

CONCEPTOS, FUNDAMENTOS Y
HERRAMIENTAS DE NEUROCIENCIA,
Y SU APLICACIÓN AL BILLETE

2023

BANCO DE **ESPAÑA**
Eurosistema

Documentos Ocasionales
N.º 2304

Belén Aroca Moya

**CONCEPTOS, FUNDAMENTOS Y HERRAMIENTAS DE NEUROCIENCIA,
Y SU APLICACIÓN AL BILLETE**

CONCEPTOS, FUNDAMENTOS Y HERRAMIENTAS DE NEUROCIENCIA, Y SU APLICACIÓN AL BILLETE

Belén Aroca Moya

BANCO DE ESPAÑA

<https://doi.org/10.53479/29749>

Documentos Ocasionales. N.º 2304

Marzo 2023

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, 2023

ISSN: 1696-2230 (edición electrónica)

Resumen

El neurodiseño y el diseño emocional se aplican en el desarrollo de productos que conecten con la visión y el estilo de vida de los consumidores. Esta tendencia también afecta a los billetes: son necesarios diseños más seguros y fiables que logren representar a los ciudadanos y despertar un sentimiento de orgullo al utilizarlos.

El objetivo de este documento es compilar los conceptos y fundamentos clave de la neurociencia, la percepción y el diseño, así como ofrecer una visión general de la neurociencia y de las técnicas de análisis aplicadas al ciclo de vida del billete: el diseño de billetes y de sus elementos de seguridad, la discriminación de reproducciones ilegítimas y la evaluación de defectos de fabricación para la gestión de la calidad.

Las técnicas de análisis neurométrico constituyen una herramienta eficaz para cuantificar el impacto de la estimulación sensorial de la percepción del billete y evaluar diferentes procesos cognitivos, como el interés visual, la memoria, las emociones o la atención sostenida en las diferentes zonas de interés del billete, tal y como se describe en los distintos estudios de percepción analizados en este documento. Esta información, junto con el análisis de los diferentes modelos perceptivos de los usuarios (incluidas las personas con problemas de visión), permite desarrollar diseños de billetes capaces de responder a las necesidades de los usuarios y facilitar la identificación de los elementos de seguridad incluidos.

La introducción de nuevas tendencias, como la tactilidad, el estudio de la voz, la realidad virtual o la inteligencia artificial, contribuye a la continua adaptación y evolución de la neurociencia y de sus herramientas.

Fruto de esta combinación de neurodiseño, realidad virtual y tecnologías de inteligencia artificial, surge el proyecto Neurocash, desarrollado en colaboración por el Banco de España y el Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas del Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería de la Universitat Politècnica de València. El objetivo del proyecto es conseguir desarrollar un efectivo que cumpla con los requisitos como medio de pago atractivo, fácil de identificar y seguro, y con las demandas del público y de otras partes interesadas de la sociedad.

Palabras clave: neurociencia, percepción, neurodiseño, billetes, cognición, elementos de seguridad, emociones, atención, Neurocash.

Códigos JEL: D87, E42.

Abstract

Neurodesign and emotional design are applied in the development of products that connect with consumers' vision and lifestyle. These techniques are also used for banknotes, as more secure and reliable designs are needed, which the public can identify with and be proud to use.

The aim of this paper is to outline the key concepts and fundamentals of neuroscience, perception and design. It also provides an overview of neuroscience and its analytical techniques as applied to the banknote lifecycle: the design of banknotes and security features, the detection of illegal reproductions, and the assessment of manufacturing defects for quality management.

Neurometric analysis techniques are an effective tool for quantifying the impact of sensory stimulation on banknote perception, and for assessing different cognitive processes such as visual interest, memory, emotions and sustained attention on the different areas of interest on the banknote, as described in the different perception studies analysed in this document. This information, together with the analysis of the different perceptual models of users, including visually impaired people, enables the development of banknote designs capable of responding to users' needs and facilitating the identification of the security features included.

The introduction of new trends, such as tactility, the study of voice, virtual reality and artificial intelligence, contributes to the continuous adaptation and evolution of neuroscience and its tools.

This combination of neurodesign, virtual reality and artificial intelligence technologies has given rise to the Neurocash project, developed in collaboration between the Banco de España and Immersive Neurotechnologies Lab (LENI) of the Bioengineering Research & Innovation Institute (I3B) - Universitat Politècnica de València. The aim of the project is to develop cash that meets the demand of the public and other stakeholders in society for an attractive, easy-to-identify and secure payment method.

Keywords: neuroscience, perception, neurodesign, banknotes, cognition, security features, emotions, attention, Neurocash.

JEL classification: D87, E42.

Índice

Resumen 5

Abstract 6

1 Introducción 8

2 Conceptos y fundamentos sobre neurociencia y percepción 10

2.1 Neurociencia 10

2.2 Percepción 13

2.2.1 Percepción fisiológica y procesos neurológicos 13

2.2.2 Percepción del billete en personas con dificultad en la visión 14

2.2.3 Percepción psicológica 20

3 Conceptos y fundamentos de diseño 24

4 Conceptos y fundamentos de neurodiseño y de diseño emocional 27

4.1 Neurodiseño 27

4.2 Diseño emocional 28

5 Neurociencia aplicada al diseño de billetes y a sus elementos de seguridad 32

5.1 Herramientas neurométricas para estudios 32

5.1.1 Medidas conscientes o explícitas 33

5.1.2 Medidas inconscientes o implícitas 33

5.2 Estudios neurométricos para billetes y elementos de seguridad 35

5.3 Tendencias en estudios neurométricos 43

5.4 Neurocash: una nueva forma de diseñar el efectivo 45

6 Conclusiones 48

Bibliografía 50

1 Introducción

El efectivo sigue constituyendo el medio de pago más utilizado a escala mundial, aunque convive con el avance de las tecnologías y el desarrollo de aplicaciones y dispositivos que permiten acceder al dinero del banco a través de teléfonos móviles, así como con la aparición de nuevos activos digitales monetarios, como las criptomonedas.

El dinero en efectivo se caracteriza por constituir un medio de pago seguro, de confianza y de carácter universal, que puede ser utilizado por todos los usuarios de la sociedad, sin necesidad de tener una cuenta bancaria o acceso a dispositivos móviles. El efectivo se presenta como uno de los productos más utilizados diariamente por cualquier usuario, independientemente de su edad, sexo o clase social. Por este motivo, los billetes y las monedas presentan un gran valor social, y son utilizados por los Gobiernos para favorecer la autonomía, la inclusión y la cohesión social de los individuos, y promover y resaltar los valores que caracterizan a la sociedad que representan¹.



Divisas del mundo.
Fuente: Banco de España.

Se busca que los billetes sean no solo más seguros y duraderos, sino también capaces de captar la atención y generar emociones positivas en los usuarios. El desarrollo de las técnicas y herramientas neurométricas ha favorecido el estudio de la percepción de los billetes, que aporta información de gran utilidad para conocer el comportamiento y la opinión de los individuos sobre el diseño y los diferentes elementos de seguridad incluidos. Además, la creación de modelos adaptados a la percepción del usuario favorece la identificación de los elementos de seguridad y facilita la discriminación de reproducciones ilegítimas. Por otra

¹ AGIS Consulting, s.f.

parte, gracias a estos modelos se podrá analizar el comportamiento de los usuarios ante la discriminación de fallos producidos durante el proceso de fabricación de los billetes.

La combinación de las técnicas neurométricas, junto con el desarrollo de tecnologías de realidad virtual, supone una metodología innovadora que favorecerá el desarrollo de prototipos virtuales. La utilización de estos prototipos, de igual calidad y eficiencia que un billete físico, permitirá realizar estudios de percepción a partir de técnicas neurométricas, con la consiguiente disminución de los costes y tiempos de producción de las familias de billetes, así como comparar las características de diferentes familias de forma rápida y efectiva.

2 Conceptos y fundamentos sobre neurociencia y percepción

En el siguiente apartado se recopilan los conceptos y fundamentos sobre los que se basa la neurociencia, así como los diferentes factores que intervienen en el proceso de percepción visual.

2.1 Neurociencia

La neurociencia constituye una disciplina centrada en el estudio de la organización de los sistemas nerviosos para la explicación del funcionamiento de la conducta humana². Esta integra un conjunto de disciplinas científicas encargadas de estudiar la estructura y la función del sistema nervioso y de cómo interactúan sus diferentes elementos y dan lugar a las bases biológicas de la conducta³.

Esta disciplina busca comprender la relación existente entre la mente, la conducta y la actividad propia en el sistema nervioso. Además, supone un enfoque revolucionario en el entendimiento de la conducta humana, así como en el aprendizaje y almacenamiento de la información en el cerebro, al conocerse cuáles son los procesos biológicos que favorecen el aprendizaje⁴. El desarrollo conjunto de neurociencia y psicología ha favorecido el entendimiento de la conducta humana ante la percepción de estímulos, analizando cómo las emociones, la memoria, el apego u otros factores sociales y ambientales pueden influir en el procesamiento, tanto consciente como inconsciente, de la información.

La utilización de técnicas neurocientíficas permite identificar la relación existente entre el conjunto de estímulos percibidos y la reacción o actividad neuronal generada en el usuario. Para comprender cómo son captados y procesados los estímulos por el cerebro, es necesario analizar los procesos cognitivos involucrados. Para ello, se definen los siguientes parámetros que influyen en la anatomía de la cognición:

Emoción

Las emociones constituyen un fenómeno inherente al ser humano y pueden manifestarse como un estado reaccional puntual o un estado de ánimo prolongado en el tiempo. Las emociones causan diferentes estados de excitación en los usuarios, lo que genera reacciones físicas y psicológicas que condicionan o influyen en el comportamiento y el pensamiento humanos. Mediante la expresión de las emociones es posible comunicarse e interactuar con otros usuarios, ya que estas pueden percibirse a través de la expresión facial, los gestos, la postura corporal, y el tono y el volumen de la voz⁵.

Se puede considerar que las emociones presentan tres componentes diferentes. El *fisiológico* hace referencia a los procesos involuntarios que experimenta el individuo como

² Purves, 2008.

³ Rodríguez Naranjo, 2017a.

⁴ Rodríguez Naranjo, 2017b.

⁵ Sánchez Márquez, 2018.

consecuencia de los cambios de actividad en el sistema nervioso central, el endocrino y el autónomo. Estos pueden ser la tonicidad muscular, la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca y la presión sanguínea. El *cognitivo* hace referencia al procesamiento de la información, tanto consciente como inconsciente, que participa e influye en el procesamiento, organización e interpretación de los sucesos. Por último, el *conductual* hace referencia a las variaciones en la conducta verbal y no verbal, como la postura y el tono y el volumen de la voz.

Hay diferentes teorías para la clasificación de las emociones. Una de las más extendidas defiende la existencia de dos tipos: las primarias y las secundarias. Las *emociones primarias* son aquellas consideradas innatas, ya que responden a un estímulo específico presente en el instante en el que se genera la emoción. Estas emociones se caracterizan por presentar un modelo manifiesto de comunicación verbal y no verbal universal, lo que favorece su identificación. Dentro de este grupo se diferencian seis emociones distintas: alegría, tristeza, ira, miedo, disgusto y sorpresa.



Emociones primarias. Fuentes: Sánchez Márquez (2018) y elaboración propia.

Por otro lado, las *emociones secundarias* se caracterizan por ser particulares de cada sujeto, debido al significado que integra el estímulo desencadenante. Dentro de este grupo se incluyen diferentes emociones: ansiedad, hostilidad, amor y humor.

Atención

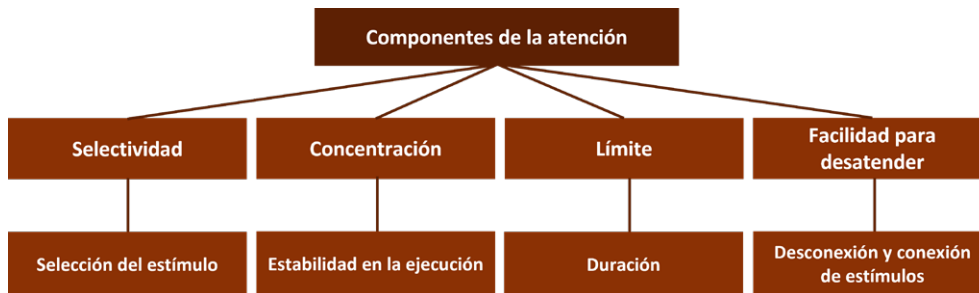
La atención constituye una capacidad cognitiva que permite disponer de los recursos cerebrales para el correcto procesamiento de la información de los estímulos captados. Los procesos o acciones que se encuentran internamente automatizados conllevan una activación menor de los recursos cerebrales involucrados, lo que favorece la simultaneidad en el procesamiento de varios estímulos. Sin embargo, ante un proceso o actividad que demande mayor control, será necesario involucrar mayor cantidad de recursos cerebrales, desatendiendo o desactivando los eventos secundarios⁶.

En función de las regiones del cerebro involucradas en el procesamiento de la información, se pueden distinguir cuatro componentes que definen la atención:

- *Selectividad*: capacidad para seleccionar un estímulo frente a otros percibidos, mediante la acción del lóbulo parietal izquierdo.

⁶ Sánchez Márquez, 2018.

- *Vigilancia o concentración*: estabilidad en la ejecución favorecida por la acción de los lóbulos frontal y parietal derecho.
- *Límite*: capacidad para gestionar la duración de los estímulos auditivos o verbales por acción del lóbulo parietal izquierdo.
- *Facilidad para desatender*: capacidad para la desconexión de un estímulo y posterior conexión a uno nuevo. Este proceso es coordinado por la acción del lóbulo temporal, el mesencéfalo y el tálamo.



Componentes de la atención. Fuentes: Sánchez Márquez (2018) y elaboración propia.

Generalmente, la atención se divide en dos tipos: exógena (o *bottom-up*) y endógena (o *up-down*). La *atención exógena* constituye un proceso automático o pasivo, es decir, que se lleva a cabo de forma involuntaria por acción de los estímulos. Este tipo de atención posibilita que los individuos puedan adaptarse y sobrevivir al medio, al ofrecer la capacidad de redirigir su atención a los estímulos del entorno. Por otro lado, la *atención endógena* constituye un proceso consciente y controlado en la percepción del estímulo, donde se seleccionarán unos estímulos frente a otros en función de diferentes criterios o atributos estimulares.

Memoria

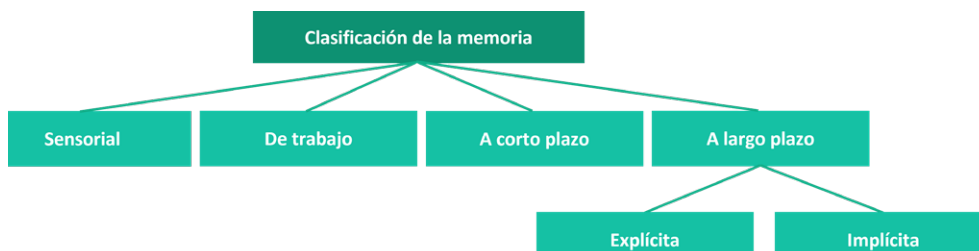
La memoria es un concepto que hace referencia a los procesos que permiten el almacenamiento, la conservación y la reproducción de la información en el cerebro. La clasificación general de los tipos de memoria distingue entre memoria a largo plazo (MLP) y memoria a corto plazo (MCP), aunque también pueden incluirse la memoria sensorial y la memoria de trabajo. La *memoria sensorial* comprende el almacenamiento de la información percibida a través de los sentidos tras la experiencia sensorial durante un corto período. Esta se clasifica en icónica, relacionada con información visual precategorial, ecoica, relacionada con información auditiva precategorial, y háptica, relacionada con información cutánea. La *memoria de trabajo* comprende el almacenamiento temporal de información durante el tiempo de uso de dicha información. La *memoria a corto plazo* confiere una capacidad limitada para retener pequeñas cantidades de información, de forma que se encuentren disponibles de manera inmediata durante un corto período, entre 15 y 30 segundos. Por último, la *memoria a largo plazo* constituye una red organizada de conocimientos donde cada elemento de información se encuentra interconectado con el resto: la información adquirida se puede almacenar durante un período que puede oscilar entre minutos y años.

Este tipo de memoria se divide a su vez en *memoria explícita*, que comprende un recuerdo consciente de la información, y *memoria implícita*, relacionada con un recuerdo inconsciente o automático de la información⁷.

2.2 Percepción

Actualmente, los modelos de visión se centran en un estudio interdisciplinar de la percepción visual, mediante la explicación de factores fisiológicos, neurológicos y psicológicos.

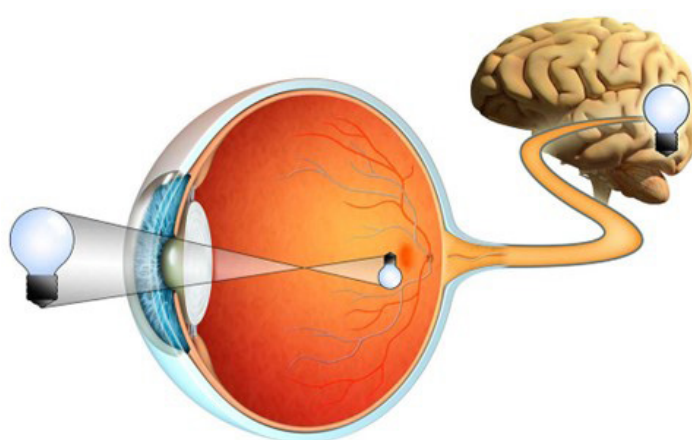
2.2.1 Percepción fisiológica y procesos neurológicos



Clasificación de la memoria. Fuentes: Sánchez Márquez (2018) y elaboración propia.

A escala fisiológica, el fenómeno de la percepción visual comienza en los ojos. Los fotorreceptores de la retina son los encargados de transformar el haz de luz captado en un impulso eléctrico, transmitido por las células ganglionares al nervio óptico. Esta información sensorial se distribuye hasta llegar al tálamo, que funciona como centro de control y distribución, enviando la información al córtex, en el lóbulo occipital. En el lóbulo parietal se encuentra la zona sensitiva primaria, dividida en diferentes áreas, donde se produce un procesamiento inicial de la información, que ofrece una visión general del objeto, de su color, forma, profundidad, distancia y movimiento⁸.

Seguidamente, la información procesada se transmite al córtex de asociación visual, donde se produce un procesamiento más complejo vinculado a factores subjetivos y emocionales,



Procesamiento de las imágenes.
Fuente: Molas, 2021.

⁷ Sánchez Márquez, 2018.

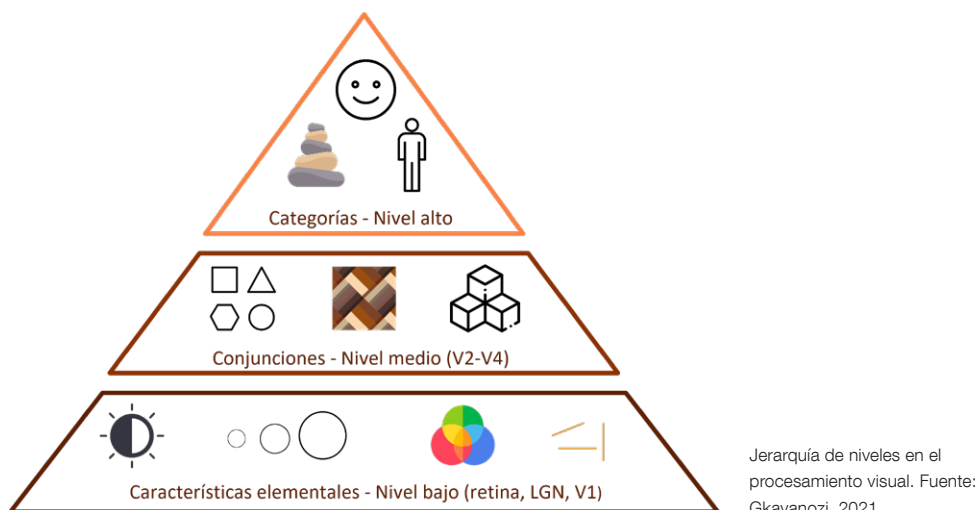
⁸ Alberich, Gómez Fontanills y Ferrer Franquesa, s.f.a.

como la experiencia, el razonamiento y la identidad de los individuos, entre otros. De esta forma, se otorga un significado al objeto y se constituye un modelo de percepción consciente⁹.

Procesamiento de las escenas visuales

El procesamiento de las escenas visuales constituye un proceso gradual, ordenado de forma jerárquica. En el primer nivel o nivel bajo se produce el procesamiento de las características elementales, como la identificación de figuras simples, el color o el contraste. En el nivel medio, con la implicación de regiones cerebrales más avanzadas, tiene lugar la combinación de los rasgos elementales, en conjunciones, lo que favorece la percepción de características como la forma, la textura o la profundidad de los objetos. Finalmente, en el nivel alto el cerebro realiza una categorización de los elementos percibidos¹⁰.

El reconocimiento de objetos en el nivel alto implica una acumulación de información sensorial suficiente para establecer una asociación eficiente entre la información entrante percibida y la información interna almacenada en el cerebro. La ejecución de este proceso se caracteriza por presentar un componente de codificación predictiva. Este modelo explica la capacidad del cerebro para anticipar la aparición de un objeto basándose en factores aprendidos y contextuales, lo que permite ejecutar un procesamiento de la información con mayor sensibilidad a las señales sensoriales relevantes. Este proceso, a pesar de que permite realizar un reconocimiento rápido y flexible de los objetos, dificulta la detección de señales sensoriales más sutiles. Por tanto, para lograr identificar las diferencias o sutilezas entre el elemento percibido y la imagen generada de este en el cerebro, es necesario recurrir a un procesamiento secundario de la información, mediante atención sostenida y memoria de trabajo¹¹.



2.2.2 Percepción del billete en personas con dificultad en la visión

El diseño de los billetes debe estar basado en el desarrollo de un diseño universal, entendido como el diseño de productos y entornos accesibles para el mayor número de usuarios,

⁹ Alberich, Gómez Fontanills y Ferrer Franquesa, s.f.a.

¹⁰ Alberich, Gómez Fontanills y Ferrer Franquesa, s.f.a.

¹¹ Dodgson y Raymond, 2022.

sin necesidad de adaptarlos o rediseñarlos. Es necesario considerar que no todas las personas presentan las mismas capacidades perceptivas. Por tanto, para el desarrollo del diseño principal del billete, así como de los elementos de seguridad incluidos, será de gran importancia definir colores, formas y tamaños de fuentes y figuras que faciliten la lectura y el reconocimiento del billete a este colectivo.

Por ello, los bancos centrales han tomado en consideración las necesidades expuestas por los usuarios, con el objetivo de lograr diseñar nuevas series de billetes adaptados que logren generar un sentimiento de integración en los usuarios.



Visión normal



Daltonismo



Visión parcial



Ceguera

Percepción del billete por usuarios daltónicos, invidentes y con visión parcial o reducida. Fuente: Elaboración propia con imágenes del Banco de España.

Percepción del billete por usuarios daltónicos

Para favorecer la percepción de los usuarios daltónicos se busca desarrollar e implantar un esquema de colores para el diseño de los billetes que sea adecuado tanto para las personas daltónicas como para los videntes normales. Además, para aquellas denominaciones que presentan uno o más dígitos en común no se deben utilizar colores que sean contiguos en el esquema de color diseñado, para eliminar o disminuir las probabilidades de equivocación en los usuarios.

Generalmente, los colores primarios, como el amarillo, el azul o el magenta, se designan a los billetes que presentan un mayor nivel de uso, y el resto de los colores se utilizan para identificar las denominaciones más altas. Por tanto, para favorecer la percepción de las personas daltónicas, el diseño de los billetes debería ser monocromático, a partir de la utilización de colores vivos, evitando los colores pastel y los colores en escala de grises¹².

¹² De Heij, 2009, pp. 21-38.



Gama cromática empleada en la producción de billetes en euros frente a gama cromática adaptada a usuarios. Fuente: De Heij, 2009, p. 34.

Sin embargo, el diseño de un billete monocromático a partir de un color vivo podría resultar fácilmente falsificable. Por este motivo, los billetes en euros presentan dos zonas diferenciadas: una más clara y otra con mayor densidad de color. De esta forma, los falsificadores deben recrear diferentes tonalidades del color escogido para el diseño.

Percepción del billete por usuarios con visión parcial o reducida

La evolución de la sociedad y de las tecnologías utilizadas en el diseño de los elementos de seguridad de los billetes ha favorecido el desarrollo de múltiples diseños a partir de la variación de la disposición de los diferentes elementos incluidos, como el número del valor facial, el motivo de coincidencia o la banda holográfica, entre otros.



Diferenciación entre las zonas de baja y de alta densidad del billete. Fuente: Banco de España.

Sin embargo, para los usuarios que presentan visión parcial o reducida, es recomendable que el valor facial del billete alcance una altura de 22 milímetros y que siempre se encuentre en la misma posición para facilitar su reconocimiento. Por otro lado, se aconseja crear un contraste claro entre el fondo del diseño del billete y el número que representa el valor facial. Algunos bancos centrales consiguen generar este contraste imprimiendo la denominación del billete en un tono oscuro sobre fondo claro, o viceversa¹³.



Contraste en negativo

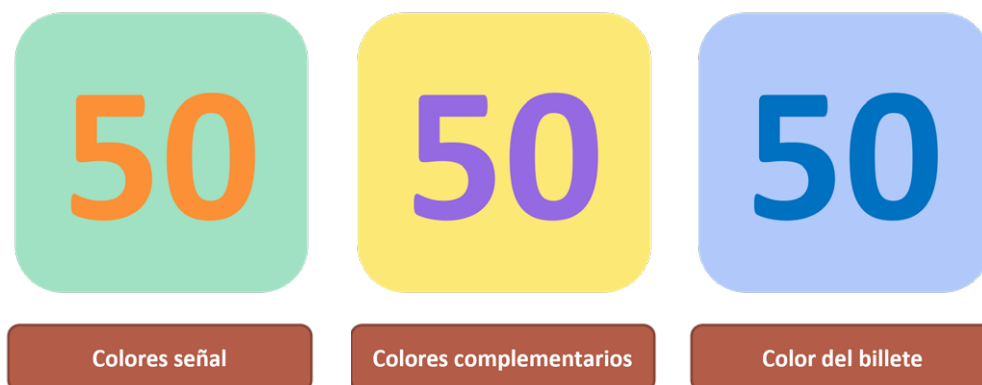


Contraste en positivo

Contraste negativo frente a contraste positivo para generar contraste en la percepción. Fuentes: Banco de España y elaboración propia.

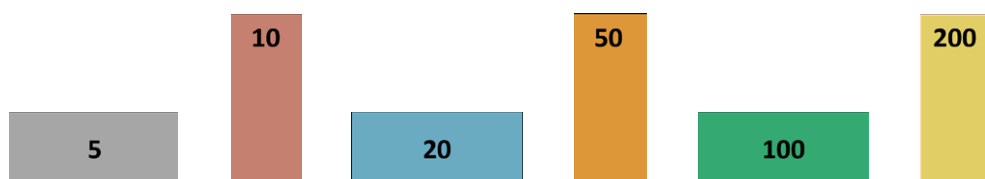
¹³ De Heij, 2009, pp. 39-68.

Este contraste también podría conseguirse mediante la utilización de colores señal o colores complementarios, que resaltan la denominación del billete sobre el fondo de este. Sin embargo, la mayoría de los bancos centrales optan por crear el contraste mediante la introducción del valor facial, del mismo color del billete, sobre un fondo discreto. Esto se debe a la consideración de que colores tan llamativos podrían competir con el color principal del diseño del billete y confundir a los usuarios.



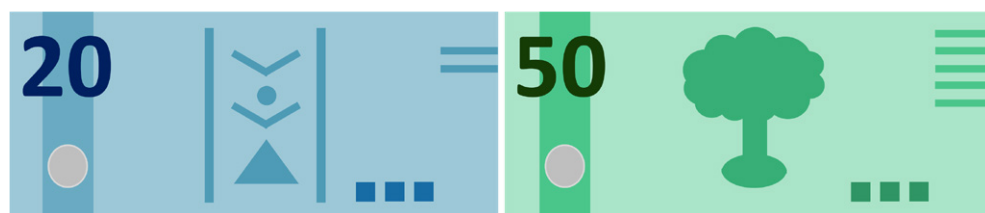
Utilización de colores señal, colores complementarios y mismo color del billete. Fuente: Elaboración propia.

Otro método para favorecer la percepción y el reconocimiento de los diferentes billetes se centra en la variación de la orientación en su diseño, lo que facilita la distinción individual de los billetes dentro de una serie.



Variación de la orientación en el diseño de billetes. Fuente: Elaboración propia.

Por último, una de las mejores técnicas para lograr que los usuarios recuerden las características del motivo principal del billete consiste en diseñarlo a partir de siluetas impresas en diferentes colores. Esto se debe a que las siluetas presentan bajas frecuencias espaciales, que son más fácilmente percibidas que los detalles de la propia imagen, con frecuencias espaciales más altas. El diseño conceptual de estas siluetas es muy variado, aunque destacan los motivos realistas, como edificios, flora, fauna y retratos, y los motivos abstractos, contruidos a partir de la combinación de formas geométricas.

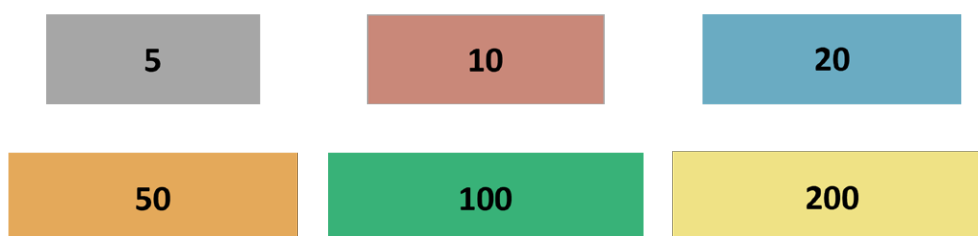


Diseño de billete con motivos abstractos frente a diseño con motivos realistas. Fuente: Elaboración propia.

Percepción del billete por usuarios invidentes

Las personas invidentes presentan gran dificultad para percibir y diferenciar las distintas denominaciones de los billetes durante las transacciones que se realizan en el día a día, aunque, a través del desarrollo del diseño y el estudio de las necesidades de los usuarios, se ha favorecido la introducción de nuevos elementos que contribuyen a la correcta identificación de las diferentes denominaciones¹⁴.

Una de las técnicas más extendidas consiste en diseñar una familia de billetes con una diferencia incremental en las longitudes de estos. De esta forma, las denominaciones inferiores presentarán las longitudes más cortas, mientras que las denominaciones más altas presentarán las dimensiones más largas. Las dimensiones en la altura de los billetes no necesitan ser modificadas, pues los billetes que presentan un diseño con altura uniforme favorecen su manipulación y guardado.



Variación de las dimensiones en el diseño de la familia de billetes. Fuente: Elaboración propia.

Otra de las técnicas más extendidas consiste en la introducción de estructuras táctiles codificadas, impresas mediante impresión calcográfica, en las diferentes denominaciones de una familia de billetes. En función de la familia de billetes estudiada, este tipo de estructuras táctiles constituyen diferentes sistemas de lectura, adoptando diversas formas y disposiciones.

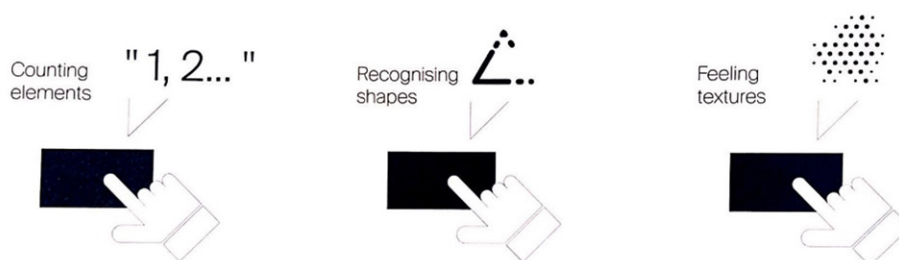
A partir del estudio de las diferentes estructuras presentes en las familias de billetes procedentes de cada continente, se puede establecer una clasificación en tres tipos diferentes: braille, formas geométricas y recuento.



Estructuras táctiles en billetes alrededor del mundo.
Fuente: SICPA y DEMAIN, 2017.

¹⁴ De Heij, 2009, pp. 69-86.

Para el desarrollo del estudio de tactilidad analizado por la empresa de diseño DEMAIN y la empresa proveedora de tintas de seguridad SICPA, se definieron tres principios de identificación basados en interacciones específicas entre los usuarios y los billetes: el recuento de elementos, la identificación de formas y el tacto de diferentes texturas.

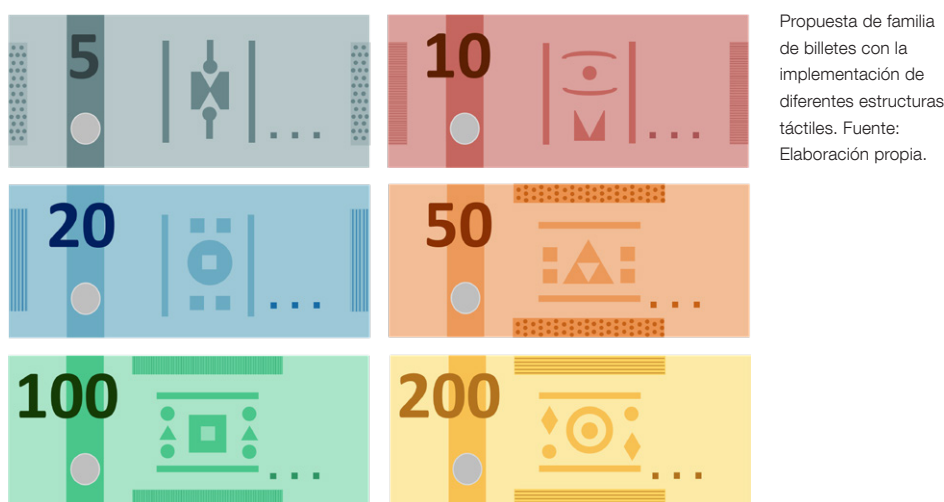


Principios para la identificación. Fuente: SICPA y DEMAIN, 2017.

Tras el análisis de distintos sistemas testados por los usuarios, el estudio validó que el principio de reconocimiento de diferentes texturas constituía un elemento efectivo para lograr la diferenciación entre las denominaciones de una familia de billetes. A partir del tacto con los dedos producido sobre la superficie texturizada, constituida a partir de estructuras formadas por puntos y líneas, los usuarios experimentaron sensaciones con características individuales que les permitieron identificar las diferentes denominaciones¹⁵.

Por tanto, a partir de la introducción de tres estructuras táctiles diferentes (puntos, guiones y líneas), plantearon el diseño de una familia de billetes con seis denominaciones, combinando la posición de las estructuras táctiles entre el borde largo y el borde corto del billete.

Asimismo, para favorecer la identificación de las denominaciones, se recomienda que los billetes que presentan una o más cifras en común compartan una estructura táctil similar, lo que favorece la asociación y el reconocimiento de los billetes durante las diferentes transacciones.



¹⁵ SICPA y DEMAIN, 2017.

Derivada de esta tendencia, surge una técnica consistente en dotar de estructuras táctiles a los números que constituyen el valor facial del billete. De esta forma, los límites o contornos de las cifras, impresas mediante impresión calcográfica, delimitan la ruta que los usuarios deberían seguir; esto facilita el proceso de percepción y elimina la necesidad de que dichas estructuras deban estar codificadas.

Por último, destaca la utilización de la lámina de impresión, ya sea papel, polímero o un material híbrido, como elemento para facilitar la percepción y correcta orientación de los billetes. Esto se consigue gracias a la introducción de un anverso liso frente a un reverso rugoso, o viceversa. Además, mediante la introducción de otros elementos de seguridad, como ventanas o parches holográficos, se posibilita la identificación de la parte superior del billete frente a la inferior¹⁶.



Anverso liso frente a reverso rugoso. Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Percepción psicológica

La teoría de la Gestalt, desarrollada a principios del siglo XX, constituye una corriente de pensamiento filosófico que define la visión como un proceso de percepción activa, es decir, no solo considera cómo recibe el ojo la información del estímulo, sino cómo estos estímulos son estructurados y procesados en el cerebro. Este estudio de los procesos mentales implicados sitúa la percepción como centro de la toma de decisiones del individuo, condicionando su pensamiento. El cerebro tiende a simplificar y organizar las imágenes percibidas, lo que disminuye su complejidad para facilitar su reconocimiento y procesado¹⁷.

Esta concepción sintética de la visión se expresa en la premisa de que «el todo es mayor que la suma de sus partes». Por tanto, esto implica que las experiencias no solo se componen de la suma de los estímulos percibidos por nuestros sentidos; también hay que considerar el procesado mental de estos mediante la experiencia y subjetividad propias¹⁸.

Los autores de la Gestalt desarrollaron una serie de principios básicos, denominados «leyes de la visión», donde describían el proceso de percepción visual tomando como idea principal la tendencia del individuo a unir y relacionar los estímulos percibidos en grupos.

¹⁶ De Heij, 2009, pp. 69-86.

¹⁷ Alberich, Gómez Fontanills y Ferrer Franquesa, s.f.b.

¹⁸ Anasaci, 2020.

Ley de proximidad

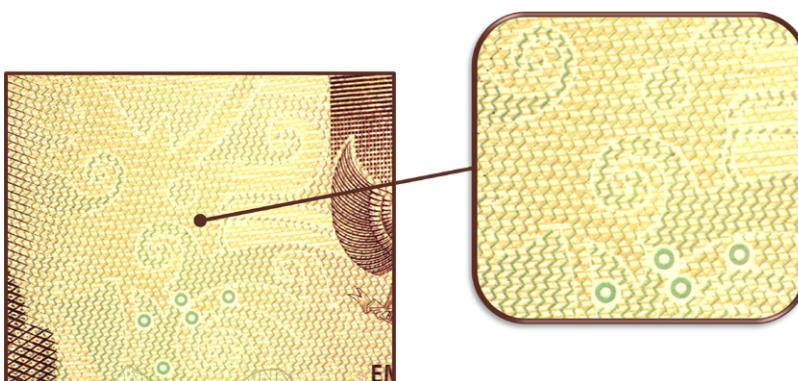
Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a agrupar las formas o elementos más próximos en el espacio.



Ley de proximidad.
Fuente: Banco de España.

Ley de semejanza

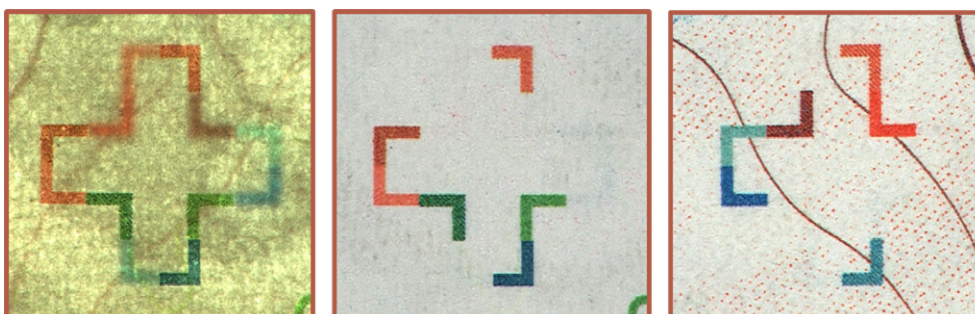
Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a percibir los elementos similares como parte de un grupo o elemento común.



Ley de semejanza.
Fuente: Banco de España.

Ley de cierre

Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a percibir más fácilmente las líneas que delimitan una superficie que aquellas que no llegan a cerrarse.



Ley de cierre. Fuente: Banco de España.

Ley de la buena continuidad

Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a seguir el camino más coherente y con continuidad de forma.



Ley de la buena continuidad.
Fuente: Banco de España.

Ley del movimiento común

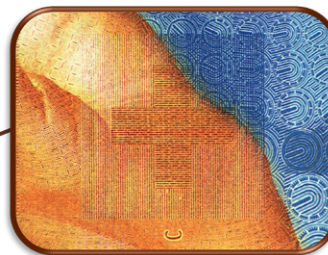
Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a percibir aquellos elementos que se mueven en la misma dirección como parte de un grupo.



Ley del movimiento común. Fuente: Banco de España.

Ley de la pregnancia o simetría

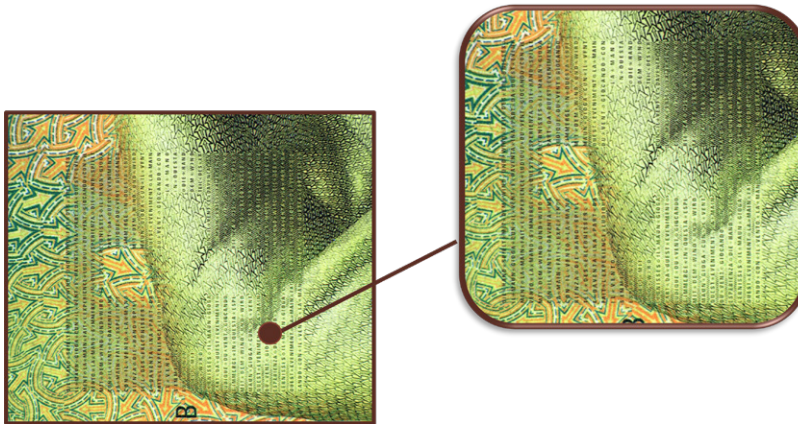
Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a agrupar aquellos elementos que presentan mayor grado de simetría y orden.



Ley de la pregnancia o simetría. Fuente: Banco de España.

Ley de figura y fondo

Establece que, en igualdad de condiciones, se tiende a separar el objeto percibido de lo que lo rodea.



Ley de figura y fondo. Fuente: Banco de España.

3 Conceptos y fundamentos de diseño

El diseño industrial es una disciplina que, a través del estudio del mercado y la identificación de las necesidades de empresas y usuarios, busca captar oportunidades de desarrollo y ofrecer soluciones innovadoras y creativas.

El proceso de diseño de un producto abarca tanto su creación como su desarrollo, es decir, desde la conceptualización e ideación inicial, pasando por el diseño, prototipado y validación, hasta su producción e industrialización. Por ello, la finalidad de esta disciplina busca ofrecer un producto que concilie los factores estéticos con su función utilitaria, considerando los requerimientos y las exigencias del consumidor, los materiales más adecuados y los procesos de fabricación que mejor se adapten a una producción económica y de calidad.

Desde el origen de la humanidad, el diseño ha sido una herramienta que ha permitido el progreso y la evolución del ser humano, mediante el uso del intelecto, la creatividad y la innovación. Sin embargo, el diseño industrial, entendido como una actividad que no solo busca el carácter funcional en sus productos, no surge como una actividad específica hasta el siglo XX, cuando se identifica la necesidad de incorporar elementos estéticos y atractivos que logren generar diferenciación en el mercado. Durante este período se sientan las bases de los tres conceptos que definen el diseño industrial: la forma, la función y la tecnología¹⁹.

Para determinar si el diseño desarrollado es de calidad, Dieter Rams, un famoso diseñador funcionalista alemán que trabajó para la empresa Braun en la década de los cincuenta, desarrolló una serie de principios en los que basar el diseño de un producto²⁰:



Características del buen diseño según Dieter Rams. Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ Gay y Samar, 2007.

²⁰ López M., 2007.

En la actualidad, el aumento de la concienciación social respecto a la situación medioambiental del planeta y la necesidad de adoptar medidas para reducir la degradación de los ecosistemas y la explotación de los recursos han potenciado la aparición de una nueva corriente dentro del diseño industrial basada en el desarrollo sostenible: el ecodiseño.

El ecodiseño tiene como objetivo diseñar productos mediante metodologías que incorporan el análisis de todas las etapas del ciclo de vida del producto, considerado desde la obtención de las materias primas y componentes utilizados hasta finalizada su vida útil.

La integración de aspectos ambientales en la concepción y desarrollo de los productos busca aumentar la calidad de los productos diseñados y disminuir sus costes productivos. Además, al adoptar una perspectiva de diseño que considera el ciclo de vida del producto, se favorece la identificación de las entradas (materiales y energía) y de las salidas del proceso (emisiones y residuos). Esto permite adoptar las medidas necesarias para minimizar o reducir el consumo energético o la cantidad de material usado durante la fabricación, así como las emisiones y residuos generados, y optimizar los procesos productivos utilizados, con el objetivo de crear productos duraderos con un menor impacto medioambiental²¹. Esta disciplina también se aplica en el sector del diseño y la producción de billetes, pero no es objetivo de este estudio.



Ciclo de vida del producto. Fuente: Elaboración propia.

²¹ Sanz Adán, 2014.

La proliferación de la realidad virtual ha permitido la creación de herramientas y *softwares* que ofrecen representaciones digitales realistas de los productos diseñados. Esta tecnología ha supuesto un gran avance en el desarrollo del diseño industrial, al facilitar la proyección y visualización final de los diseños, mediante la posibilidad de incorporar diferentes materiales, texturas, tipos de iluminación, e incluso ensayos de cargas y resistencia del producto durante su consumo. Todo esto ha favorecido la toma de decisiones relacionadas con los elementos del diseño y la reducción de los tiempos y costes del proceso.

4 Conceptos y fundamentos de neurodiseño y de diseño emocional

En el siguiente apartado se presentan los fundamentos del neurodiseño y del diseño emocional, disciplinas desarrolladas gracias a la integración de la neurociencia en el sector del diseño y la producción industrial, desde un enfoque centrado en la experiencia del usuario.

4.1 Neurodiseño

Los avances dentro del sector de la neurociencia han favorecido la aplicación de sus conocimientos y herramientas en el desarrollo e investigación de nuevas prácticas dentro del diseño. Este nuevo concepto de diseño enfocado en el usuario recibe el nombre de «neurodiseño», concebido como una técnica transhumanista cuyo objetivo es mejorar las condiciones y el bienestar de los usuarios, anteponiéndolos a cualquier beneficio económico. Sin embargo, este no debe confundirse con el *neuromarketing*, ya que el objetivo de la aplicación de las herramientas y conocimientos neurocientíficos en esta técnica es atraer y persuadir a los usuarios para la adquisición de un determinado producto²².

Las técnicas neurocientíficas tienen como finalidad conocer con mayor precisión los procesos neuronales que intervienen en el aprendizaje, la percepción y la cognición de los usuarios, entre los que se encuentran la memoria, la atención y las emociones. Estos procesos son de gran importancia en el sector del diseño industrial, ya que ofrecen información que ayuda a comprender la forma en la que los usuarios se relacionan con los productos y, gracias a esto, desarrollar metodologías de diseño adaptadas al procesamiento de la información del usuario.

Por tanto, la utilización de herramientas y conocimientos desarrollados por la neurociencia favorece la creación de productos más objetivos y mejor adaptados a las necesidades de los usuarios. Dentro de las herramientas utilizadas en la neurociencia destaca el uso de las tecnologías neurocerebral y biométrica, caracterizadas por ofrecer una medición más precisa del impacto de la percepción de un producto en la memoria o la respuesta emocional de los usuarios. La definición y la explicación de estas herramientas, aplicadas al campo de estudio de este proyecto, se desarrollarán con mayor detalle en el epígrafe 5.1, «Herramientas neurométricas para estudios».

Por otro lado, destaca la integración del neurodiseño en la creación de nuevos entornos y espacios arquitectónicos. La arquitectura presenta un papel de gran relevancia en el desarrollo de la experiencia humana, no solo a través de la construcción de edificios que complazcan la percepción visual mediante diseños estéticos, armónicos y simétricos, sino también mediante edificios que cumplan las necesidades funcionales de los usuarios y ofrezcan una buena iluminación, eficiencia acústica y sistemas de calefacción y refrigeración adecuados.

A partir del estudio de la neurociencia aplicada a la arquitectura se busca identificar los procesos neuronales que ayudan a comprender cómo interaccionan el contenido visual,

²² Herrera Batista, 2012.

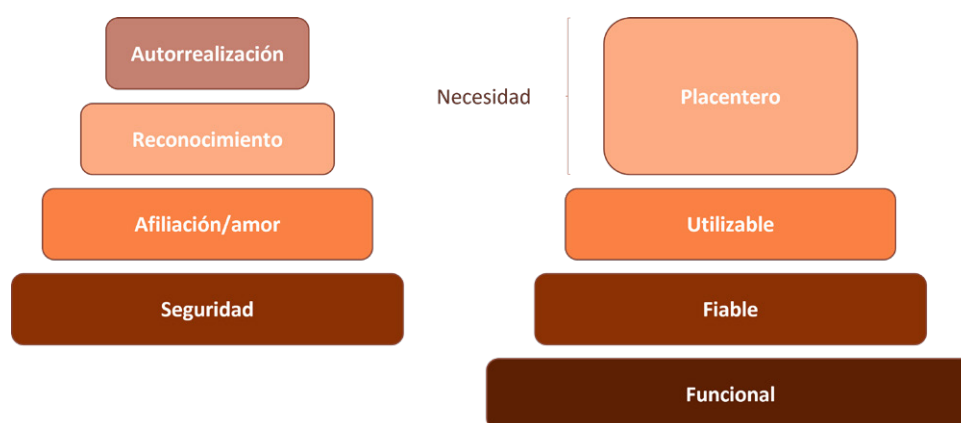
el auditivo y el emocional en la formación de la conciencia. La comprensión de estos factores ayudaría a dar explicación a por qué el diseño de aulas con mayor iluminación favorece la obtención de mejores resultados académicos en los estudiantes, a cómo el diseño de las habitaciones de los hospitales puede potenciar la recuperación de los pacientes o a cómo el diseño de oficinas y laboratorios puede favorecer el trabajo multidisciplinar y aumentar la productividad²³.

4.2 Diseño emocional

El desarrollo tecnológico y el establecimiento de una cultura basada en el consumo han propiciado la creación de un mercado muy competitivo en el que la oferta de productos, que presentan características y funciones similares a precios equivalentes, es muy amplia y variada. Esta realidad ha provocado que los consumidores no valoren únicamente la funcionalidad, el precio, la estética, la seguridad y la durabilidad de los productos, sino también las emociones, los sentimientos y las experiencias que estos ofrecen.

Los diseñadores ya no solo deben asegurarse de que los diseños ideados sean funcionales y presenten una estética que logre su diferenciación en el mercado, sino que también deben ser capaces de transmitir emociones positivas y ofrecer una experiencia en el usuario que conecte con su visión y estilo de vida. El usuario busca expresar y reflejar su personalidad a través del uso de los productos. Por tanto, el estudio y el entendimiento del área emocional de los consumidores son de gran importancia para el desarrollo actual del diseño industrial de productos, también denominado «diseño emocional».

El psicólogo Abraham Maslow identificó y ordenó de manera jerárquica las necesidades que los seres humanos buscaban satisfacer, defendiendo que, conforme estas necesidades son cumplidas, aquellos desarrollan necesidades y deseos más elevados. Aaron Walter, autor del libro *Designing for emotions*, adoptó y modificó la pirámide para comprender las necesidades de los usuarios respecto a un producto.



Jerarquía de necesidades de Abraham Maslow frente a jerarquía de necesidades de Aaron Walter en relación con la experiencia usuario e interfaz. Fuente: Elaboración propia.

²³ Eberhard, 2009.

Walter estableció que el diseño de los productos debe ser funcional, con el objetivo de cumplir las necesidades de los usuarios y mantener la atención en su uso. Además, aseguró que, si un producto no logra transmitir confianza, este generará una sensación de malestar en el usuario que provocará que prescinda de él. Por otro lado, estableció que los productos deben ser usables, es decir, que su uso ha de ser fácil e intuitivo. Finalmente, Walter añadió la necesidad de que el consumo de los productos sea placentero para crear una experiencia satisfactoria en el usuario²⁴.

El cambio constante en el mercado económico actual, así como en las necesidades y requerimientos de los usuarios, genera la necesidad de incorporar y desarrollar herramientas que integren el diseño emocional en su metodología. Destaca la ingeniería Kansei, al considerarse una de las únicas herramientas capaz de evaluar y caracterizar las necesidades emocionales de los usuarios para su integración en el proceso de diseño.

Esta herramienta, desarrollada por Mitsuo Nagamachi en los años setenta, surgió como una tecnología ergonómica orientada al desarrollo de productos mediante el análisis y la traducción de las expectativas emocionales de los usuarios en especificaciones y requerimientos de diseño, a través de la utilización de modelos de predicción matemáticos. El término japonés *kansei* hace referencia a la sensación o sentimiento psicológico del usuario con respecto a la percepción o imagen concebida de un producto, es decir, a la impresión subjetiva generada por el producto, influida por el entorno de percepción, la estética del propio producto, y la sensibilidad, intuición y sentimientos del consumidor²⁵.

Las sensaciones descritas (o *kansei*) pueden ser medidas mediante el análisis de factores y funciones fisiológicas, como:

- Palabras.
- Respuestas fisiológicas (variabilidad del ritmo cardíaco, sudoración de la piel, etc.).
- Análisis de las acciones y del comportamiento humano.
- Análisis de las expresiones faciales y gestos.

La implementación de esta herramienta puede dividirse en tres fases. Durante la *primera fase* se recogen los sentimientos y valoraciones del usuario respecto al producto que se va a analizar. Además, se examinan los métodos y elementos publicitarios utilizados en el mercado para promocionar dicho producto, como las imágenes y las descripciones. Durante la *segunda fase* se realizan estudios y experimentos para relacionar los sentimientos, las palabras o las experiencias subjetivas del usuario con los requerimientos y las características de diseño de los productos. Finalmente, durante la

²⁴ Di Nella, 2014.

²⁵ Flores España, 2019.

tercera fase se implementan herramientas informáticas que permiten definir modelos de predicción matemáticos que ayuden a establecer asociaciones de diseño de forma ágil y sistemática²⁶.

Según las herramientas utilizadas y las áreas de trabajo analizadas, se definen seis tipos de ingeniería Kansei:

- **Ingeniería Kansei tipo I – Clasificación de categorías.** Hace referencia a una identificación manual entre las necesidades afectivas de los usuarios y las características o requerimientos del producto.
- **Ingeniería Kansei tipo II – Sistema de IK asistido por ordenador.** Esta técnica utiliza cuatro bases de datos que incorporan palabras *kansei*, imágenes, diseños y colores, y, mediante la utilización de un motor de interferencia, establece relaciones entre ellas a través de coeficientes de correlación parcial, basados en la teoría de cuantificación de Hayashi.
- **Ingeniería Kansei tipo III – Modelado matemático para IK.** Esta técnica presenta un funcionamiento similar al anterior. Sin embargo, implementa métodos matemáticos más complejos, como regresión, lógica difusa o redes neuronales, para establecer las relaciones entre las bases de datos.
- **Ingeniería Kansei tipo IV – Sistema de IK híbrido con razonamiento *forward* y *backward*.** Esta herramienta predice el *kansei* que un nuevo producto o diseño puede generar en los usuarios. Además, al igual que los modelos anteriores, proporciona las características o imágenes de los productos que transmiten un *kansei* determinado.
- **Ingeniería Kansei tipo V – IK virtual.** Esta técnica utiliza herramientas de realidad virtual o realidad aumentada para generar las imágenes de los productos.
- **Ingeniería Kansei tipo VI – Diseño colaborativo con IK.** Esta técnica está basada en la ingeniería concurrente y el diseño colaborativo, por lo que las bases de datos Kansei son accesibles vía Internet.

En el sector automovilístico destaca la integración del diseño emocional a través de la ingeniería Kansei, una herramienta que busca satisfacer las necesidades de los usuarios mediante la mejora de la eficiencia, la ergonomía y el confort de los productos. Esta herramienta define la relación existente entre las propiedades del vehículo y los parámetros que caracterizan la razón y la emoción de los usuarios.

²⁶ Flores España, 2019.

Actualmente, los usuarios no solo demandan vehículos que sean funcionales, seguros y económicos, sino que buscan experimentar diferentes sentimientos y emociones durante la conducción. En consecuencia, el objetivo de las empresas del sector automovilístico es desarrollar nuevos modelos que, a través de su diseño, logren establecer una conexión placentera y una vinculación atemporal con el usuario.

El modelo Mazda Miata, o Mazda MX-5, fue el primer diseño desarrollado a través de una metodología basada en la ingeniería Kansei, y logró alcanzar un gran éxito en ventas. A partir de entonces, y debido al carácter innovador y eficiente de esta herramienta, cada vez un mayor número de empresas decidieron integrar esta metodología en los procesos de diseño y desarrollo de sus nuevas líneas de producción, como es el caso de Nissan y Ford.



Parámetros Kansei para el diseño de vehículos. Fuente: Elaboración propia.

Además, la integración de esta herramienta en el sector automovilístico no solo favorece el diseño y desarrollo de nuevos modelos de vehículos: su aplicación en el propio entorno productivo supone una mejora en las condiciones laborales de los trabajadores y optimiza la eficacia productiva. De esta forma, se consigue aumentar el rendimiento, la motivación y la satisfacción de los trabajadores, lo que favorece el desarrollo de las tareas de una manera placentera y basada en la fiabilidad del trabajo²⁷.

²⁷ Núñez Romero, Aguayo González y Córdoba Roldán, 2017.

5 Neurociencia aplicada al diseño de billetes y a sus elementos de seguridad

A continuación, tras recopilar los conceptos y fundamentos sobre los que se basan la neurociencia y sus herramientas, se desarrolla su aplicación en el sector de los billetes y sus elementos de seguridad. A lo largo del ciclo de vida del billete, la neurociencia tiene aplicación en tres áreas:

- **Diseño:** los estudios de percepción de diferentes diseños nos indican las preferencias de los usuarios; se logra así que estos se identifiquen con su moneda y la utilicen con orgullo en sus transacciones diarias. Además del análisis del diseño y de los elementos de seguridad del billete, se estudia la posibilidad de desarrollar prototipos virtuales, para minimizar los costes y tiempos asociados a la producción de prototipos físicos, así como para introducir la posibilidad de comparar las características de diferentes prototipos de forma simultánea.
- **Calidad:** durante la producción de los billetes se originan defectos que son clasificados en función de su criticidad. Esta criticidad establece si el billete debe ser rechazado. Aplicando los estudios de percepción del público a este tipo de defectos visuales, se puede definir una clasificación de defectos más ajustada y, por tanto, analizar el impacto real de dichos defectos en el público. A largo plazo, esto repercutirá en el número de billetes que se deban rechazar, optimizará la producción y reducirá los costes productivos.
- **Discriminabilidad de reproducciones ilegítimas con billetes de curso legal:** los estudios perceptivos también tienen aplicación en la percepción del público ante copias ilegales frente a efectivo de curso legal. Este tipo de estudio determinará la robustez de una medida de seguridad o diseño frente a su falsificación.

5.1 Herramientas neurométricas para estudios

La elaboración de estudios neurométricos para billetes y elementos de seguridad tiene como principal objetivo conocer y analizar la respuesta generada en los usuarios tras la percepción y manipulación del propio billete. Estas respuestas pueden ser de carácter consciente o inconsciente. Sin embargo, destaca el análisis de las respuestas fisiológicas o de la actividad neuronal generada (inconscientes), al proporcionar información no sesgada por factores externos, como la presión social ante una respuesta.

La utilización de las diferentes herramientas neurométricas es variada y flexible, y puede adaptarse al interés en la medida de un determinado parámetro: la facilidad de manejo de la herramienta, el coste del instrumento o el nivel de interferencia perseguido para el participante. Sin embargo, para asegurar la recopilación de una información amplia y detallada, los estudios neurométricos que se realizan en la actualidad se caracterizan por

presentar una metodología basada en la combinación de medidas conscientes (explícitas) y medidas inconscientes (implícitas) y neurométricas²⁸.

5.1.1 Medidas conscientes o explícitas

Las medidas explícitas cuantifican la respuesta voluntaria y consciente de los sujetos. Este tipo de respuesta suele darse al realizar una petición al sujeto para la resolución de una tarea, seguida de una pregunta. Dentro de este apartado se incluyen herramientas como cuestionarios, entrevistas o el análisis de las decisiones tomadas²⁹.

- *Cuestionarios y encuestas.* Permiten captar y analizar los comportamientos y habilidades de los participantes, así como definir sus perfiles de personalidad o sus estados mentales o emocionales. Sin embargo, estas medidas tienen un carácter temporal o momentáneo, donde solo se representan ciertas características del comportamiento, pensamientos o emociones de los usuarios encuestados.

Suelen emplearse al final de cada etapa de evaluación realizada; se pregunta a los participantes acerca de la comprensión y percepción del diseño del billete, y sobre la descripción de los elementos de seguridad.

- *Entrevista final.* Permite conocer la visión general adquirida por los participantes en relación con las características de los nuevos elementos de seguridad presentados.
- *Análisis de decisiones.* Permite analizar las decisiones realizadas por los participantes en función del tiempo empleado para la toma de estas.
- *Lenguaje explícito (thinking aloud).* Permite examinar los comentarios que los usuarios realizan en voz alta al analizar el billete o los diferentes elementos de seguridad, es decir, lo que se denomina comúnmente como «pensar en alto».

5.1.2 Medidas inconscientes o implícitas

Las medidas implícitas constituyen una magnitud de las respuestas involuntarias generadas en la toma de decisiones humana, que no pueden ser captadas mediante la observación directa de la respuesta de los sujetos. Este tipo de información no está sesgada por factores externos, lo que supone la gran ventaja sobre la que se basa el desarrollo de la neurociencia³⁰.

Dentro de este apartado se puede encontrar una subdivisión de las herramientas utilizadas, diferenciando entre las que analizan el comportamiento humano y las que analizan la respuesta fisiológica.

²⁸ Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

²⁹ Banco de España y LabLENI, 2022.

³⁰ Banco de España y LabLENI, 2022.

Comportamiento humano

- *Eye-tracking* (ET). Esta herramienta permite analizar el recorrido ocular del usuario y los elementos que captan su atención durante la evaluación del billete, a través de unas gafas de seguimiento ocular. Para ello, se realiza una segmentación del billete en diferentes áreas de interés, con la que se obtienen la medida del tiempo total de observación del elemento, el tiempo transcurrido hasta que se realiza la primera fijación en esta área y el número de veces que el usuario vuelve a visitar las diferentes áreas (revisitas). Además, permite identificar la ruta de observación predominante en los participantes, lo que facilita el estudio y desarrollo de potenciales mapas de navegación para la percepción de los elementos de seguridad.
- *Facial coding* (FC). Esta herramienta permite registrar microexpresiones faciales ligadas a las emociones internas que rigen el comportamiento de los participantes, lo que posibilita la identificación de la motivación de sus acciones, así como la coherencia respecto a su actitud real o comportamiento observable. Por tanto, constituye un método no intrusivo que, a través de una cámara colocada frente al participante, evalúa la posición y la orientación de la cabeza, las microexpresiones y las expresiones faciales relacionadas con las emociones básicas.
- *Human behaviour tracking* (HBT). Esta herramienta permite registrar el comportamiento y los gestos realizados por los participantes durante la inspección de los billetes, a partir de marcas digitales realizadas en la observación de grabaciones de vídeo. Así se puede identificar si los usuarios presentan un ritual para verificar la autenticidad del billete, con gestos como dar la vuelta al billete, mirar a través de él, doblarlo o comprobar si al manipularlo presenta el sonido distintivo de los billetes.

Respuesta fisiológica

- *Electroencephalogram* (EEG). La electroencefalografía constituye una técnica de neuroimagen capaz de medir la actividad eléctrica generada en el cerebro, asociada con la percepción, la cognición y los procesos emocionales. Esta medida de la actividad eléctrica se obtiene gracias a la utilización de sensores o electrodos, situados sobre la superficie del cuero cabelludo, y sistemas de amplificación. Por tanto, esta herramienta permite monitorizar el estado emocional global de los usuarios que no puede controlarse de forma consciente, y ofrece información, en subsegundos, acerca del nivel de atención generado, el esfuerzo mental o la carga de trabajo cognitivo, y el acercamiento o la evasión del billete.
- *Electrodermal activity* (GSR). Esta herramienta permite analizar los estados emocionales de estrés, relajación y excitación emocional generados en los participantes durante la evaluación de los billetes, gracias a la medida de

la conductividad de la piel. Esto se debe a que, al experimentar un estado de estimulación emocional, se produce un aumento de secreción de sudor de las glándulas sudoríparas de la piel. Este incremento de sudoración supone un aumento de conductividad de la piel, registrado por sensores ligeros y móviles situados en lugares como la frente o las manos.

- *Heart rate variability* (HRV). Esta herramienta permite analizar el estado físico y los niveles de ansiedad y de estrés de los usuarios, así como la relación entre los cambios fisiológicos experimentados con las acciones y decisiones tomadas. Para ello, se centra en el estudio de la frecuencia cardíaca, el pulso o la profundidad de la respiración de los usuarios, medido mediante sensores ECG o sensores ópticos.



Tipos de medidas en estudios neurométricos. Fuentes: Banco de España y elaboración propia.

5.2 Estudios neurométricos para billetes y elementos de seguridad

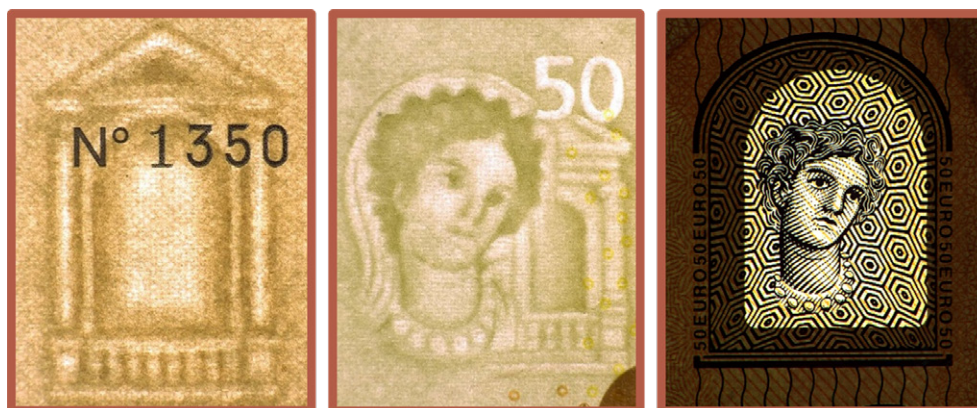
En esta sección se exploran diferentes estudios de percepción en los que se analiza la interacción del público con el billete y sus elementos de seguridad. Al avanzar en la lectura, se observan también la evolución de dichos estudios en cuanto a la utilidad de la información obtenida y el desarrollo tecnológico de las técnicas utilizadas.

Banco Central Europeo: neurociencia aplicada al billete de 50 euros

Durante la fase de diseño de la serie Europa, el neurocientífico David Eagleman colaboró con el Banco Central Europeo (BCE) en el desarrollo del billete de 50 euros, con el objetivo de definir cuáles eran los elementos de seguridad que eran percibidos por los usuarios y obtener recomendaciones de diseño que se pudieran implementar para aumentar su seguridad.

De acuerdo con Eagleman, durante las transacciones diarias, los usuarios no se detienen a examinar los billetes. Esto se debe al modelo perceptivo humano, donde se crea una imagen general de cómo debería ser el billete, pero no se analizan los detalles o elementos de seguridad incluidos en él. Esta tendencia a creer que ya se conoce el billete obtenido sirve de explicación a por qué el ritual «toque, mire y gire» no termina de ser integrado por los usuarios. Por este motivo, los nuevos elementos de seguridad desarrollados deben mostrar evidencias rápidas y eficientes para su identificación, y, en caso contrario, despertar la sospecha de falsificación durante la percepción del billete.

Para el diseño de la marca de agua, se recomendó la introducción de un retrato en lugar de un puente o edificio. El motivo se basaba en la capacidad del cerebro de reconocer y analizar rostros, que favorece la identificación de variaciones o diferencias ante posibles falsificaciones. Finalmente, el BCE adoptó esta sugerencia mediante la introducción del retrato de la diosa mitológica Europa como motivo de la marca de agua multitonal y la ventana holográfica. Sin embargo, el resultado no fue el esperado, pues, al introducir el retrato de una figura mitológica en lugar del retrato de una persona real, no se conseguía crear el mismo efecto en los usuarios.



Marca de agua multitonal del billete de 50 euros de la primera serie frente a marca de agua multitonal y ventana del billete de 50 euros de la serie Europa. Fuente: Banco de España.

También se sugirió la posibilidad de diseñar una familia de billetes donde todos ellos presentaran las mismas dimensiones, lo que obligaría a que los usuarios empleasen más tiempo en observar los billetes para su identificación. Sin embargo, esta propuesta fue rechazada, ya que la modificación de las dimensiones de los billetes suponía la modificación de la configuración de los cajeros automáticos de todos los bancos europeos.

Por otro lado, Eagleman defendió que el diseño de los billetes debería estar constituido por una lámina blanca con un holograma en el centro; de esta forma, se impediría la fabricación de falsificaciones y se evitaría que los usuarios se distrajesen con los detalles del diseño. Esta propuesta, al igual que la anterior, fue rechazada por el BCE, al concebir el billete no como un papel con valor económico, sino como un elemento que refleja la historia y cultura de una comunidad³¹.

³¹ Infosegura, 2017.

Banco de México: Estudio de neurociencia. Elementos de seguridad en los billetes

El Banco de México, en su *Estudio de neurociencia. Elementos de seguridad en los billetes*³², y gracias a la utilización y aplicación de diferentes herramientas neurocientíficas, analizó en 2015 el comportamiento de los usuarios en relación con los elementos de seguridad incluidos en los billetes. A continuación se exponen algunos de los principales hallazgos definidos en el proyecto:

- La mayoría de los usuarios no realizan una revisión exhaustiva de los elementos de seguridad de los billetes, lo que evidencia que el ritual «toca, mira y gira» aún no está totalmente integrado en la sociedad. Dentro de los motivos principales que explican la escasez de las revisiones realizadas, destacan el desinterés o la escasez de tiempo para realizar la revisión, el desconocimiento sobre los elementos de seguridad y el exceso de confianza en personas y lugares, o incluso en los propios elementos de seguridad.
- El cerebro busca eficiencias en la revisión de elementos de seguridad con el objetivo de ahorrar la mayor cantidad de recursos disponibles. Por ello, tiende a realizar procesos automáticos mentales y los convierte en hábitos que le permitan ahorrar tiempo y esfuerzo. Este estudio identificó que, en los billetes de algodón (100, 200, 500 y 1.000 pesos), el hilo de seguridad, el hilo 3D y la marca de agua son los elementos más utilizados para comprobar la veracidad del billete. Por otro lado, en los billetes poliméricos (20 y 50 pesos), los elementos más utilizados fueron la ventana transparente y los elementos que presentaban cambio de color. Estos cinco elementos presentan un patrón común, lo que los convierte en los elementos preferidos por el cerebro por su eficiencia de recursos.
- Los diseños orgánicos y naturales tienden a generar mayor interés y emocionalidad positiva en los usuarios. Durante el estudio se identificó que los elementos que presentaban formas orgánicas activaron mayores procesos de atención, emoción y memoria. La emoción positiva hace que los recuerdos sean más vívidos, lo que provoca la activación de los procesos de atención y la potencialización de la memoria, consolidando el almacenamiento de la información a largo plazo, gracias al aumento de las nuevas conexiones sinápticas neuronales.
- Los elementos de seguridad con efectos 3D activan diferentes regiones en el cerebro, debido a la sensación de profundidad y diferentes distancias y tamaños generados. Además, los usuarios asocian estos elementos de seguridad, como el hilo 3D o las ventanas transparentes, con un billete auténtico. Sin embargo, este exceso de atención provoca que el resto de los elementos de seguridad

³² Banco de México, 2015.

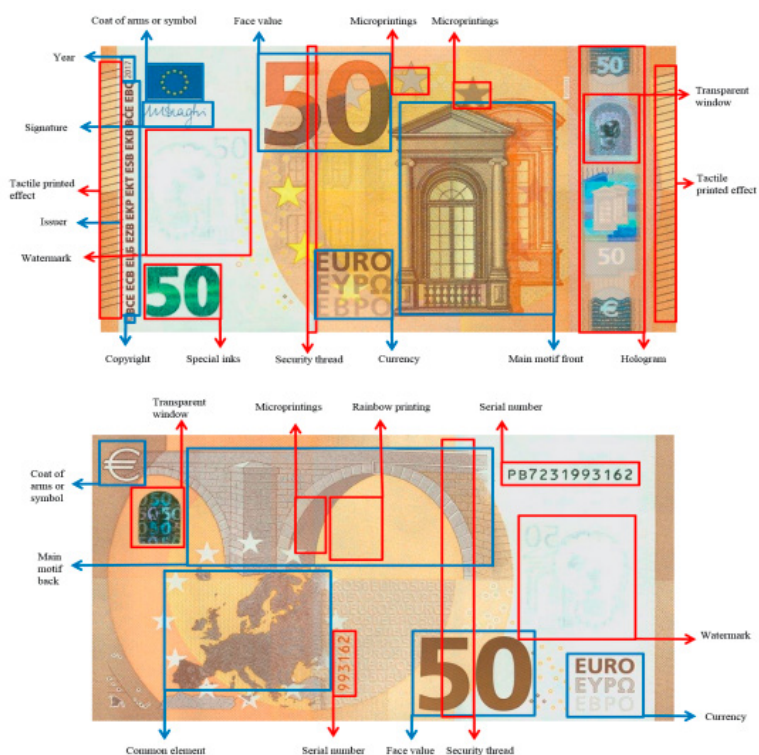
queden en segundo plano. Por ello, estos elementos podrían ser utilizados como señalador hacia otro elemento de seguridad.

- El cerebro tiende a priorizar la percepción de aquellos elementos de seguridad que presentan una posición conocida y familiar o, en su defecto, una posición intuitiva y obvia. La identificación de estos hallazgos invita a desarrollar nuevas estrategias para el diseño de nuevos elementos de seguridad, como mapas de navegación, que faciliten y guíen la percepción de los elementos del billete al usuario.
- Los rostros constituyen elementos que captan la atención de los usuarios de forma natural e instintiva. Además, generan alta emocionalidad y empatía en los usuarios. Por estos motivos, los retratos provocan el aumento de la atención y la retención de los usuarios, lo que favorece su posterior recuerdo.

Banco de España: Neurociencia aplicada al diseño de billetes y elementos de seguridad

A continuación se muestra una parte de los resultados obtenidos en el estudio *Neurometrics applied to banknote and security features design*³³, desarrollado por Banco de España durante 2018.

El objetivo perseguido en este estudio fue comprender e identificar qué elementos incluidos en el diseño del billete son los que logran captar la atención del usuario y generar mayor confianza y seguridad.



Identificación de las áreas del billete de 50 euros que se analizan. Fuente: Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

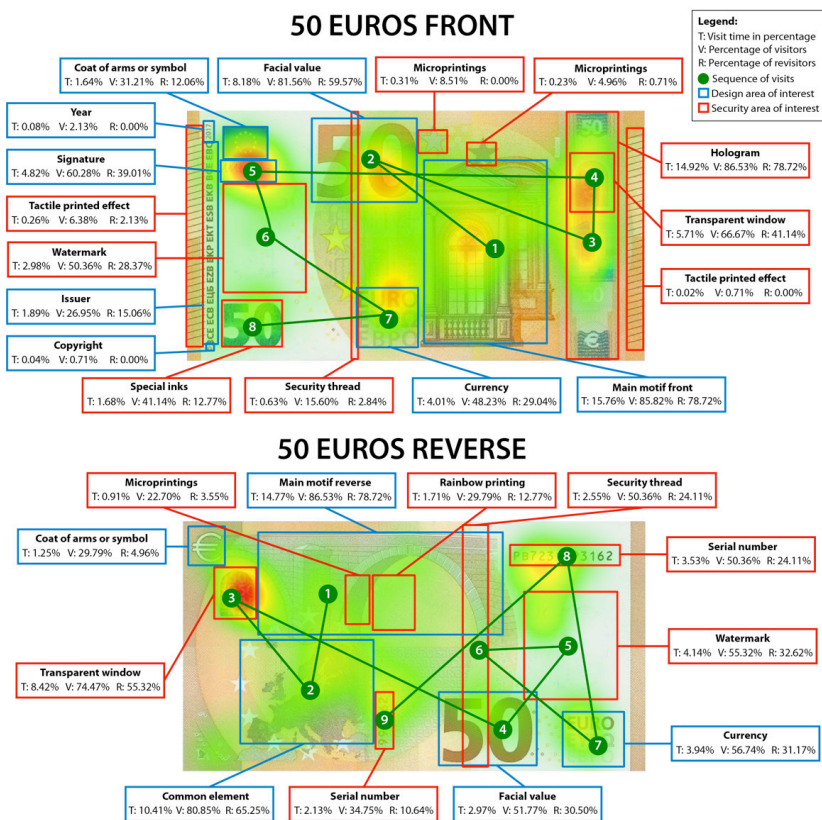
³³ Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

Durante la primera etapa del estudio, dividido en dos fases, el análisis de la percepción del billete se realizó ofreciendo a los usuarios una imagen, en este caso del billete de 50 euros de la serie Europa. Sin embargo, durante la segunda fase, el billete se ofreció de forma física a los usuarios, de modo que los participantes del estudio pudieron analizar con más detalle los elementos de seguridad y las propiedades físicas de billete.



Imágenes de las fases del proyecto *Neurometrics applied to banknote and security features design*. Fuente: Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

Una de las técnicas utilizadas fue el *eye-tracking*, caracterizada por constituir una herramienta de análisis del nivel de atención visual sobre los diferentes elementos incluidos en el billete. Gracias a esta herramienta, fue posible cuantificar el nivel de interés generado por los billetes presentados, analizar qué elementos de seguridad fueron observados con mayor detalle o en qué orden se produjo la ruta de observación de los diferentes elementos. Finalmente, tras el análisis de la información recopilado, fue posible identificar la ruta de observación predominante en los usuarios, así como realizar un mapa de calor, incluyendo información acerca del tiempo de visita (T), el porcentaje de visitantes (V) y el porcentaje de revisitantes (R).

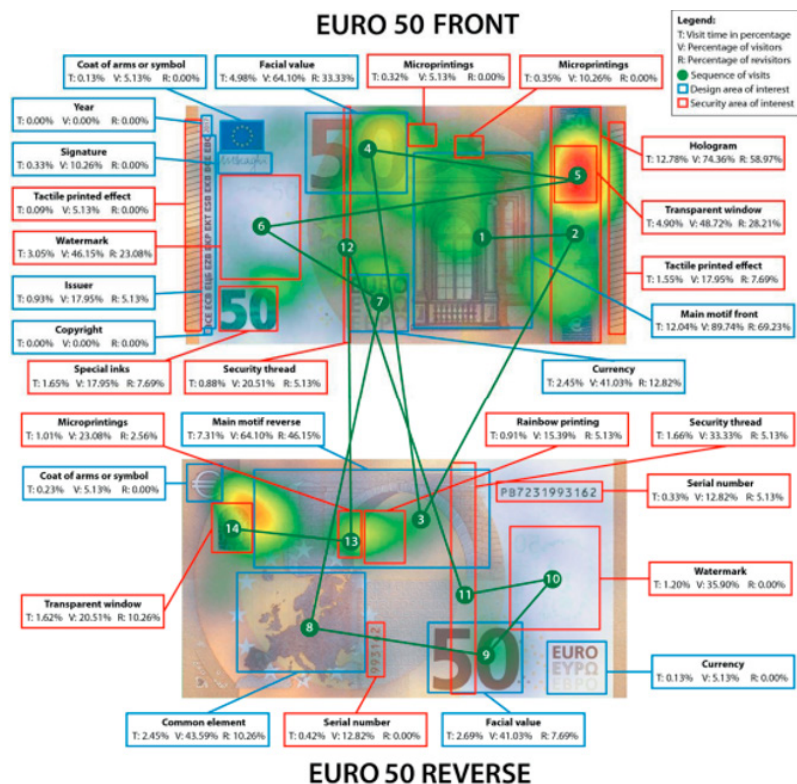


Resultados obtenidos durante la primera fase del proyecto. Fuente: Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

A partir del análisis del mapa de calor y de la identificación de la ruta de observación predominante, se extrajeron las siguientes conclusiones en relación con la percepción del billete.

- Los motivos principales del anverso y del reverso, así como el holograma, fueron las áreas más visitadas y revisitadas del billete.
- La ruta de observación siempre comenzaba, tanto en el anverso como en el reverso, en el motivo principal.
- El elemento de coincidencia obtuvo un elevado índice de visitas, alrededor del 80 %, constituyendo el segundo elemento de seguridad que era observado por primera vez.
- La ventana transparente recibió una atención más tardía en la secuencia de observación, y los usuarios no invirtieron mucho tiempo en observarla.
- La moneda fue el último elemento de seguridad observado.
- Destacó la diferencia de observación entre los elementos de seguridad y los elementos de diseño de los billetes, siendo el último grupo el predominante.

Para la ejecución de la segunda fase, se proporcionó a los usuarios un billete físico, de modo que los participantes del estudio pudieron analizar con más detalle los elementos de seguridad y las propiedades físicas del billete. Por tanto, en esta fase, durante la cual los usuarios pudieron manipular el billete, los elementos que despertaron mayor interés fueron las tintas especiales, la marca de agua y el hilo de seguridad. Además, se produjeron variaciones tanto en el mapa de calor generado como en la ruta de observación predominante en los participantes.



Resultados obtenidos durante la segunda fase del proyecto. Fuente: Ortuño, Sánchez, Álvarez, López y León, 2020.

Al igual que en la fase anterior, a partir del análisis del mapa de calor y de la identificación de la ruta de observación predominante, se extrajeron una serie de conclusiones en relación con la percepción del billete.

- Los motivos principales del anverso y del reverso, así como el holograma, fueron las áreas más visitadas y revisitadas del billete, al igual que en la primera fase.
- La ruta de observación comenzaba en el motivo principal, al igual que en la primera fase.
- El holograma obtuvo un elevado índice de visitas, constituyendo el segundo elemento de seguridad que era observado por primera vez.
- La ventana transparente era visitada especialmente por el anverso.
- El efecto táctil impreso en la parte derecha del billete presentó un mayor índice de visitas que durante la primera fase.

Las conclusiones globales del estudio realizado demostraron que el compromiso visual estaba condicionado tanto por la fase de evaluación visual como por la fase de evaluación física. De forma que, durante la fase de evaluación visual, los participantes mostraron un mayor interés en las características estéticas del diseño, mientras que, durante la fase de evaluación física, los participantes mostraron mayor interés en los elementos de seguridad y en el sustrato del billete ofrecido.

Conclusiones y aplicaciones de los estudios neurométricos

La evolución de los estudios neurométricos se ve reflejada en estos tres proyectos, donde la complejidad y las herramientas utilizadas avanzan, y se llega a conclusiones de aplicación al billete cada vez más detalladas.

De forma general, los usuarios suelen presentar una tendencia a creer que los billetes que adquieren son legítimos, sin detenerse a examinar los elementos de seguridad, en ocasiones por desconocimiento. Por ello, el ritual «toque, mire y gire» no está completamente integrado en la población.

En los estudios perceptivos de billetes donde se pedía a los usuarios que examinaran los billetes con mayor detalle, se observó que el compromiso visual estaba condicionado tanto por la percepción visual como por la percepción física. Durante la percepción visual, los usuarios centraron su interés en el diseño estético del billete, mientras que, en la percepción física, la atención se centró en la evaluación de los elementos de seguridad.

En el caso de los billetes de algodón, los elementos de seguridad más utilizados para comprobar la veracidad del billete son la marca de agua, el hilo de seguridad y el hilo

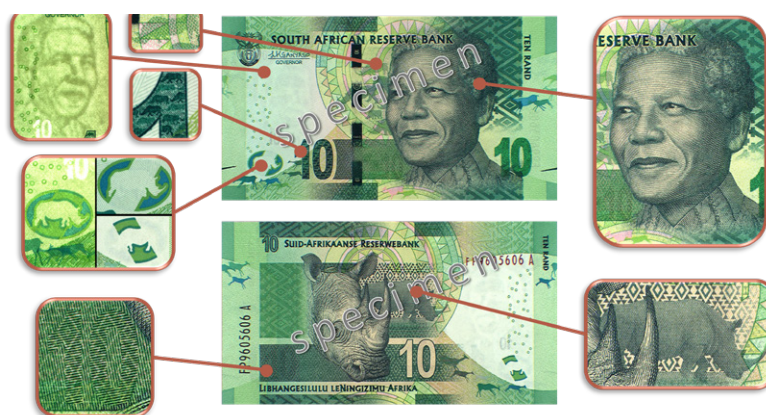
3D, mientras que, en los billetes poliméricos, los elementos más utilizados son la ventana transparente y los elementos con cambio de color. Estos elementos con efectos 3D captan la atención de los usuarios en gran medida, pues los efectos visuales creados son capaces de activar diferentes áreas en el cerebro.

La aplicación de la herramienta *eye-tracking* permite elaborar mapas de calor o extraer información relacionada con los niveles de observación y visitas de las diferentes áreas de interés del billete. Gracias a esto, se pueden diseñar mapas de navegación, que tienen como objetivo favorecer la percepción de los elementos de seguridad por parte de los usuarios. Para ello, se recomienda que la ruta de revisión contenga, al menos, tres elementos de seguridad. La disposición diseñada comenzaría con un primer elemento destinado a captar la atención del usuario y un señalizador hacia el segundo elemento. A su vez, el segundo elemento incorporaría un indicador adicional hacia el tercer elemento, y concluiría así la ruta de revisión³⁴.



Mapa de navegación para elementos de seguridad. Fuente: Banco de México, 2015.

Los estudios neurométricos realizados han permitido identificar que la incorporación de elementos de seguridad relacionados con la temática central del diseño del billete concluiría en una interacción más evidente. De esta forma, la ruta de navegación resultaría imposible de evitar³⁵, lo que facilitará a los usuarios su revisión para la identificación de posibles irregularidades presentes en reproducciones ilegítimas de billetes.

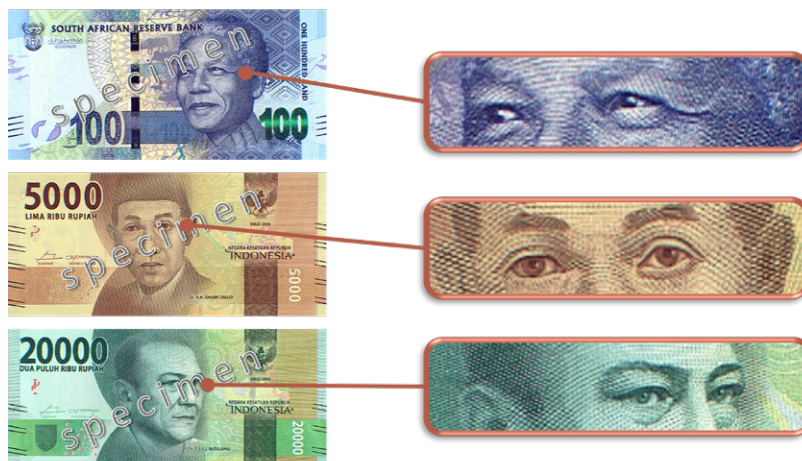


Elementos de seguridad con temática central del diseño. Billete de Sudáfrica. Fuentes: Banco de España y elaboración propia.

³⁴ Banco de México, 2015.

³⁵ Banco de México, 2015.

Asimismo, se ha demostrado que la utilización de retratos capta instintivamente la atención de los usuarios y genera una alta emocionalidad y empatía en el público. En especial, los ojos constituyen puntos naturales de enfoque, por lo que podrían ser utilizados como elementos señalizadores hacia los elementos de seguridad cercanos que se desea que los usuarios observen o toquen³⁶.



Utilización de retratos como elemento señalizador para elementos de seguridad. Fuentes: Banco de España y elaboración propia.



Carlos Aires (2018), *Reflections in a Golden Eye*, 190 x 150 x 7 cm, impresión UVI sobre acero inoxidable con aleación de oro, barniz, pintura, piezas de sujeción en policarbonato negro, imanes, tornillos. Fuente: Colección Banco de España.

5.3 Tendencias en estudios neurométricos

El constante desarrollo tecnológico favorece la evolución de los estudios neurométricos y sus herramientas, mediante la introducción de nuevas tendencias, como:

- *Tactilidad*. El diseño de los billetes debe ser desarrollado para poder ser utilizado de forma eficiente por todos los usuarios. Esta eficiencia está directamente relacionada con que los usuarios puedan identificar con facilidad el valor del

³⁶ Banco de México, 2015.

billete. Por este motivo, el desarrollo de estructuras táctiles y su implementación en el diseño de nuevas familias de billetes son de gran importancia, al suponer un avance hacia la integración de los usuarios con problemas de visión.

Además, al tratarse de un estudio sobre la percepción del propio billete, constituye una gran oportunidad para considerar las diferentes capacidades perceptivas de los usuarios, elaborando diseños universales que integren las necesidades de usuarios con problemas de visión, mediante, por ejemplo, la introducción de estructuras táctiles codificadas.

- *Estudio de la voz.* A pesar de que aún se encuentra en una etapa de estudio y desarrollo, esta herramienta podría implementarse de forma complementaria y ofrecer información acerca de la prosodia y la semántica de la voz de los usuarios al exponer sus opiniones y emociones sobre los billetes evaluados.
- *Realidad virtual.* La evolución de la tecnología de realidad virtual ha favorecido el desarrollo del prototipado 3D virtual, capaz de ofrecer una imagen realista del producto sin necesidad de fabricarlo. El desarrollo de prototipos de billetes virtuales ofrece la oportunidad de minimizar, de forma notable, los costes y tiempos asociados a la producción de prototipos físicos, así como de evaluar simultáneamente las características de varios prototipos digitales. Además, la combinación de la tecnología de realidad virtual y de las herramientas neurométricas facilita la recopilación y el almacenamiento de información procedente del análisis de técnicas como el *eye-tracking* o los encefalogramas, con la misma utilidad y fiabilidad que si se trata de un billete físico.



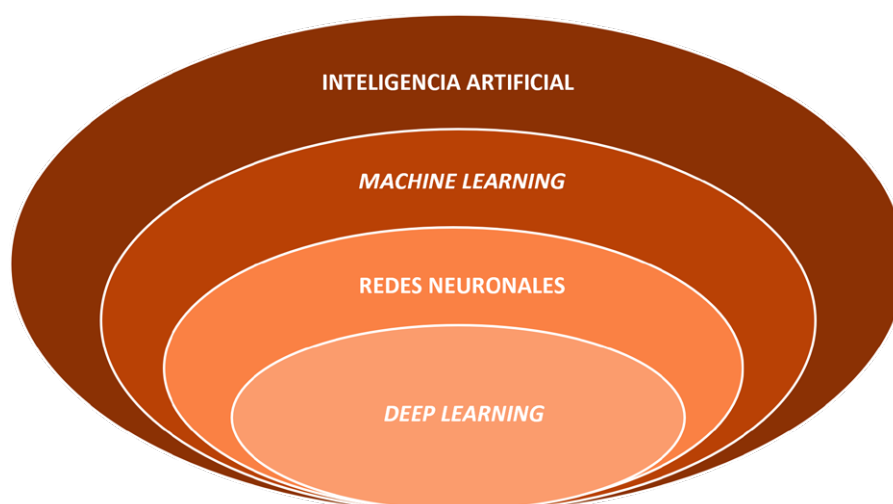
Virtualización de prototipos. Fuente: Banco de España y LabLENI, 2022.

La visualización del prototipo virtual es posible gracias a la utilización de gafas de realidad virtual que imitan la resolución retinal humana, en torno a 70 píxeles por grado, lo que permite obtener una calidad visual idéntica a la que se obtendría al observar un billete de forma física.

La posibilidad de evaluar las características y los elementos de seguridad de los billetes sin necesidad de producirlos supone una mejora en la eficiencia de la producción y, por lo tanto, disminuye los costes y tiempos de desarrollo.

- *Inteligencia artificial (IA)*. Por otra parte, la IA se presenta como una herramienta que favorece la gestión de información, dada su capacidad para el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Esta ofrece conclusiones relevantes sobre la base de la información obtenida de las medidas explícitas e implícitas, procedentes de los estudios neurométricos. Dentro de la IA se pueden diferenciar distintos niveles en función del grado de complejidad y especificidad del proceso. En un primer bloque se define el término *machine learning*, basado en el aprendizaje automático con el objetivo de asemejar la resolución de problemas, tanto simples como complejos, a las decisiones humanas. Dentro del *machine learning* se sitúan las redes neuronales artificiales, las cuales constan de nodos que reciben, tratan y emiten información entre ellos. Estas se asemejan a las redes neuronales naturales y, en función del volumen de nodos existentes, pueden derivar hacia un procesamiento más complejo, muy superior a cualquier cerebro humano y denominado *deep learning*.

La incorporación de la IA a los estudios neurométricos ofrece la oportunidad de definir modelos predictivos que infieren en el comportamiento y la capacidad cognitiva y emocional de los usuarios.



Esquema de composición de los conceptos ligados a la IA. Fuentes: Banco de España y elaboración propia.

5.4 Neurocash: una nueva forma de diseñar el efectivo

Fruto de la combinación del neurodiseño, la realidad virtual y las tecnologías de IA surge el proyecto Neurocash³⁷, desarrollado entre el Banco de España y el Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas (LENI) del Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería

³⁷ Banco de España y LabLENI, 2022.

(i3B) de la Universitat Politècnica de València, una nueva tecnología que aplica el método neurocientífico al desarrollo del efectivo para obtener un efectivo más eficiente en su ciclo de vida que cree una conexión emocional del público con su moneda.

Este proyecto tiene aplicación en diferentes fases del ciclo de vida del efectivo:

- Neurodiseño de billetes y sus elementos de seguridad.
- Percepción y evaluación de la criticidad en los defectos de producción.
- Discriminación entre reproducciones ilegítimas frente a efectivo de curso legal.
- Virtualización rápida y económica de los neurodiseños.
- Desarrollo de modelos predictivos para inferir indicadores neurométricos relacionados con los niveles de impacto visual, emocional y cognitivo.
- Evaluación de eficacia de campañas de comunicación sobre efectivo.

El objetivo del proyecto es conseguir desarrollar un efectivo atractivo, con el que los usuarios se sientan identificados y que utilicen con orgullo; intuitivo, con diseños y elementos de seguridad reconocibles por el público, y seguro, dificultando su reproducción ilegítima.

La incorporación de tecnologías de medida del comportamiento humano, obtenidas de la interacción del público con el efectivo, permite analizar las respuestas fisiológicas o de la actividad neuronal generada (inconscientes). Estas medidas son más fiables para comprender las preferencias de los usuarios, al proporcionar información no sesgada por factores externos.

Además, el desarrollo de algoritmos basados en el análisis de los datos recopilados a través de la IA permite inferir indicadores neurométricos relacionados con la preferencia de los usuarios, así como los niveles de impacto visual, emocional y cognitivo.

De esta forma, fruto de la unión de ciencia y tecnología, surge Neurocash, una forma de diseñar un efectivo atractivo, intuitivo y seguro, capaz de adaptarse a las demandas y necesidades de la sociedad, y de reducir los costes de desarrollo, al virtualizar su diseño y mejorar el control de calidad.



Isologotipo del proyecto Neurocash. Fuente: Banco de España y LabLENI, 2022.



Proyecto Neurocash, colaboración Banco de España y LENI. Fuente: Banco de España y LabLENI, 2022.

6 Conclusiones

El dinero en efectivo, en especial los billetes, debe constituir un producto atractivo, con un diseño reconocible, que garantice la identificación de los usuarios con su moneda y logre despertar un sentimiento de orgullo durante su utilización. Asimismo, los elementos de diseño y las medidas de seguridad integradas deben ser fácilmente identificables por los usuarios y difíciles de falsificar y reproducir a través de medios externos.

Nuevas disciplinas, como la neurociencia y el diseño emocional, tienen aplicación en esta tarea. Mediante la comprensión de la relación existente entre la emoción, la atención y la memoria, a partir de diferentes herramientas neurométricas, es posible analizar la conducta de los usuarios y evaluar diferentes procesos cognitivos, como el interés visual, la memoria, las emociones o la atención sostenida en las diferentes zonas de interés del billete.

El desarrollo y la utilización de las técnicas de análisis neurométricos, tanto inconscientes como conscientes, han facilitado conocer cómo interaccionan los usuarios con los billetes, y qué características o elementos de seguridad son los que generan mayor interés y sentimiento de seguridad. Esta información es de gran utilidad para diseñar nuevos elementos de seguridad que atraigan la atención del público, lo que favorece que la diferenciación de una reproducción ilegal respecto del billete legítimo sea rápida y efectiva.

Gracias a los estudios neurométricos analizados, se conoce que el cerebro busca eficiencias en la revisión de los elementos de seguridad con el objetivo de ahorrar la cantidad de recursos disponibles y se obtiene gran información de aplicación al ciclo de vida de los billetes.

El desarrollo tecnológico y la creciente aplicación de la neurociencia en diferentes sectores industriales deben favorecer la creación de nuevas herramientas y técnicas de análisis neurométrico. Es necesario considerar que el diseño de los billetes debe ser universal, desarrollado para poder ser utilizado de forma eficiente por cualquier usuario, independientemente de su condición. Las estructuras táctiles integradas en los billetes en circulación se caracterizan por favorecer su identificación por los usuarios que presentan dificultad en la visión. Sin embargo, este elemento también podría constituir una oportunidad mediante la creación de un factor diferenciador que logre despertar en los usuarios diferentes emociones y sensaciones táctiles.

El estudio de la voz, como posible herramienta neurométrica, podría ofrecer información acerca de la prosodia y la semántica de la voz de los usuarios durante la evaluación a tiempo real del billete.

De igual forma, el desarrollo tecnológico en la realidad virtual y en *softwares* de modelado 3D abre las puertas a la creación de modelos de billetes virtuales, y, con la introducción de la IA, permitiría establecer modelos de análisis y predicción que infiriesen en la capacidad cognitiva, emocional y las preferencias de los usuarios. De esta forma, se lograría un desarrollo más eficiente, al permitir la comparación simultánea de las

características de varios billetes sin la necesidad de fabricarlos, y disminuirían los costes y tiempos de fabricación.

Neurocash, desarrollado en colaboración por el Banco de España y el LENI del i3B de la Universitat Politècnica de València, promueve la creación de diseños de billetes más seguros y fiables, con los que el público pueda sentirse identificado y orgulloso. Este proyecto también presenta aplicación en diferentes fases a lo largo del ciclo del efectivo, como la evaluación de la criticidad en los defectos de producción y la discriminación de reproducciones ilegítimas frente a efectivo de curso legal, entre otras.

Bibliografía

- AGIS Consulting. (s.f.). *Cash Essentials*, 7.
- Alberich, Jordi, David Gómez Fontanills y Alba Ferrer Franquesa. (s.f.a). «Fisiología y percepción visual». *Percepción visual*. Universitat Oberta de Catalunya, pp. 11-18.
- Alberich, Jordi, David Gómez Fontanills y Alba Ferrer Franquesa. (s.f.b). «Psicología de la percepción». *Percepción visual*. Universitat Oberta de Catalunya, pp. 18-34.
- Anasaci. (2020). «Las Leyes de la Gestalt». <https://anasaci.com/blog/disenadores/disenografico/las-leyes-de-la-gestalt.html#%3A%7E%3Atext%3DSe%20trata%20de%20una%20serie%2Cvemos%2C%20de%20darle%20forma%20mental>
- Banco Central Europeo. (s.f.). *La estrategia de efectivo del Eurosistema*. Banco Central Europeo/Eurosistema. <https://www.ecb.europa.eu/euro/html/index.es.html>
- Banco de España y LabLENI. (2022). *Neurocash, a new way of designing cash*.
- Banco de México. (2015). *Estudio de neurociencia. Elementos de seguridad en los billetes*.
- De Heij, Hans (2009). "Banknote design for the visually impaired". *Occasional Studies*, 7(2). https://www.dnb.nl/media/c5hln3z3/200911_nr_02_-2009-_-_banknote_design_for_the_visually_impaired.pdf
- Di Nella, Juan Ignacio. (2014). *Diseño emocional y experiencia de usuario*. Universidad Nacional de la Plata.
- Dodgson, Daniel B., y Jane E. Raymond. (2022). «Banknote authenticity is signalled by rapid neural responses». *Scientific Reports*, 12(2076). <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05972-8>
- Eberhard, John P. (2009). «Applying Neuroscience to Architecture». *Neuron*, 62, pp. 753-756.
- Flores España, Carlos Javier. (2019). *Ingeniería Kansei, el valor del diseño emocional*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Gay, Aquiles, y Lidia Samar. (2007). «El diseño industrial». *El diseño industrial en la historia*. Ediciones TEC, pp. 9-21.
- Gkavanozi, A. (2021). *Perception Studies*. Banco Central Europeo.
- Herrera Batista, Miguel Ángel. (2012). *El neurodiseño como una nueva práctica hacia el diseño científico*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Infosegura. (2017). «The new € 50 and neuroscience». *Infosegura*, pp. 8-9.
- López M., Javier Alfonso. (2007). «Diez principios para un buen diseño según Dieter Rams». *Revista Zona*, 2, pp. 38-43. <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/453/Diez%20principios%20para%20un%20buen%20disen%CC%83o%20segun%20dieter%20rams0001.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Molas, Xevi. (2021). «Explicación del procesamiento visual y las corrientes ventral y dorsal». *PsicoActiva*. <https://www.p psicoactiva.com/blog/procesamiento-visual-corrientes-ventral-y-dorsal/>
- Núñez Romero, Raúl, Francisco Aguayo González y Antonio Córdoba Roldán. (2017). «Neurodiseño y neurousabilidad de automóviles. Una propuesta desde la ingeniería neurokansei-chisei». *IV Jornada de Investigación y Postgrado*. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Sevilla, pp. 27-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6571313>

- Ortuño, Rubén, José M. Sánchez, Diego Álvarez, Miguel López y Fernando León. (2020). «Neurometrics applied to banknote and security features design». Documentos Ocasionales - Banco de España, 2008. <https://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSerias/DocumentosOcasionales/20/Files/do2008e.pdf>
- Purves, Dale. (2008). «Estudio del sistema nervioso de los seres humanos y otros animales». *Neurociencia*. Panamericana, p. 1.
- Rodríguez Naranjo, Blanca Yolanda. (2017a). «Neurociencia». *Fundamentos de la Neurociencia Educativa - Universidad Indoamérica*. 14.
- Rodríguez Naranjo, Blanca Yolanda. (2017b). «Neurociencia». *Fundamentos de la Neurociencia Educativa - Universidad Indoamérica*, 16.
- Sánchez Márquez, Nery Isabel. (2018). *Atención, memoria y emoción: una revisión conceptual*. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/19d18d62-8068-40e3-9011-21b45a2df54b/content>
- Sanz Adán, Félix. (2014). *Ecodiseño, un nuevo concepto en el desarrollo de productos*. Universidad de La Rioja, pp. 9-11.
- SICPA y DEMAIN. (2017). *Banknotes for all. Intuitive tactile system for the visually impaired*.

PUBLICACIONES DEL BANCO DE ESPAÑA

DOCUMENTOS OCASIONALES

- 2110 DMITRY KHAMETSHIN: High-yield bond markets during the COVID-19 crisis: the role of monetary policy.
- 2111 IRMA ALONSO y LUIS MOLINA: A GPS navigator to monitor risks in emerging economies: the vulnerability dashboard.
- 2112 JOSÉ MANUEL CARBÓ y ESTHER DIEZ GARCÍA: El interés por la innovación financiera en España. Un análisis con Google Trends.
- 2113 CRISTINA BARCELÓ, MARIO IZQUIERDO, AITOR LACUESTA, SERGIO PUENTE, ANA REGIL y ERNESTO VILLANUEVA: Los efectos del salario mínimo interprofesional en el empleo: nueva evidencia para España.
- 2114 ERIK ANDRES-ESCAIOLA, JUAN CARLOS BERGANZA, RODOLFO CAMPOS y LUIS MOLINA: A BVAR toolkit to assess macrofinancial risks in Brazil and Mexico.
- 2115 ÁNGEL LUIS GÓMEZ y ANA DEL RÍO: El impacto desigual de la crisis sanitaria sobre las economías del área del euro en 2020. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2116 FRUCTUOSO BORRALLO EGEEA y PEDRO DEL RÍO LÓPEZ: Estrategia de política monetaria e inflación en Japón. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2117 MARÍA J. NIETO y DALVINDER SINGH: Incentive compatible relationship between the ERM II and close cooperation in the Banking Union: the cases of Bulgaria and Croatia.
- 2118 DANIEL ALONSO, ALEJANDRO BUESA, CARLOS MORENO, SUSANA PÁRRAGA y FRANCESCA VIANI: Medidas de política fiscal adoptadas a partir de la segunda ola de la crisis sanitaria: área del euro, Estados Unidos y Reino Unido. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2119 ROBERTO BLANCO, SERGIO MAYORDOMO, ÁLVARO MENÉNDEZ y MARISTELA MULINO: El impacto de la crisis del COVID-19 sobre la vulnerabilidad financiera de las empresas españolas. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2120 MATÍAS PACCE, ISABEL SÁNCHEZ y MARTA SUÁREZ-VARELA: El papel del coste de los derechos de emisión de CO₂ y del encarecimiento del gas en la evolución reciente de los precios minoristas de la electricidad en España. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2121 MARIO ALLOZA, JAVIER ANDRÉS, PABLO BURRIEL, IVÁN KATARYNIUK, JAVIER J. PÉREZ y JUAN LUIS VEGA: La reforma del marco de gobernanza de la política fiscal de la Unión Europea en un nuevo entorno macroeconómico. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2122 MARIO ALLOZA, VÍCTOR GONZÁLEZ-DÍEZ, ENRIQUE MORAL-BENITO y PATROCINIO TELLO-CASAS: El acceso a servicios en la España rural. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2123 CARLOS GONZÁLEZ PEDRAZ y ADRIAN VAN RIXTEL: El papel de los derivados en las tensiones de los mercados durante la crisis del COVID-19. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2124 IVÁN KATARYNIUK, JAVIER PÉREZ y FRANCESCA VIANI: (De-)Globalisation of trade and regionalisation: a survey of the facts and arguments.
- 2125 BANCO DE ESPAÑA STRATEGIC PLAN 2024: RISK IDENTIFICATION FOR THE FINANCIAL AND MACROECONOMIC STABILITY: How do central banks identify risks? A survey of indicators.
- 2126 CLARA I. GONZÁLEZ y SOLEDAD NÚÑEZ: Markets, financial institutions and central banks in the face of climate change: challenges and opportunities.
- 2127 ISABEL GARRIDO: La visión del Fondo Monetario Internacional sobre la equidad en sus 75 años de vida. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2128 JORGE ESCOLAR y JOSÉ RAMÓN YRIBARREN: Las medidas del Banco Central Europeo y del Banco de España contra los efectos del COVID-19 en el marco de los activos de garantía de política monetaria y su impacto en las entidades españolas. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2129 BRINDUSA ANGHEL, AITOR LACUESTA y FEDERICO TAGLIATI: Encuesta de Competencias Financieras en las Pequeñas Empresas 2021: principales resultados. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2130 PABLO HERNÁNDEZ DE COS: Comparecencias ante la Comisión de Presupuestos del Congreso de los Diputados, el 25 de octubre de 2021, y ante la Comisión de Presupuestos del Senado, el 30 de noviembre de 2021, en relación con el Proyecto de Presupuestos Generales del Estado para 2022. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2131 LAURA AURIA, MARKUS BINGMER, CARLOS MATEO CAICEDO GRACIANO, CLÉMENCE CHARAVEL, SERGIO GAVILÁ, ALESSANDRA IANNAMORELLI, AVIRAM LEVY, ALFREDO MALDONADO, FLORIAN RESCH, ANNA MARIA ROSSI y STEPHAN SAUER: Overview of central banks' in-house credit assessment systems in the euro area.

- 2132 JORGE E. GALÁN: CREWS: a CAMELS-based early warning system of systemic risk in the banking sector.
- 2133 ALEJANDRO FERNÁNDEZ CERERO y JOSÉ MANUEL MONTERO: Un análisis sectorial de los retos futuros de la economía española.
- 2201 MANUEL A. PÉREZ ÁLVAREZ: Nueva asignación de derechos especiales de giro. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2202 PILUCA ALVARGONZÁLEZ, MARINA GÓMEZ, CARMEN MARTÍNEZ-CARRASCAL, MYROSLAV PIDKUYKO y ERNESTO VILLANUEVA: Analysis of labor flows and consumption in Spain during COVID-19.
- 2203 MATÍAS LAMAS y SARA ROMANIEGA: Elaboración de un índice de precios para el mercado inmobiliario comercial de España. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2204 ÁNGEL IVÁN MORENO BERNAL y TERESA CAMINERO GARCÍA: Analysis of ESG disclosures in Pillar 3 reports. A text mining approach.
- 2205 OLYMPIA BOVER, LAURA CRESPO y SANDRA GARCÍA-URIBE: El endeudamiento de los hogares en la Encuesta Financiera de las Familias y en la Central de Información de Riesgos: un análisis comparativo. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2206 EDUARDO GUTIÉRREZ, ENRIQUE MORAL-BENITO y ROBERTO RAMOS: Dinámicas de población durante el COVID-19. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2207 JULIO GÁLVEZ: Measuring the equity risk premium with dividend discount models.
- 2208 PILAR CUADRADO, MARIO IZQUIERDO, JOSÉ MANUEL MONTERO, ENRIQUE MORAL-BENITO y JAVIER QUINTANA: El crecimiento potencial de la economía española tras la pandemia. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2209 PANA ALVES, SERGIO MAYORDOMO y MANUEL RUIZ-GARCÍA: La financiación empresarial en los mercados de renta fija: la contribución de la política monetaria a mitigar la barrera del tamaño. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2210 PABLO BURRIEL, IVÁN KATARYNIUK y JAVIER J. PÉREZ: Computing the EU's SURE interest savings using an extended debt sustainability assessment tool.
- 2211 LAURA ÁLVAREZ, ALBERTO FUERTES, LUIS MOLINA y EMILIO MUÑOZ DE LA PEÑA: La captación de fondos en los mercados internacionales de capitales en 2021. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2212 CARLOS SANZ: El peso del sector público en la economía: resumen de la literatura y aplicación al caso español.
- 2213 LEONOR DORMIDO, ISABEL GARRIDO, PILAR L'HOTELLERIE-FALLOIS y JAVIER SANTILLÁN: El cambio climático y la sostenibilidad del crecimiento: iniciativas internacionales y políticas europeas. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2214 CARMEN SÁNCHEZ y JARA QUINTANERO: Las empresas *finotech*: panorama, retos e iniciativas.
- 2215 MARÍA ALONSO, EDUARDO GUTIÉRREZ, ENRIQUE MORAL-BENITO, DIANA POSADA, PATROCINIO TELLO-CASAS y CARLOS TRUCHARTE: La accesibilidad presencial a los servicios bancarios en España: comparación internacional y entre servicios. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2216 BEATRIZ GONZÁLEZ, ENRIQUE MORAL-BENITO e ISABEL SOLER: Schumpeter Meets Goldilocks: the Scarring Effects of Firm Destruction.
- 2217 MARIO ALLOZA, JÚLIA BRUNET, VÍCTOR FORTE-CAMPOS, ENRIQUE MORAL-BENITO y JAVIER J. PÉREZ: El gasto público en España desde una perspectiva europea. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2218 PABLO AGUILAR, BEATRIZ GONZÁLEZ y SAMUEL HURTADO: Carbon tax sectoral (CATS) model: a sectoral model for energy transition stress test scenarios.
- 2219 ALEJANDRO MUÑOZ-JULVE y ROBERTO RAMOS: Estimación del impacto de variaciones en el período de cálculo de la base reguladora sobre la cuantía de las nuevas pensiones de jubilación. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2220 LUIS ÁNGEL MAZA: Una estimación de la huella de carbono en la cartera de préstamos a empresas de las entidades de crédito en España. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2221 SUSANA MORENO SÁNCHEZ: The EU-UK relationship: regulatory divergence and the level playing field.
- 2222 ANDRÉS ALONSO-ROBISCO y JOSÉ MANUEL CARBÓ: Inteligencia artificial y finanzas: una alianza estratégica.
- 2223 LUIS FERNÁNDEZ LAFUERZA, MATÍAS LAMAS, JAVIER MENCÍA, IRENE PABLOS y RAQUEL VEGAS: Análisis de la capacidad de uso de los colchones de capital durante la crisis generada por el COVID-19. (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2224 SONSOLES GALLEGOS, ISABEL GARRIDO e IGNACIO HERNANDO: Las líneas del FMI para aseguramiento y prevención de crisis y su uso en Latinoamérica (Existe una versión en inglés con el mismo número).
- 2301 LAURA HOSPIDO, CARLOS SANZ y ERNESTO VILLANUEVA: Air pollution: a review of its economic effects and policies to mitigate them.
- 2302 IRENE MONASTEROLO, MARÍA J. NIETO y EDO SCHETS: The good, the bad and the hot house world: conceptual underpinnings of the NGFS scenarios and suggestions for improvement.
- 2303 ADRIÁN LÓPEZ GONZÁLEZ: Inteligencia artificial aplicada al control de calidad en la producción de billetes.
- 2304 BELÉN AROCA MOYA: Conceptos, fundamentos y herramientas de neurociencia, y su aplicación al billete.