registra la actividad eléctrica del cerebro para investigar procesos afectivos y cognitivos (Georgiadis et al., 2022).

Engagement: Concepto psicológico que se refiere a la implicación, entusiasmo y esfuerzo que una persona pone en una tarea o interacción (Carrasco González et al., 2010).

Eye tracking (ET): Tecnología que sigue los movimientos oculares para estudiar la atención visual y las respuestas ante estímulos (Alsharif et al., 2021).

Fijaciones oculares: Momentos en los que los ojos se detienen sobre un estímulo visual específico durante el proceso de exploración visual, utilizados para analizar patrones de atención (Raymond y Jones, 2019).

Inclusión sensorial: Diseño de productos, como los billetes, que incorporan características táctiles para facilitar su uso por personas con discapacidades visuales (Banco de México, 2021).

Modelo de aprendizaje automático: Métodos computacionales utilizados para el análisis de grandes volúmenes de datos, aplicados en la autenticación de billetes (Gangula et al., 2023).

Microexpresiones: Pequeños y rápidos movimientos faciales que reflejan emociones ocultas o reprimidas (Zhao et al., 2024).

Movimientos sacádicos: Rápidos movimientos oculares que se producen entre fijaciones y que permiten al cerebro procesar con prontitud diferentes partes de una escena visual (Milosavljevic et al., 2012).

Neurociencia: Disciplina científica que estudia el sistema nervioso y el cerebro para comprender procesos cognitivos y conductuales (Alsharif et al., 2021).

Neuroherramientas: Tecnologías utilizadas en la investigación neurocientífica, como la EEG, el ET, la SCR, la HRV y la FC, para medir respuestas fisiológicas y neuronales (Alsuradi et al., 2020).

Neurodiseño: Aplicación de principios neurocientíficos al diseño de productos para optimizar la percepción y la experiencia del usuario (Aroca, 2023).

Neuromarketing: Uso de herramientas neurocientíficas para analizar el comportamiento del consumidor y optimizar estrategias de *marketing* (Alsharif et al., 2021).

Percepción táctil: Capacidad sensorial para reconocer y discriminar objetos mediante el tacto, fundamental en la identificación de texturas y en la autenticación de billetes (Khasnobish et al., 2017).

Percepción multisensorial: Integración de diferentes modalidades sensoriales, como la visión y el tacto, para mejorar la identificación de objetos (Goldstein y Brockmole, 2016; Kellman y Arterberry, 2018).

Percepción emocional: Respuesta afectiva generada por estímulos visuales o táctiles, que puede influir en la toma de decisiones (Goldstein y Brockmole, 2016).

Psicofisiología: Estudio de las respuestas fisiológicas, como la frecuencia cardíaca y la actividad cerebral, en relación con procesos psicológicos (Cherubino et al., 2019).

Potenciales relacionados con eventos: Medidas de la actividad eléctrica del cerebro en respuesta a un estímulo específico, utilizadas para estudiar el procesamiento

cognitivo (Dodgson y Raymond, 2022). Las respuestas eléctricas del sistema nervioso que se sincronizan temporalmente con ciertos estímulos, movimientos, excitaciones eléctricas u otros eventos identificables. Se manifiestan como variaciones repetitivas de voltaje que están vinculadas a un evento físico o mental específico. Estas respuestas pueden obtenerse del registro electroencefalográfico (EEG) mediante el promediado de señales (Society Neurophysiology et al., 2006).

Prominencia visual: Es la medida de los estímulos a bajo nivel que captan la atención humana en las primeras etapas del procesamiento visual (Itti et al., 1998, citado en Fidalgo, Alegre, Fernández-Robles y González-Castro, 2019). Capacidad de ciertos elementos visuales (color, brillo, contraste) para captar la atención en un entorno complejo (Zhang et al., 2019).

Procesamiento implícito: El término «implícito» hace referencia a aquellos procesos cognitivos que influyen en el comportamiento, pero que las personas no son capaces de expresar de manera clara. Estos procesos implícitos permiten activar el conocimiento necesario para identificar objetos, tomar decisiones, resolver problemas o emitir juicios de manera automática y sin esfuerzo consciente, sin que la persona se dé cuenta de que dicho conocimiento está afectando a su comportamiento (Litman y Reber, 2005; Stanovich, 2011; citados en Parra et al., 2020).

Prototipo de efectivo: Versión preliminar de un billete diseñada para evaluar nuevas características estéticas y funcionales antes de su producción final (Aroca, 2023).

Redes de eficiencia nodal: Estructuras cerebrales que permiten la coordinación eficiente entre diferentes áreas del cerebro durante el procesamiento de estímulos (Zhao et al., 2024).

Redes neuronales: Estructuras formadas por neuronas interconectadas que permiten procesar información en el cerebro, imitando el funcionamiento del sistema nervioso en los modelos de aprendizaje automático (Cheng et al., 2020).

Resonancia magnética funcional (fMRI): Técnica de neuroimagen que mide los cambios en el flujo sanguíneo cerebral asociados a la actividad neuronal (Verhulst et al., 2019).

Sinestesia: Es un fenómeno neurológico y perceptual que implica la interrelación e interacción de dos o más sentidos diferentes (Clínica Universidad de Navarra, s. f.).

Sincronización de datos multimodal: Proceso de combinar diferentes tipos de datos, como respuestas neuronales y fisiológicas, para obtener una comprensión más completa del comportamiento (Cherubino et al., 2019).

Tacto activo: Exploración táctil de objetos mediante movimiento, utilizada para identificar sus propiedades físicas (Eldeeb et al., 2020).

Texturas en relieve: Característica física de los billetes utilizada para facilitar su identificación táctil, especialmente para personas con discapacidades visuales (Raymond, 2017).

Variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV): Indicador de la activación del sistema nervioso autónomo en respuesta a estímulos, útil para evaluar la excitación emocional (Goldstein y Brockmole, 2016).

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Alsharif, A., N. Salleh y R. Baharun	2021	"Neuromarketing: The popularity of the brain-imaging and physiological tools"	Revisión teórica	Los estudios de <i>neuromarketing</i> han aumentado significativamente en las últimas dos décadas debido a que buscan comprender los mecanismos de toma de decisiones que actúan en el cerebro del consumidor frente a estímulos de <i>marketing</i> utilizando tecnologías avanzadas como la fMRI, la EEG y el ET. Dichas tecnologías proporcionan información valiosa sobre las reacciones fisiológicas y mentales de los consumidores, información que no es posible obtener con los métodos tradicionales de <i>marketing</i>
Alsuradi, H., W. Park y M. Eid	2020	"EEG-based neurohaptics research: A literature review"	EEG	La neuroháptica, un campo que estudia la representación neural en respuesta a estímulos táctiles y cenestésicos, ha ganado atención significativa en la última década. El documento revisa la literatura sobre estudios neurohápticos basados en EEG; destaca temas y hallazgos clave, y proporciona una revisión de los métodos analíticos de EEG utilizados en este campo. Además, presenta un estudio de caso completo sobre la investigación neuroháptica y discute las limitaciones y direcciones futuras para la investigación en este ámbito, incluyendo el modelado de la calidad de la experiencia háptica y la mejora de los sistemas neurohápticos en la realidad virtual
Atmaja, B., y A. Sasou	2022	"Effects of data augmentations on speech emotion recognition"	Voz y emoción	Las técnicas de aumento de datos son esenciales para mejorar el reconocimiento de emociones en el habla, pero es crucial encontrar el tipo y la cantidad de aumentos de datos óptimos para maximizar su efectividad. Los experimentos muestran que diferentes estrategias de aumento de datos, como la extracción de fuente global y la eliminación de silencios, son más o menos efectivas dependiendo de si los datos son dependientes o independientes del hablante. Los resultados destacan la necesidad de elegir cuidadosamente la técnica de aumento de datos adecuada para cada condición específica para lograr el mejor rendimiento en el reconocimiento de emociones en el habla
Ballesteros, S.	1993	"Percepción háptica de objetos y patrones realzados: una revisión"	Percepción háptica y visual	La percepción háptica es una modalidad sensorial crucial e independiente de la visión, que proporciona información detallada sobre las propiedades de los objetos (como temperatura, peso y textura). Se destaca la especialización del tacto en la aprehensión de propiedades de la sustancia y la necesidad de más investigación en este campo para mejorar la educación y el entrenamiento de personas invidentes y con deficiencias visuales
Banco de México	2021	"Características de los billetes mexicanos para facilitar su denominación a las personas con discapacidad visual"	Características de los billetes	Informa a los usuarios sobre las características de los billetes diseñadas para facilitar su identificación, especialmente para personas con discapacidad visual, y presenta el análisis del Banco de México sobre la factibilidad de incorporar el sistema braille. Se concluye que no es técnicamente viable incluir braille en los billetes mexicanos debido a la incapacidad de cumplir con las especificaciones necesarias, como la distancia mínima entre puntos y la altura requerida, así como las variaciones en la producción que impiden mantener estas especificaciones
Botvinick, M., y J. Cohen	1998	"Rubber hands 'feel' touch that eyes see"	Percepción táctil	Las personas ciegas pueden adquirir conceptos hápticos de manera rápida y efectiva, similar a la de las personas videntes. Sin embargo, presentan diferencias específicas en la prueba de reconocimiento, siendo menos propensas a cometer errores con patrones novedosos, pero más propensas a confundir el prototipo de la categoría con estímulos antiguos. Estos hallazgos se discuten en el contexto de las teorías actuales de la categorización
Burton, H., N. S. Abend, A.-M. K. MacLeod, R. J. Sinclair, A. Z. Snyder y M. E. Raichle	1999	"Tactile attention tasks enhance activation in somatosensory regions of parietal cortex: a positron emission tomography study"	Atención táctil	La tomografía por emisión de positrones revela cómo diferentes regiones corticales, incluyendo las áreas somatosensoriales primarias (S1) y secundarias (S2), participan en la mediación de la atención táctil, sin evidencias claras de procesamiento separado para diferentes estrategias de atención. Además, se identifican regiones no sensoriales en la corteza frontal y parietal que podrían influir en la atención táctil a través de una red moduladora de influencias en etapas tempranas del procesamiento sensorial

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Carrasco González, A. M., C. M. de la Corte de la Corte y J. M. León Rubio	2010	"Engagement: un recurso para optimizar la salud psicosocial en las organizaciones y prevenir el burnout y estrés laboral"	<i>Engagement</i>	Definición del concepto de <i>engagement</i>
Cherubino, P., A. Martinez, M. Carat, G. Cartocci, G. di Flumeri, E. Modica, D. Rossi, M. Mancini y A. Trettel	2019	"Consumer behaviour through the eyes of neurophysiological measures: State-of-the-art and future trends"	Revisión teórica	El texto explica que los avances tecnológicos de la última década han permitido utilizar medidas neurofisiológicas para investigar y comprender mejor el comportamiento humano en situaciones reales de toma de decisiones, han evaluado la efectividad de las tecnologías neurocientíficas en <i>neuromarketing</i> y han abordado sus aplicaciones, técnicas, validaciones, desafíos éticos, y futuros desarrollos en el campo del <i>marketing</i>
De Heij, H.	2015	"The 4M-model for banknote designers. Insight - international banknote designers association"	Percepción del diseño	Los billetes tienen múltiples funciones de usuario. Los diseñadores deben ser conscientes de ellas, especialmente de las relevantes en el uso cotidiano. En el proceso de diseño, es crucial considerar que los billetes se perciben en movimiento y priorizar las situaciones perceptivas más comunes, en lugar de enfocarse en aspectos que solo interesan cuando el billete es nuevo. La percepción inicial de un billete en una transacción se basa en su color y en una imagen borrosa, lo que debe influir en el diseño
Dodgson, D., y J. Raymond	2019	"Value associations bias ensemble perception"	Percepción del conjunto	Las asociaciones de valor monetario pueden influir significativamente en la percepción del conjunto, sesgando las estimaciones del tamaño promedio de los elementos en un arreglo visual. Este sesgo se produce debido a un procesamiento tardío de alto nivel, que puede ser eliminado al limitar el procesamiento consciente, lo que mejora la precisión de la percepción del conjunto
Dodgson, D., y J. Raymond	2022	"Banknote authenticity is signalled by rapid neural responses"	Procesos perceptivos	La autenticación precisa de billetes puede ocurrir en menos de un segundo gracias a procesos neuronales rápidos, como se evidencia por las mediciones de ERP. Estos procesos incluyen un análisis sensorial inicial rápido, seguido de una etapa de decisión más compleja, lo que permite diferenciar eficazmente billetes genuinos y billetes falsificados
Eldeeb, S., D. Weber, J. Ting, A. Demir, D. Erdogan y M. Akcakaya	202	"EGG-based trial-by-trial texture classification during active touch"	EEG	El análisis de características de la EEG durante el tacto activo puede discriminar eficazmente entre texturas con diferentes niveles de rugosidad, aunque estas características tienen una menor contribución en la clasificación del tipo de movimiento y la frecuencia. Esto se logra mediante la recolección sincrónica de datos de la EEG y de fuerza, y el uso de clasificadores de máquina de vectores de soporte (SVM) para el análisis
Faucheu, J., B. Weiland, M. Juganaru-Mathieu, A. Witt y P. Cornault	2019	"Tactile aesthetics: Textures that we like or hate to touch"	Percepción táctil	La textura de las superficies desempeña un papel crucial en la identificación y el reconocimiento de objetos, así como en la interacción humana con estos. El estudio investiga cómo los atributos perceptivos táctiles y las características topográficas de las texturas influyen en la percepción y el agrado de las texturas, utilizando experimentos conductuales con patrones de puntos personalizados. Además, sugiere que una comprensión más profunda de la estética táctil puede ser útil en el diseño de productos, y considera que futuras investigaciones en neurociencia pueden ayudar a determinar los mecanismos cerebrales involucrados en el procesamiento de la agradabilidad de los estímulos táctiles

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Ferrero, R., y B. Montruccio	2024	"Banknote identification through unique fluorescent properties"	Autenticación	La autenticación de billetes es fundamental para asegurar la integridad de las transacciones financieras y proteger frente a falsificaciones y fraudes. El estudio evalúa y compara varios modelos de aprendizaje automático, incluyendo Regresión Logística, SVM, Bosques Aleatorios, XgBoost y Redes Neuronales, para identificar el método más eficaz para verificar la autenticidad de los billetes. La implementación de un sistema de autenticación preciso y fiable es esencial para mantener la estabilidad económica y la confianza pública en la moneda
Gangula, Y., S. Srivastava, A. Mohanty y P. Prakasam	2023	"Investigation of various machine learning techniques for banknote authentication"	Autenticación de modelos matemáticos	La autenticación de billetes es crucial para garantizar la integridad de las transacciones financieras y proteger frente a actividades fraudulentas y falsificaciones. El estudio compara y evalúa el rendimiento de varios modelos de aprendizaje automático, como Regresión Logística, SVM, Bosques Aleatorios, XgBoost y Redes Neuronales, para identificar el enfoque más preciso y eficiente en la verificación de la autenticidad de los billetes. Estos métodos avanzados son esenciales para mantener la estabilidad económica, mitigar pérdidas financieras y preservar la seguridad y la confianza pública en la moneda
Genevsky, A., C. Yoon y B. Knutson	2017	"When brain beats behavior: Neuroforecasting crowdfunding outcomes"	Predictores neuronales	La actividad neuronal en el núcleo <i>accumbens</i> puede predecir los resultados de financiación de <i>crowdfunding</i> a nivel de mercado semanas después, de manera más precisa que las decisiones individuales y las medidas de comportamiento, demostrando que ciertos predictores neuronales pueden generalizarse para realizar pronósticos a nivel agregado
Georgiadis, K., F. Kalaganis, V. Oikonomou, S. Nikolopoulos, N. Laskaris y L. Kompatsiaris	2022	"NeuMark: A Riemannian EEG analysis framework for neuromarketing"	EEG	El uso de matrices de covarianza y de la geometría de Riemann en la interpretación de datos de electroencefalografía (EEG) puede mejorar significativamente la capacidad predictiva del <i>neuromarketing</i> en comparación con las herramientas tradicionales, permitiendo predecir de manera más precisa las elecciones de los consumidores mediante la captura de la actividad neural coordinada de distintas áreas cerebrales
Giuliani, F., V. Manippa, A. Brancucci, R. Palumbo, L. Tommasi y D. Pietroni	2021	"How emotional is a banknote? The affective basis of money perception"	Percepción, emoción	El dinero posee propiedades afectivas intrínsecas que influyen en su percepción y evaluación, incluso cuando no está en juego dentro de una tarea. Valores monetarios mayores se perciben como más estimulantes y positivos, y estos valores afectan a la evaluación emocional y el mapeo mental, mostrando que el dinero actúa como un estímulo afectivo significativo
Giuliani F., V. Manippa, A. Brancucci, L. Tommasi y D. Pietroni	2018	"Side biases in euro banknotes recognition: The horizontal mapping of monetary value"	Valencia emocional	La idea principal del texto es que la percepción y el reconocimiento de los billetes están influenciados por asimetrías izquierda-derecha en la percepción visual, siendo reconocidos los billetes de mayor valor (100 €) más rápidamente en el campo visual derecho debido a su valencia positiva, lo que sugiere un reconocimiento de billetes basado en la valencia emocional
Goldstein, E. B., y J. Brockmole	2016	<i>Sensation and Perception</i>	<i>Eye tracking</i> , comportamiento gestual	Implicaciones sensorioperceptivas del comportamiento gestual y atención visual en evaluaciones psicofisiológicas
Gordillo, F., J. Lozano, R. López, M. Pérez, J. Arana, y L. Mestas	2013	"Emoción, contexto verbal y percepción de la expresión facial: dime quién eres y te diré cómo te percibo"	Emoción, voz, expresión facial, valencia	La idea principal del texto es que la emoción, modulada a través del contexto verbal, influye en la percepción de la expresión facial en términos de valencia, activación y control, como se demostró en dos experimentos donde se manipuló el contexto verbal y el estado afectivo previo o posterior a la codificación del contexto

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Hamkim, A., y D. J. Levi	2019	"A gateway to consumers' minds: Achievements, caveats, and prospects of electroencephalography-based prediction in neuromarketing"	EEG	Analiza el potencial de la EEG para predecir las preferencias de los consumidores y revisa las características prometedoras de las señales de la EEG que pueden captar el proceso de evaluación de los consumidores. Además, se enfatiza la necesidad de que las medidas neuronales aporten valor adicional a las técnicas tradicionales de <i>marketing</i> y se recomienda adoptar prácticas estándar de ciencia de datos y modelado de predicción utilizadas en otros campos
Hernández, P.	2010	"Moldes. Test de estrategias cognitivo-emocionales"	Test	Adaptación española del Test Moldes
Homa, D., K. Kanav, P. Tripathi, L. Brattton y S. Panchanathan	2009	"Haptic concepts in the blind"	Percepción háptica	El estudio investiga y compara cómo las personas ciegas y las personas videntes adquieren conceptos hápticos, y encuentra que las personas ciegas pueden aprender y clasificar categorías de objetos hápticos con tanta velocidad y precisión como las personas videntes. Sin embargo, los sujetos ciegos muestran diferencias específicas en la prueba de reconocimiento, siendo menos propensos a confundir patrones novedosos pertenecientes a la categoría, y más propensos a confundir el prototipo de la categoría con estímulos antiguos. Estos hallazgos se discuten en el contexto de las teorías actuales de la categorización
Horst, F., J. Miedema, J. Snell y J. Theeuwes	2020	"Banknote verification relies on vision, feel and a single second"	Percepción visual y táctil	La autenticación de billetes es más efectiva cuando se utilizan múltiples modalidades sensoriales (vista y tacto) en combinación con un tiempo de exposición adecuado. El estudio demuestra que tanto los no expertos como los expertos pueden autenticar billetes con precisión, y que el rendimiento mejora con una mayor duración de la exposición y el uso combinado de la vista y el tacto. Los hallazgos sugieren que los bancos centrales deben continuar desarrollando características de seguridad que involucren ambos sentidos, y que las evaluaciones futuras deben imitar las interacciones de la vida real para mejorar la autenticación de billetes
Horst, F., J. Snell y J. Theeuwes	2020	"Finding counterfeited banknotes: the roles of vision and touch"	Percepción visual y táctil	Probar la capacidad de los expertos y no expertos (público) para detectar billetes en euros falsos
Horst, F., J. Snell y J. Theeuwes	2021	"Enhancing banknote authentication by guiding attention to security features and manipulating prevalence expectancy"	Percepción visual y táctil	Los elementos de diseño destacados, destinados a dirigir la atención a la ubicación de los elementos de seguridad, ayudarán a la precisión de la autenticación de los billetes
Hua, Y., J. Ni y H. Lu	2023	"An eye-tracking technology and MLP-based color matching design method"	Eye tracking	El uso de la tecnología de seguimiento ocular y de algoritmos de redes neuronales puede facilitar la traducción de colores de imágenes animadas a colores de productos. Se mejora así la precisión y eficacia del diseño del color de productos, al crear esquemas de color que coinciden con las imágenes animadas y los productos finales
Kellman, P. J., y M. E. Arterberry	2016	"Perceptual Development"	Conductancia de la piel, variabilidad de frecuencia cardíaca, comportamiento gestual, eye tracking	Comportamiento psicofisiológico con el uso de neuroherramientas

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Khasnobish, A., S. Datta, R. Bose, D. Tibarewala y A. Konar	2017	"Analyzing text recognition from tactually evoked EEG"	EEG	La exploración táctil de textos en relieve produce patrones específicos en las señales de la EEG del cerebro, permitiendo el reconocimiento en línea de símbolos, números y letras mediante clasificadores entrenados, lo cual tiene el potencial de mejorar la interfaz cerebro-computadora (BCI) y la asistencia para personas con discapacidad visual
Klatzky, R., y S. Lederman	2014	<i>Multisensory Texture Perception</i>	Tacto, visión	La percepción de la textura, definida como una propiedad de la superficie, varía según el sistema sensorial involucrado (tacto, visión y audición) y, aunque cada sentido impone restricciones específicas sobre cómo se percibe la textura, existe una fuente común que subyace a estas experiencias perceptuales. Esto ha suscitado un considerable interés y una extensa investigación sobre cómo interactúan los diferentes sentidos para formar una percepción coherente de la textura
Manippa, V., F. Giuliani, A. Brancucci, L. Tommasi, R. Palumbo y D. Pietroni	2021	"Affective perception of Euro banknotes: cognitive factors and interindividual differences"	Valencia y excitación	La percepción afectiva de los billetes en euros (en términos de valencia, excitación y familiaridad) varía según su valor nominal y está influenciada por factores como el género, el estatus socioeconómico y la actitud subjetiva hacia el dinero (medida por el puntaje de Amor al Dinero, LoM). Los resultados indican que tanto la valencia como la excitación aumentan de manera logarítmica con el valor nominal de los billetes, mientras que la familiaridad disminuye con los valores más altos. Estos hallazgos resaltan la importancia de estudiar estas variables para comprender mejor los sesgos relacionados con el dinero y los comportamientos económicos anormales
Milosavljevic, M., V. Navalpakkam, A. Rangel y C. Koch	2012	"Relative visual saliency differences induce sizable bias in consumer choice"	<i>Visual saliency</i>	En situaciones en que los consumidores deben tomar decisiones rápidas entre múltiples marcas, las propiedades visuales de los productos (como el color y brillo del empaque) pueden influir en sus elecciones más que sus preferencias reales. Este sesgo de saliencia visual se incrementa con la carga cognitiva y es especialmente fuerte cuando los consumidores no tienen preferencias claras entre las opciones disponibles
Nasayreh et al.	2024	"Jordanian banknote data recognition: A CNN-based approach with attention mechanism"	Autenticación	La identificación de billetes falsificados es crucial para las transacciones financieras. Los desarrollos recientes en tecnología, especialmente en sistemas de seguridad integrados con cámaras e inteligencia artificial (IA), permiten la detección y diferenciación de billetes genuinos y billetes falsificados. El estudio propone un enfoque basado en el aprendizaje profundo mediante redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar billetes jordanos falsificados con alta precisión y eficacia, y demuestra la capacidad del modelo para mejorar la seguridad de las instituciones financieras
Ojedo, F., y P. Macizo	2023	"The value of banknotes: relevance of size, colour and design"	Percepción de tamaño, color,diseño	La evaluación del valor monetario de los billetes, el tamaño y el color son las características físicas más importantes para los participantes, siendo el tamaño la más relevante. Sin embargo, una variedad de diseños diferentes en los billetes puede dificultar la tarea de comparación monetaria
Pang, Y., Y. Jiang, C. Wu y X. Yu	2020	"Visual prominence detection using bagging-based prominence distribution learning"	<i>Visual saliency</i>	Detección de prominencia visual, en que se combinan los beneficios de los enfoques de arriba abajo y de abajo arriba, para lograr una detección más precisa y eficiente

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3

Síntesis de investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Picard, D., C. Dacremont, D. Valentín y A. Giboreau	2003	"Perceptual dimensions of tactile texture"	Percepción táctil	Las experiencias táctiles cotidianas se pueden describir mediante un repertorio limitado y consensuado de descriptores táctiles, y las texturas táctiles se pueden caracterizar a través de cuatro dimensiones perceptuales principales: suave/áspido, delgado/grueso, relieve y dureza. Estos hallazgos se validaron a través de tareas de clasificación y evaluación realizadas por los participantes
Raymond, J., y J. Scott	2019	"Strategic eye movements are used to support object authentication"	<i>Eye Tracking</i>	La autenticación de objetos como los billetes se mejora mediante tácticas de fijación visual estratégica que favorecen áreas difíciles de imitar y evitan áreas fácilmente imitables. Esta orientación visual precisa y el refinamiento de los criterios de categorización mejoran con la experiencia, lo que lleva a un mejor desempeño en la autenticación
Salanova, M., y W. Schaufeli	2009	<i>El engagement en el trabajo: cuando el trabajo se convierte en pasión</i>	<i>Engagement</i>	Definición del concepto de <i>engagement</i>
Sijian, Z.	2024	"The research on banknote authenticity discrimination analysis algorithm based on wavelet transform features"	Autenticación	Para identificar la autenticidad de los billetes, se pueden utilizar características como la varianza, la asimetría, la curtosis y la entropía de las imágenes transformadas por <i>wavelet</i> . Estas características permiten distinguir entre billetes genuinos y billetes falsificados mediante un análisis discriminante que combina varios métodos, con los que se mide la complejidad, simetría, desviación y concentración de la textura en las imágenes
Sinico, M.	2023	"The phenomenology of tactile perception for design"	Percepción táctil	La percepción táctil es una dimensión crucial de la experiencia del usuario en el diseño, y el conocimiento científico derivado de la fenomenología experimental y la psicología Gestalt es esencial para comprender y mejorar esta experiencia. El artículo argumenta que, aunque el enfoque reduccionista proporciona una comprensión de la mediación fisiológica, no es suficiente para hacer inmediata la experiencia perceptual-táctil del usuario, que se extiende más allá de los límites del cuerpo físico
Stuldreher, V., N. Thammasan, J. Erp y A. Brouwer	2020	"Physiological synchrony in EEG, electrodermal activity and heart rate reflects shared selective auditory attention"	EEG, variabilidad frecuencia cardiaca, conductancia de la piel	La sincronía fisiológica (PS) entre múltiples oyentes, medida a través de la EEG, la SCR e intervalos entre latidos electrocardiográficos (IBI), puede servir como marcador adecuado para monitorear los niveles selectivos de atención en tiempo real. Los resultados del estudio sugieren que las medidas de PS, no solo en EEG, sino también en EDA e IBI, son efectivas para identificar el enfoque atencional de los participantes, lo que demuestra que los dispositivos portátiles que miden señales fisiológicas periféricas pueden ser preferibles a los sensores EEG en aplicaciones del mundo real
Summers, I., R. Irwin y A. Brady	2022	"Haptic discrimination of paper"	Discriminación háptica	La rugosidad, la rigidez y la adherencia son características clave que afectan a la calidad percibida del tacto
Verhulst, N., A. de Keyser, A. Gustafsson, P. Shams e Y. Van	2019	"Neuroscience in service research: An overview and discussion of its possibilities"	Revisión teórica	Promover la adopción de métodos neurocientíficos en la investigación de servicios, destacando su valor para comprender mejor los procesos internos, las diferencias individuales y grupales, y las predicciones conductuales. El artículo proporciona un marco para vincular neuroherramientas con el dominio de servicios, discute el valor teórico y empírico de la investigación en neurociencia de servicios, ofrece una guía práctica para implementar estas herramientas, y presenta oportunidades de investigación futura enfocadas en el impacto de señales externas e internas y la dinámica de la experiencia del servicio

FUENTE: Banco de España.

Cuadro 3
Síntesis investigaciones previas (cont.)

Autores	Año	Título	Estímulo	Conclusión
Wang, S., E. Toreini y F. Hao (2021)	2021	"Anti-counterfeiting for polymer banknotes based on polymer substrate fingerprinting"	<i>Fingerprinting</i>	«Huella dactilar» única para cada billete a partir del sustrato de polímero
Yanagisawa, H., y K. Takatsuji	2015	"Effects of visual expectation on perceived tactile perception: An evaluation method of surface texture with expectation effect"	Percepción táctil	La apariencia visual de una superficie puede influir en la percepción de su calidad táctil; mediante la evaluación de los efectos de las expectativas visuales sobre la experiencia táctil posterior, se pueden identificar combinaciones visuales-táctiles que mejoren la calidad percibida de las texturas táctiles. El estudio propone un método para evaluar estas combinaciones, y destaca su relevancia para ayudar a los diseñadores a crear productos con características visuales y táctiles que evoquen sensaciones táctiles específicas
Zhang, F., Y. Li, Q. Zeng y L. Lu	2021	"Application of printing defects detection based on visual saliency"	<i>Visual saliency</i>	La saliencia visual, que permite procesar automáticamente áreas de interés e ignorar las áreas no relevantes, ha sido aplicada con éxito en la detección de defectos en productos impresos. El artículo analiza cómo se ha utilizado esta técnica en los últimos años, compara los diferentes métodos de detección de defectos impresos, y discute las ventajas, desventajas y tendencias futuras de este campo
Zhang J., F. Malmberg y S. Sclaroff	2019	<i>Visual Saliency: From Pixel-Level to Object-Level Analysis</i>	<i>Visual saliency</i>	Se presenta una variedad de métodos para tareas de cálculo de saliencia, que abarca tanto tareas tradicionales de bajo nivel —como la detección de saliencia a nivel de píxel— como tareas emergentes a nivel de objeto, y utiliza enfoques como las transformaciones de distancia eficientes y las redes neuronales convolucionales profundas. El libro proporciona estudios empíricos y teóricos, además de detalles de implementación de estos métodos, y ofrece un trasfondo y un esquema de estas tareas de cálculo de saliencia
Zhao, X., J. Chen, T. Chen, Y. Liu, S. Wang, X. Zeng, J. Yan y G. Liu	2024	"Micro-expression recognition based on nodal efficiency in the EEG functional networks"	Comportamiento gestual, expresión facial	Se proporciona un nuevo enfoque para la detección de microexpresiones a partir de señales de EEG y para evaluar la viabilidad de la identificación de microexpresiones de señales de EEG. Se ofrece un nuevo neuroindicador para la microexpresión de felicidad (risa)

FUENTE: Banco de España.

Bibliografía

- Alsharif, A., N. Salleh y R. Baharun. (2021). "Neuromarketing: The popularity of the brain-imaging and physiological tools". *Neuroscience Research Notes*, 3(5). <https://doi.org/10.31117/neuroscircn.v3i5.80>
- Alsuradi, H., W. Park y M. Eid. (2020). "EEG-based neurohaptics research: A literature review". *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979855>
- Aroca Moya, B. (2023). "Conceptos, fundamentos y herramientas de neurociencia, y su aplicación al billete". Documentos de Trabajo, 2304, Banco de España. <https://doi.org/10.53479/29749>
- Atmaja, B., y A. Sasou. (2022). "Effects of data augmentations on speech emotion recognition". *Sensors*, 22(16). <https://doi.org/10.3390/s22165941>
- Ballesteros, S. (1993). "Percepción haptica de objetos y patrones realizados: una revisión". *Psicothema*, 5(2), pp. 311-321.
- Banco de México. (2021). "Características de los billetes mexicanos para facilitar su denominación a las personas con discapacidad visual". Documento de trabajo, Banco de México.
- Baurley, S., M. Fry, J. Evans, N. Bianchi, H. Singh, M. Bauer, W. Chowanski, Y. Sui y D. Atkinson. (2014). "The brain's response to pleasant touch: an EEG investigation of tactile caressing". *Frontier sin Human Neuroscienc*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00893>
- Botvinick, M., y J. Cohen. (1998). "Rubber hands 'feel' touch that eyes see". *Nature*, 395. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Burton, H., N. Abend, A. MacLeod, R. Sinclair, A. Snyder y M. Raichle. (1999). "Tactile attention tasks enhance activation in somatosensory regions of parietal cortex: a positron emission tomography study". *Cerebral Cortex*, 9. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.7.662>
- Cambria, E. (2016). "Affective Computing and Sentiment Analysis". *IEEE Intelligent Systems*, 31(2), pp. 102-107. <https://doi.org/10.1109/MIS.2016.31>
- Carrasco González, A. M., C. M. de la Corte de la Corte y J. M. León Rubio. (2010). "Engagement: un recurso para optimizar la salud psicosocial en las organizaciones y prevenir el burnout y estrés laboral". *Revista Digital de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 1. <http://hdl.handle.net/10272/5468>
- Cheng, S., J. Fan e Y. Hu. (2020). "Visual saliency model based on crowdsourcing eye tracking data and its application in visual design". *Personal and Ubiquitous Computing*, 27:613-630. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01463-7>
- Cherubino, P., A. C. Martinez-Levy, M. Caratù, G. Cartocci, G. di Flumeri, E. Modica, D. Rossi, M. Mancini y A. Trettel. (2019). "Consumer behaviour through the eyes of neurophysiological measures: State-of-the-art and future trends". *Computational Intelligence and Neuroscience*, 41. <https://doi.org/10.1155/2019/1976847>
- De Heij, H. (2015). "The 4m-model for banknote designers. Insight - international banknote designers association". *Researchgate*, 10(38).
- Dodgson, D., y J. Raymond. (2019). "Value associations bias ensemble perception". *Attention, Perception and Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01744-1>
- Dodgson, D., y J. Raymond. (2022). "Banknote authenticity is signalled by rapid neural responses". *Attention, Perception and Psychophysics*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05972-8>

- Eldeeb, S., D. Weber, J. Ting, A. Demir, D. Erdoganmus y M. Akcakaya. (2020). "EEG-based trial-by-trial texture classification during active touch". *Scientific Reports*, 10(20755). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77439-7>
- Faucheu, J., B. Weiland, M. Juganaru-Mathieu, A. Witt y P. Cornuault. (2019). "Tactile aesthetics: Textures that we like or hate to touch". *Acta Psychologica*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.102950>
- Ferrero, R., y B. Montruccchio. (2024). "Banknote identification through unique fluorescent properties". *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 21(2). <https://doi.org/10.1109/TDSC.2023.3267166>
- Fidalgo, E., L. Alegre, L. Fernández-Robles y V. González-Castro. (2019). "Fusión temprana de descriptores extraídos de mapas de prominencia multi-nivel para clasificar imágenes". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 16(4). <https://doi.org/10.4995/riai.2019.10640>
- Gangula, Y., S. Srivastava, A. Mohanty y P. Prakasam. (2023). "Investigation of various machine learning techniques for banknote authentication". Conference, 3rd Asian Conference on Innovation in Technology. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON58793.2023.10270276>
- Genevsky, A., C. Yoon y B. Knutson. (2017). "When brain beats behavior: neuroforecasting crowdfunding outcomes". *Journal of Neuroscience*, 37(36). <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1633-16.2017>
- Georgiadis, K., F. Kalaganis, V. Oikonomou, S. Nikolopoulos, N. Laskaris y L. Kompatsiaris. (2022). "NeuMark: A Riemannian EEG analysis framework for neuromarketing". *Brain Informatics*, 9(22). <https://doi.org/10.1186/s40708-022-00171-7>
- Giuliani, F., V. Manippa, A. Brancucci, L. Tommasi y D. Pietroni. (2018). "Side biases in euro banknotes recognition: The horizontal mapping of monetary value". *Front. Psychol*, 9(2293). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02293>
- Giuliani, F., V. Manippa, A. Brancucci, R. Palumbo, L. Tommasi y D. Pietroni. (2021). "How emotional is a banknote? The affective basis of money perception". *Psychological Research*, 85(8). <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01457-3>
- Goldstein, E., y J. Brockmole. (2016). *Sensation and Perception* (10th ed.). Wadsworth Publishing Company.
- Gordillo, F., J. Lozano, R. López, M. Pérez, J. Arana y L. Mestas. (2013). "Emoción, contexto verbal y percepción de la expresión facial: Dime quién eres y te diré cómo te percibo". *Ansiedad y Estrés*, 19. <http://hdl.handle.net/20.500.12020/600>
- Hamkim, A., y D. Levi. (2019). "A gateway to consumers' minds: Achievements, caveats, and prospects of electroencephalography-based prediction in neuromarketing". *WIREs Cogn Scis*, 1(21). <https://doi.org/10.1002/wcs.1485>
- Hernández, P. (2010). "Moldes. Test de estrategias cognitivo emocionales. Adaptación española". Test, TEA Ediciones.
- Homa, D., K. Kanav, P. Tripathi, L. Bratton y S. Panchanathan. (2009). "Haptic concepts in the blind". *Attention, Perception and Psychophysics*, 71(4). <https://doi.org/10.3758/APP.71.4.690>
- Horst, F. van der, J. Miedema, J. Snell y J. Theeuwes. (2020). "Banknote verification relies on vision, feel and a single second". *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3581541>

- Horst, F. van der, J. Snell y J. Theeuwes. (2021). "Enhancing banknote authentication by guiding attention to security features and manipulating prevalence expectancy". DNB Working Paper, 716, De Nederlandsche Bank. https://www.dnb.nl/media/qg0fdtl3/working_paper_no_716.pdf#:~:text=Here%20we%20tested%20whether%20counterfeit%20detection%20can%20be,of%20trust%20in%20the%20authenticity%20of%20the%20banknote
- Horst, F. van der, J. Snell y J. Theeuwes. (2020). "Finding counterfeited banknotes: the roles of vision and touch". *Cognitive Research: Principles and Implications*. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00236-3>
- Hua, Y., J. Ni y H. Lu. (2023). "An eye-tracking technology and MLP-based color matching design method". *Sci Rep. Jan*, 23(13). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28331-7>
- Kellman, P. J., y M. E. Arterberry. (2016). *Development of Perception in Infancy: The Cradle of Knowledge Revisited*. Oxford University Press.
- Khasnobish, A., S. Datta, R. Bose, D. Tibarewala y A. Konar. (2017). "Analyzing text recognition from tactually evoked EEG". *Cogn Neurodyn*, 11. <https://doi.org/10.1007/s11571-017-9452-2>
- Klatzky, R., y S. Lederman. (2010). *Multisensory Texture Perception*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5615-6_12
- Lee, C., W. Pei, Y. Lin, A. Granmo y K. Liu. (2023). "Emotion detection based on pupil variation". *Healthcare*, 11(322). <https://doi.org/10.3390/healthcare11030322>
- Manippa, V., F. Giuliani, A. Brancucci, L. Tommasi, R. Palumbo y D. Pietroni. (2021). "Affective perception of euro banknotes: cognitive factors and interindividual differences". *Psychological Research*, 85(1). <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01240-z>
- Milosavljevic, M., V. Navalpakkam, A. Rangel y C. Koch. (2012). "Relative visual saliency differences induce sizable bias in consumer choice". *Journal of Consumer Psychology*, 22(1). <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.10.002>
- Nasayreh, A., A. Jaradat, H. Gharabeih, W. Dawaghreh, R. Mehamad Al Mamlook, Y. Alqudah, Q. Al-Na'amneh, M. S. Daoud, H. Migdady y L. Abualigah. (2024). "Jordanian banknote data recognition: A CNN-based approach with attention mechanism". *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 36(4). <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.102038>
- Ojedo, F., y P. Macizo. (2023). "The value of banknotes: relevance of size, colour and design". *Psychological Research*, 87(6). <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01764-x>
- Ortuño, R., J. Sánchez, D. Álvarez, M. López-Soblechero y F. León. (2020). "Neurometrics applied to banknote and security features design". Documentos Ocasionales, 2008, Banco de España. <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/10447>
- Pang, Y., Y. Jiang, C. Wu y X. Yu. (2020). "Visual prominence detection using bagging-based prominence distribution learning". *Signal Processing: Image Communication*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115928>
- Parra, J., y R. Tamayo. (2020). "Medidas implícitas en cognición: Una aproximación al estudio de la automatidad". *Revista Colombiana de Psicología*, 30(1). <https://doi.org/10.15446/rcc.v30n1.85106>
- Picard, D., C. Dacremont, D. Valentín y A. Giboreau. (2003). "Perceptual dimensions of tactile texture". *Acta Psychologica*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.08.001>
- Raymond, J. (2017). "The importance of intaglio in the authentication of banknotes by the general public". *IBDA Insight*, 13.

- Raymond, J., y J. Scott. (2019). "Strategic eye movements are used to support object authentication". *Scientific Reports*, 1(9). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38824-z>
- Salanova, M., y W. Schaufeli. (2009). *El engagement en el trabajo: cuando el trabajo se convierte en pasión*. Alianza Editorial.
- Sijian, Z. (2024). "The research on banknote authenticity discrimination analysis algorithm based on wavelet transform features". *Journal of Artificial Intelligence Practice*, 7(1). <https://doi.org/10.23977/jaip.2024.070108>
- Sinico, M. (2023). "The phenomenology of tactile perception for design". *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(4). <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i4.2253>
- Stuldreher, V., N. Thammasan, J. Erp y A. Brouwer. (2020). "Physiological synchrony in EEG, electrodermal activity and heart rate reflects shared selective auditory attention". *J. Neural Eng.*, 17. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aba87d>
- Summers, I., R. Irwin y A. Brady. (2022). "Haptic discrimination of paper". *Sensors*, 44. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3_44
- Uribe, L., y P. Conde. (2021). "La asimetría cerebral, retos para la relación neuropsicología y educación". *Revista Lasallista de Investigación*, 18(2). <https://portalcientifico.unileon.es/documentos/64417be91ac2801007ed31e1>
- Verhulst, N., A. de Keyser, A. Gustafsson, P. Shams e Y. Van. (2019). "Neuroscience in service research: An overview and discussion of its possibilities". *Journal of Service Management*, 30(4). <https://doi.org/10.1108/JOSM-05-2019-0135>
- Wang, S., E. Toreini y F. Hao. (2021). "Anti-counterfeiting for polymer banknotes based on polymer substrate fingerprinting". *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 16. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2021.3067440>
- Yanagisawa, H., y K. Takatsuji. (2015). "Effects of visual expectation on perceived tactile perception: An evaluation method of surface texture with expectation effect". *International Journal of Design*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1096-7>
- Zhang, F., Y. Li, Q. Zeng y L. Lu. (2021). "Application of printing defects detection based on visual saliency". Conference Series, 1920 012053, *Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1920/1/012053>
- Zhang, J., F. Malmberg y S. Sclaroff. (2019). *Visual Saliency: From Pixel-Level to Object-Level Analysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04831-0>
- Zhao, X., J. Chen, T. Chen, Y. Liu, S. Wang, X. Zeng, J. Yan y G. Liu. (2024). "Microexpression recognition based on nodal efficiency in the EEG functional networks". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3347601>

PUBLICACIONES DEL BANCO DE ESPAÑA

DOCUMENTOS OCASIONALES

- 2320 BANCO DE ESPAÑA: La accesibilidad presencial a los servicios bancarios en España: Informe de seguimiento 2023. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2321 EDUARDO AGUILAR GARCÍA, MARIO ALLOZA FRUTOS, TAMARA DE LA MATA, ENRIQUE MORAL-BENITO, IÑIGO PORTILLO PAMPIN y DAVID SARASA FLORES: Una primera caracterización de las empresas receptoras de fondos NGEU en España.
- 2401 ALEJANDRO MORALES, MANUEL ORTEGA, JOAQUÍN RIVERO y SUSANA SALA: ¿Cómo identificar a todas las sociedades del mundo? La experiencia del código LEI (Legal Entity Identifier).
- 2402 XAVIER SERRA y SONSOLES GALLEGOS: Un primer balance del *Resilience and Sustainability Trust* del FMI como canal de utilización de los derechos especiales de giro. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2403 PABLO HERNÁNDEZ DE COS: El papel de la política macroprudencial en la estabilización de las fluctuaciones macrofinancieras. Conferencia de Estabilidad Financiera/Banco de Portugal, Lisboa (Portugal), 2 de octubre de 2023.
- 2404 MORTEZA GHOMI, SAMUEL HURTADO y JOSÉ MANUEL MONTERO: Análisis de la dinámica reciente de la inflación en España. Un enfoque basado en el modelo de Blanchard y Bernanke (2023).
- 2405 PILUCA ALVARGONZÁLEZ, MARINA ASENSIO, CRISTINA BARCELÓ, OLYMPIA BOVER, LUCÍA COBREROS, LAURA CRESPO, NAJIBA EL AMRANI, SANDRA GARCÍA-URIBE, CARLOS GENTO, MARINA GÓMEZ, PALOMA URCELAY, ERNESTO VILLANUEVA and ELENA VOZMEDIANO: The Spanish Survey of Household Finances (EFF): description and methods of the 2020 wave.
- 2406 ANA GÓMEZ LOSCOS, MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ SIMÓN y MATÍAS JOSÉ PACCE: Modelo para la previsión del PIB de la economía española a corto plazo en tiempo real (Spain-STING): nueva especificación y reevaluación de su capacidad predictiva. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2407 OLYMPIA BOVER, LAURA CRESPO, SANDRA GARCÍA-URIBE, MARINA GÓMEZ-GARCÍA, PALOMA URCELAY y PILAR VELILLA: Micro and macro data on household wealth, income and expenditure: comparing the Spanish Survey of Household Finances (EFF) to other statistical sources.
- 2408 ÁNGEL ESTRADA y CARLOS PÉREZ MONTES: Un análisis de la evolución de la actividad bancaria en España tras el establecimiento del gravamen temporal de la ley 38/2022.
- 2409 PABLO A. AGUILAR, MARIO ALLOZA, JAMES COSTAIN, SAMUEL HURTADO y JAIME MARTÍNEZ-MARTÍN: El efecto de los programas de compras de activos del Banco Central Europeo en las cuentas públicas de España. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2410 RICARDO BARAHONA y MARÍA RODRÍGUEZ-MORENO: Estimating the OIS term premium with analyst expectation surveys.
- 2411 JOSÉ MANUEL CARBÓ, HOSSEIN JAHANSHAHLOO y JOSÉ CARLOS PIQUERAS: Análisis de fuentes de datos para seguir la evolución de *Bitcoin*.
- 2412 IVÁN KATARYNIUK, RAQUEL LORENZO ALONSO, ENRIQUE MARTÍNEZ CASILLAS y JACopo TIMINI: An extended Debt Sustainability Analysis framework for Latin American economies.
- 2413 Encuesta Financiera de las Familias (EFF) 2022: métodos, resultados y cambios desde 2020.
- 2414 ÁNGEL ESTRADA, CARLOS PÉREZ MONTES, JORGE ABAD, CARMEN BROTO, ESTHER CÁCERES, ALEJANDRO FERRER, JORGE GALÁN, GERGELY GANICS, JAVIER GARCÍA VILLASUR, SAMUEL HURTADO, NADIA LAVÍN, JOËL MARBET, ENRIC MARTORELL, DAVID MARTÍNEZ-MIERA, ANA MOLINA,IRENE PABLOS y GABRIEL PÉREZ-QUIRÓS: Análisis de los riesgos sistémicos cíclicos en España y de su mitigación mediante requerimientos de capital bancario contracíclicos. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2415 CONCEPCIÓN FERNÁNDEZ ZAMANILLO y LUNA AZAHARA ROMO GONZÁLEZ: Facilitadores de la innovación 2.0: impulsando la innovación financiera en la era *fintech*.
- 2416 JAMES COSTAIN y ANTON NAKOV: Models of price setting and inflation dynamics.
- 2417 ARTURO PABLO MACÍAS FERNÁNDEZ e IGNACIO DE LA PEÑA LEAL: Sensibilidad a los tipos de interés soberanos de la cartera de colateral elegible para los préstamos de política monetaria.
- 2418 ANTONIO F. AMORES, HENRIQUE BASSO, JOHANNES SIMEON BISCHL, PAOLA DE AGOSTINI, SILVIA DE POLI, EMANUELE DICARLO, MARIA FLEVOTOMOU, MAXIMILIAN FREIER, SOFIA MAIER, ESTEBAN GARCÍA-MIRALLES, MYROSLAV PIDKUYKO, MATTIA RICCI and SARA RISCADO: Inflation, fiscal policy and inequality. The distributional impact of fiscal measures to compensate for consumer inflation.
- 2419 LUIS ÁNGEL MAZA: Una reflexión sobre los umbrales cuantitativos en los modelos de depósito de las cuentas anuales y su posible impacto en el tamaño empresarial en España.

- 2420 MARIO ALLOZA, JORGE MARTÍNEZ, JUAN ROJAS y IACOPO VAROTTO: La dinámica de la deuda pública: una perspectiva estocástica aplicada al caso español. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2421 NOEMÍ LÓPEZ CHAMORRO: El camino hacia la supremacía cuántica: oportunidades y desafíos en el ámbito financiero, la nueva generación de criptografía resiliente.
- 2422 SOFÍA BALLADARES y ESTEBAN GARCÍA-MIRALLES: Progresividad en frío: el impacto heterogéneo de la inflación sobre la recaudación por IRPF. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2423 JULIO ORTEGA CARRILLO y ROBERTO RAMOS: Estimaciones paramétricas del impuesto sobre la renta en 2019. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2424 PILAR L'HOTELLERIE-FALLOIS, MARTA MANRIQUE y DANilo BIANCO: Las políticas de la UE para la transición verde, 2019-2024. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2425 CATERINA CARVALHO-MACHADO, SABINA DE LA CAL, LAURA HOSPIDO, SARA IZQUIERDO, MARGARITA MACHELETT, MYROSLAV PIDKUYKO y ERNESTO VILLANUEVA: The Survey of Financial Competences: description and methods of the 2021 wave.
- 2426 MARINA DIAKONOVA, CORINNA GHIRELLI y JUAN QUIÑÓNEZ: Economic Policy Uncertainty in Central America and the Dominican Republic.
- 2427 CONCEPCIÓN FERNÁNDEZ ZAMANILLO y CAROLINA TOLOBA GÓMEZ: Sandbox regulatorio español: impacto en los promotores de los proyectos monitorizados por el Banco de España.
- 2428 ANDRES ALONSO-ROBISCO, JOSE MANUEL CARBO, EMILY KORMANYOS y ELENA TRIEBSKORN: Houston, we have a problem: can satellite information bridge the climate-related data gap?
- 2429 ALEJANDRO FERNÁNDEZ CEREZO, BORJA FERNÁNDEZ-ROSILLO SAN ISIDRO y NATIVIDAD PÉREZ MARTÍN: La perspectiva regional de la Central de Balances del Banco de España. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2430 JOSE GONZÁLEZ MÍNGUEZ: El informe Letta: un conjunto de recetas para dinamizar la economía europea.
- 2431 MARIYA MELNYCHUK y JAVIER MENCÍA: A taxonomy of macro-financial risks and policies to address them.
- 2432 DMITRY KHMETSHIN, DAVID LÓPEZ RODRÍGUEZ y LUIS PÉREZ GARCÍA: El mercado del alquiler de vivienda residencial en España: evolución reciente, determinantes e indicadores de esfuerzo.
- 2433 ANDRÉS LAJER BARON, DAVID LÓPEZ RODRÍGUEZ y LUCIO SAN JUAN: El mercado de la vivienda residencial en España: evolución reciente y comparación internacional.
- 2434 CARLOS GONZÁLEZ PEDRAZ, ADRIAN VAN RIXTEL y ROBERTO PASCUAL GONZÁLEZ: Navigating the boom and bust of global SPACs.
- 2435 PATROCINIO TELLO-CASAS: El papel de China como acreedor financiero internacional.
- 2436 JOSÉ RAMÓN MARTÍNEZ RESANO: CBDCs, banknotes and bank deposits: the financial stability nexus.
- 2501 PEDRO DEL RÍO, PAULA SÁNCHEZ, MARÍA MÉNDEZ, ANTONIO MILLARUELO, SUSANA MORENO, MANUEL ROJO, JACOPO TIMINI y FRANCESCA VIANI: La ampliación de la Unión Europea hacia el este: situación e implicaciones para la economía española y la Unión Europea.
- 2502 BANCO DE ESPAÑA: La accesibilidad presencial a los servicios bancarios en España: informe de seguimiento 2024.
- 2503 ANDRÁS BORSOS, ADRIAN CARRO, ALDO GLIELMO, MARC HINTERSCHWEIGER, JAGODA KASZOWSKA-MOJSA and ARZU ULLUC: Agent-based modeling at central banks: recent developments and new challenges.
- 2504 ANDRES ALONSO-ROBISCO, ANDRES AZQUETA-GAVALDON, JOSE MANUEL CARBO, JOSE LUIS GONZALEZ, ANA ISABEL HERNAEZ, JOSE LUIS HERRERA, JORGE QUINTANA y JAVIER TARANCON: Empowering financial supervision: a SupTech experiment using machine learning in an early warning system.
- 2505 JÉSSICA GUEDES, DIEGO TORRES, PAULINO SÁNCHEZ-ESCRIBANO y JOSÉ BOYANO: Incertidumbre en el mercado de bonos: una propuesta para identificar sus narrativas con GDELT.
- 2506 LAURA JIMENA GONZÁLEZ GÓMEZ, FERNANDO LEÓN, JAIME GUIXERES PROVINCIALE, JOSÉ M. SÁNCHEZ y MARIANO ALCAÑIZ: Evolución de la investigación neurocientífica del efectivo: revisión y perspectivas actuales.