

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Análisis de métricas cognitivo-emocionales en la visualización
de productos alimenticios**

Trabajo de graduación presentado por José Javier Hurtarte Hernández
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias
de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



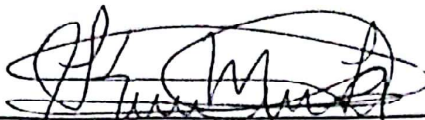
**Análisis de métricas cognitivo-emocionales en la visualización
de productos alimenticios**

Trabajo de graduación presentado por José Javier Hurtarte Hernández
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias
de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

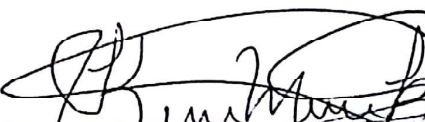
2023

Vo.Bo.:

(f) 

Kimberly Marisol Barrera Alvarez

Tribunal Examinador:

(f) 

Kimberly Marisol Barrera Alvarez

(f) 

Douglas Leonel Barrios Gonzalez

(f) 

Claudia Garcia de la Cadena Ramirez

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2023.

En el camino mi aprendizaje y la realización de este proyecto, he sido afortunado de contar con el apoyo de muchas personas que han contribuido en diferentes formas.

1. Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Departamento de Ciencias de la Computación cuyo apoyo ha sido fundamental a lo largo de mi trayectoria académica y especialmente en la realización de este proyecto de graduación. También quiero expresar mi sincera gratitud hacia Ingeniero Douglas Barrios y Heidy Ortega por su guía y apoyo durante mi trayectoria universitaria.

2. Estoy inmensamente agradecido con la Ingeniera Kimberly Barrera, quien desde el inicio asumió la asesoría de mi proyecto. Sin sus incontables horas de reunión y consulta, su dedicación, apoyo y las valiosas correcciones aportadas hicieron posible la realización y culminación de este proyecto.

3. Mi eterno agradecimiento a mi familia, en particular a mi mamá, María José Hurtarte, y a mi abuelita, Elsa Maribel Hernández (QEPD), cuyo amor, apoyo incondicional y ejemplo de perseverancia, excelencia y dedicación han sido mi guía y motivación a lo largo de toda mi vida. También extendiendo mi gratitud a mis tías, tíos y primos por su amor y apoyo constante.

4. Agradezco mis amigos, Sergio, Marcelo, Eduardo, Pedro, Christian, Andrei, Méndez, Diana y Orlando, por estar siempre presentes, por las palabras de aliento, las risas compartidas y por ser una fuente de apoyo invaluable en mi vida y durante mi carrera.

5. Además agradezco a mi leal mascota Jack Churchill, cuya compañía ha traído felicidad y serenidad a mi vida, siendo un apoyo incondicional en las largas noches de estudio y trabajo.

6. Finalmente, mi agradecimiento se extiende a toda la comunidad de la UVG, estudiantes y colaboradores que participaron voluntariamente en el proyecto de graduación, su participación fue fundamental para el éxito de este proyecto.

La realización de este proyecto no sólo representa la culminación de una etapa, sino también el reflejo del apoyo, la confianza y la colaboración de cada individuo que ha formado parte de esta travesía. Cada uno de ustedes ha dejado una huella inmensa en mi vida y en este proyecto.

Prefacio	v
Lista de figuras	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivos generales	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Análisis cognitivo y emocional	7
4.1.1. Concepto y aplicaciones	7
4.2. Electroencefalografía (EEG)	8
4.2.1. Principios básicos	8
4.2.2. Aplicaciones	8
4.2.3. Tecnología y avances recientes	9
4.2.4. Medición de señales EEG	9
4.2.5. Casco Emotiv y características	10
4.3. Eye tracking	12
4.3.1. Principios básicos, teoría y aplicaciones	12
4.3.2. Aplicaciones	12
4.3.3. Técnicas de Eye tracking	13
4.3.4. ETVision Eyetracker	14
4.4. Identificación de reacciones emocionales	14
4.4.1. Modelo circuplejo de emociones	14

4.5.	Aplicación del análisis cognitivo y emocional a la visualización de productos alimenticios	15
4.5.1.	Importancia y beneficios	15
4.5.2.	Estudios previos relacionados al análisis de señales EEG, eye tracking y productos alimenticios	15
4.5.3.	Colores y su relación con los productos alimenticios	15
5.	Metodología	17
5.1.	Diseño del trabajo	17
5.2.	Diseño de pruebas	17
5.3.	Diseño de protocolo de pruebas	19
5.4.	Ejecución de pruebas	20
5.5.	Limpieza de datos y creación del dataset	21
5.6.	Obtención de métricas	23
6.	Resultados	25
6.1.	Estado final de la Base de Datos	25
6.2.	Evolución temporal de las métricas de rendimiento	26
6.3.	Selección de productos	27
6.4.	Análisis de observaciones de productos	28
6.5.	Respuestas emocionales por producto	30
6.6.	Respuestas cognitivas por producto	31
6.7.	Relación entre métricas cognitivas, emocionales y probabilidad de elección	34
6.8.	Colaboración y análisis de datos	34
7.	Conclusiones	35
8.	Recomendaciones	37
9.	Bibliografía	39
10.	Anexos	43
10.1.	Tablero utilizado para los productos alimenticios.	43
10.2.	Consentimiento informado llenado antes de realizar las pruebas.	44
11.	Glosario	45

Lista de figuras

1.	Configuración de los 14 electrodos del dispositivo Emotiv Epoc X	11
2.	Configuración de los 32 electrodos del dispositivo Emotiv Flex	11
3.	ETVision Eyetracker y sus partes	14
4.	Posiciones de los productos alimenticios.	18
5.	Configuración del ambiente de las pruebas mostrando ambos sensores de manera simultánea y el equipo utilizado para grabar los resultados	21
6.	Visualización de algoritmo de escalamiento de posiciones	22
7.	Visualización de algoritmo de clasificación de productos basado en posiciones	23
8.	Evolución de las métricas de rendimiento a lo largo del tiempo	26
9.	Probabilidad de los sujetos de escoger una caja de leche	27
10.	Probabilidad de los sujetos de escoger un empaque de galleta	27
11.	Mapa de calor global de posiciones observadas en el tablero	28
12.	Posiciones vistas en el área de cajas de leche	28
13.	Posiciones vistas en el área de empaques de galleta	29
14.	Cantidad de vistas para cajas de leche	29
15.	Cantidad de vistas para empaques de galleta	29
16.	Agrado emocional de cajas de leche en escala de Likert	30
17.	Agrado emocional de cajas de empaques de galleta en escala de Likert	30
18.	Promedio de potencia de frecuencia theta para cajas de leche	31
19.	Promedio de potencia de frecuencia theta para empaques de galleta	31
20.	Promedio de potencia de frecuencia alpha para cajas de leche	32
21.	Promedio de potencia de frecuencia alpha para empaques de galleta	32
22.	Promedio de potencia de frecuencia beta para cajas de leche	32
23.	Promedio de potencia de frecuencia beta para empaques de galleta	33
24.	Promedio de potencia de frecuencia gamma para cajas de leche	33
25.	Promedio de potencia de frecuencia gamma para empaques de galleta	33

Este estudio explora la interacción entre las métricas cognitivas y emocionales en respuesta a la visualización de productos alimenticios, empleando tecnología de seguimiento ocular y electroencefalografía (EEG). El objetivo es desentrañar las dinámicas cognitivas y emocionales que se desencadenan al interactuar con estos productos, facilitando una comprensión más profunda del proceso de elección del consumidor.

Se implementa una metodología robusta que incluye el uso del casco Emotiv para capturar señales EEG, y tecnología de seguimiento ocular para analizar patrones de atención visual. La adopción de técnicas avanzadas de procesamiento de señales y extracción de características es crucial para interpretar los datos recopilados, además de una depuración para obtener datos útiles sincronizados de ambos sensores.

A lo largo del proyecto, se discute la relevancia y las ventajas de incorporar un análisis cognitivo-emocional en la visualización de productos alimenticios. Los hallazgos anticipan proporcionar insights significativos a las empresas alimenticias sobre cómo los consumidores perciben y responden a sus productos. Esto puede informar estrategias optimizadas en presentación de productos, diseño de empaque y marketing, con el potencial de impulsar las ventas y aumentar la satisfacción del cliente. La investigación también destaca la importancia de los colores en la percepción del producto y cómo productos comunes como la leche y las galletas evocan respuestas cognitivas y emocionales, lo que podría ser un pilar en la formulación de estrategias de marketing más efectivas.

This project explores the cognitive-emotional metrics in the visualization of food products, employing eye-tracking technology and EEG (Electroencephalogram) sensors. The human behavioral complexity reflects a variety of cognitive and emotional processes that interact with each other. Understanding these processes and the relationship between what a person sees and how they react at a cognitive and emotional level is fundamental for a variety of research fields, such as psychology, marketing, and human-computer interaction. This innovative approach aims to explore these interactions in the context of food product visualization, offering valuable insights to food companies on consumer behavior, and facilitating the creation of more appealing products and effective marketing strategies. The outcomes of the project will have a significant impact on the food industry, providing quantitative cognitive and emotional data that will help understand the process the consumer takes to make the choice to buy a food product.

El comportamiento humano es complejo, reflejando una variedad de procesos cognitivos y emocionales que interactúan entre sí. La comprensión de estos procesos, y la relación entre lo que una persona ve y cómo reacciona a nivel cognitivo y emocional es fundamental para una variedad de campos de investigación, como psicología, marketing e interacción Humano Computador [1]. Este enfoque innovador busca explorar estas interacciones en el contexto de la visualización de productos alimenticios utilizando una combinación de tecnología de seguimiento ocular y EEG (electroencefalograma).

El seguimiento ocular es una tecnología que permite medir dónde y cuando miramos, proporcionando información valiosa sobre nuestros patrones de atención. Los lentes de seguimiento ocular permiten a los usuarios no solo proyectar su mirada hacia una pantalla en 2d, sino que permite interactuar visualmente con objetos reales en una dimensión 3d, lo cual es beneficioso para realizar mediciones en un ambiente simulado de cómo se hacen realmente de las observaciones a objetos alimenticios en casos de la vida real. Este dispositivo permite mediante luz infrarroja rastrear las reflexiones corneales, lo cual permite calcular con precisión la mirada y entender los aspectos que captan la atención de los participantes. Además al combinar esto con un casco de EEG podemos saber métricas emocionales y cognitivas y compararlas con el objeto que se está viendo, teniendo así un mejor entendimiento de las emociones y reacciones cognitivas de los consumidores.

Los dispositivos de EEG, como el casco Emotiv, permiten la medición de actividad cerebral de una manera no invasiva y relativamente fácil de instalar y utilizar. Los dispositivos de EEG han sido utilizados para diversas aplicaciones en investigaciones en neurociencia hasta la utilización de estas señales para interfaces cerebro-computador (BCI). Este proyecto propone utilizar las señales EEG producidas por un casco Emotiv, para poder identificar al momento de realizar mediciones de Eye Tracking, las reacciones emocionales y cognitivas.

La identificación de sentimientos basado en señales de EEG puede proporcionar información altamente valiosa para la industria alimentaria, permitiendo a empresas comprender de una mejor manera las reacciones emocionales de las personas al consumir y observar sus productos, y con esta información, mejorar la calidad y saber que tan agradable es un

producto alimenticio y que tan llamativo es. Además, por lo que con este enfoque, podemos generar resultados de patrones visuales útiles en productos alimenticios llamativos y posicionamientos que favorecen la observación de productos, para así poder generar recomendaciones visuales en los productos, además de que con el análisis de estas métricas y la combinación de ambos sensores nos proporcionará una versión más completa y objetiva de las opiniones de las personas hacia distintos productos.

La justificación de este proyecto radica en la necesidad creciente de comprender el comportamiento del consumidor en relación con la presentación y percepción de los productos alimenticios. En el competitivo mercado actual, las empresas de alimentos buscan constantemente formas de captar la atención del consumidor y entender sus preferencias. Los patrones de visualización y las respuestas emocionales y cognitivas a la visualización de productos alimenticios pueden proporcionar una información inestimable para informar sobre el diseño del producto, el embalaje y las estrategias de marketing.

Además, la combinación del seguimiento ocular y el EEG para medir la atención y la respuesta emocional ofrece una metodología única que va más allá de las encuestas y las entrevistas tradicionales. Esta combinación proporciona una visión más directa y objetiva de las respuestas inmediatas y subconscientes de los consumidores, que a menudo no pueden ser captadas o son mal interpretadas.

Por otro lado, este estudio también podría proporcionar una nueva visión en la investigación en neurociencia del consumidor, al combinar métodos de seguimiento ocular y EEG en un contexto de interacción con productos alimenticios. Puede exhibir los patrones de visualización y las respuestas emocionales y cognitivas que los consumidores tienen al interactuar con estos productos, lo que puede llevar a nuevas comprensiones en esta área de estudio.

Finalmente, los resultados de este proyecto tendrán un impacto significativo en la industria alimentaria, al proporcionar a las empresas datos cuantitativos sobre qué características visuales o de producto atraen más la atención y provocan respuestas emocionales y cognitivas más fuertes. Esto podría conducir a mejoras en la presentación de los productos, el diseño del empaque, y las estrategias de marketing que finalmente podrían resultar en un aumento en las ventas y la satisfacción del consumidor.

3.1. Objetivos generales

- Analizar las métricas cognitivas y emocionales relevantes durante la visualización de productos alimenticios, haciendo uso de tecnologías de seguimiento ocular y electroencefalograma (EEG).
- Identificar patrones en los datos que señalen los aspectos de los productos alimenticios que generen respuestas cognitivas y emocionales fuertes.

3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y aplicar un protocolo de pruebas que permita el uso conjunto del casco EEG y los lentes de seguimiento ocular (Eye Tracking) en la visualización de productos alimenticios, asegurando su reproducibilidad.
- Obtener métricas cognitivas y emocionales utilizando tecnología de seguimiento ocular y señales EEG en la visualización de productos alimenticios.
- Analizar la relación entre las métricas de seguimiento ocular y las métricas EEG con el fin de comprender cómo la percepción visual se correlaciona con las respuestas cognitivas y emocionales en la visualización de productos alimenticios.
- Desarrollar una base de datos preliminar que incorpore señales EEG y de seguimiento ocular, asegurando que contenga datos depurados y estructurados correctamente, obtenidos de pruebas de observación de productos alimenticios.

4.1. Análisis cognitivo y emocional

4.1.1. Concepto y aplicaciones

La cognición involucra los procesos mentales relacionados con la adquisición, procesamiento, almacenamiento y utilización de la información, mientras que las emociones representan respuestas complejas a ciertos estímulos o situaciones. La relación entre cognición y emoción es bidireccional y compleja, sugiriendo una interacción significativa entre estos dominios. La exploración de métricas cognitivas y emocionales en la visualización de productos alimenticios se basa en un enfoque multidisciplinario que intersecta la psicología, el marketing y la interacción humano-computador. Las emociones desempeñan un papel crucial en los procesos de toma de decisiones, impactando significativamente en el comportamiento del consumidor. Este análisis consiste en la comprensión de los procesos mentales y emocionales que están implícitos en la conducta humana. Estas técnicas se utilizan en una variedad de campos, desde la psicología hasta la informática, para entender mejor cómo los humanos procesan la información, reaccionan emocionalmente y toman decisiones [1].

Existen múltiples enfoques en el análisis cognitivo y emocional, incluyendo, pero no limitado a, enfoques conductuales, cognitivos, neurocientíficos, y de inteligencia artificial. Cada uno tiene su propio conjunto de técnicas y metodologías para medir y analizar los procesos cognitivos y emocionales, y cada uno ofrece una perspectiva única sobre el comportamiento humano. Schwarz subraya que cada aspecto de la cognición, emoción, motivación y comportamiento humano es situado y altamente sensible al contexto. Por lo tanto, se requieren métodos de investigación que exploren la naturaleza situada y empotrada de la experiencia humana. Esto sugiere que los enfoques mencionados pueden beneficiarse de la incorporación de métodos que capturan la dinámica contextual en la que se inscriben estos procesos. Por ejemplo, el análisis conductual puede explorar cómo las variables del entorno influyen en el comportamiento, mientras que los enfoques neurocientíficos podrían investigar cómo la contextura modula la actividad cerebral relacionada con la cognición y la emoción. Además,

los métodos de inteligencia artificial pueden emplearse para modelar y analizar estas interacciones complejas en un formato computacional, proporcionando así una visión integral y multidimensional del análisis cognitivo-emocional, la cual puede llegar a predecir el comportamiento humano mediante utilizando métricas cognitivas para realizar predicciones. [2].

4.2. Electroencefalografía (EEG)

4.2.1. Principios básicos

La electroencefalografía (EEG) es una técnica de neuroimagen que mide la actividad eléctrica del cerebro. Consiste en la colocación de electrodos en el cuero cabelludo del sujeto, que registran la actividad eléctrica de las neuronas en diferentes regiones del cerebro. La EEG puede proporcionar información detallada sobre los patrones de activación cerebral en respuesta a diferentes estímulos, lo que la hace ideal para el estudio de los procesos cognitivos y emocionales. La EEG ha evolucionado considerablemente desde su invención en la década de 1920. A lo largo de los años, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos de EEG más precisos y versátiles, que pueden registrar la actividad cerebral con una resolución temporal muy alta. El EEG registra la actividad eléctrica del cerebro capturando las señales eléctricas generadas por las neuronas. Esta actividad se mide en términos de voltaje y se registra a lo largo del tiempo. Un principio clave de la EEG es la amplificación diferencial, que implica registrar las diferencias de voltaje entre diferentes puntos usando un par de electrodos que compara un sitio de electrodo activo exploratorio con otro electrodo de referencia cercano o distante. Solo a través de medir las diferencias en el potencial eléctrico se generan las ondas EEG discernibles[3].

4.2.2. Aplicaciones

La electroencefalografía (EEG) es una herramienta crucial en el ámbito clínico, utilizada para diagnosticar y monitorear una variedad de trastornos cerebrales. Entre estos, la epilepsia es uno de los más comunes, donde la EEG permite identificar actividad de crisis representada por ondas de alta amplitud. Además, en casos de lesiones cerebrales resultantes de tumores o accidentes cerebrovasculares, la EEG puede revelar ondas más lentas dependiendo del tamaño y la ubicación de la lesión.

La EEG también es instrumental en el diagnóstico de otros trastornos que afectan la actividad cerebral, como la enfermedad de Alzheimer, ciertas psicosis y la narcolepsia. Asimismo, esta técnica es vital para evaluar el estado de conciencia en pacientes en coma, permitiendo un monitoreo en tiempo real de la actividad cerebral. En casos de trauma, intoxicación por drogas o daño cerebral, la EEG ayuda a evaluar la actividad eléctrica general del cerebro, proporcionando información valiosa sobre el grado de daño cerebral.

Además, la EEG se utiliza para monitorear el flujo sanguíneo cerebral durante procedimientos quirúrgicos, lo que es crucial para asegurar la seguridad y el éxito de las intervenciones. Esta amplia gama de aplicaciones clínicas resalta la importancia de la EEG en la

práctica médica contemporánea, siendo una herramienta indispensable para la evaluación y el tratamiento de trastornos cerebrales [4].

4.2.3. Tecnología y avances recientes

Con el advenimiento de la tecnología digital y los avances en la inteligencia artificial (IA), la EEG ha experimentado mejoras significativas en términos de precisión y capacidad de análisis. Los avances en la IA, incluyendo métodos de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) y aprendizaje profundo (Deep Learning, DL), han impulsado un creciente interés en las interfaces cerebro-computadora (BCI) basadas en EEG para aplicaciones visuales, literales y de movimiento [5].

Adicionalmente, la disponibilidad de grandes conjuntos de datos de EEG y los avances en el aprendizaje automático han conducido al despliegue de arquitecturas de aprendizaje profundo, especialmente en el análisis de señales de EEG y en la comprensión de la información que estas pueden contener sobre la funcionalidad cerebral [6]. Por ejemplo, los algoritmos de IA, particularmente de ML y DL, están siendo aplicados cada vez más a los datos de EEG para análisis de patrones, clasificación de membresía de grupo y análisis cerebral [7].

Las técnicas de procesamiento de señales de EEG también están evolucionando en la era de la IA, con un creciente interés no solo en la utilización de métodos de IA para la decodificación de EEG en BCI, sino también en aplicaciones visuales, literales y de movimiento de BCI relacionadas con la IA [8]. Un estudio proporcionó una revisión exhaustiva y actualizada sobre el uso de las tecnologías de IA para BCI, destacando cómo la aplicación de tecnologías de IA en la asistencia al análisis de EEG humano se ha convertido en un campo científico activo. Todo esto nos dice que tecnología moderna y la IA han permitido un procesamiento y análisis de datos más sofisticados en los sistemas modernos de EEG. Esto, a su vez, ha permitido descubrimientos más profundos sobre la función cerebral y los trastornos neurológicos. Los avances en la IA y la disponibilidad de grandes conjuntos de datos han facilitado la implementación de arquitecturas de aprendizaje profundo, que son cruciales para extraer información valiosa de las señales de EEG, lo que enriquece la comprensión de la actividad cerebral y potencia la identificación y tratamiento de trastornos neurológicos.[9].

4.2.4. Medición de señales EEG

Las señales EEG son señales eléctricas que se miden por cada uno de los electrodos del casco a utilizar, sin embargo para cada uno de los electrodos, si se utiliza la transformada rápida de Fourier, se pueden obtener las ondas cerebrales, que se clasifican según su frecuencia en ondas delta, theta, alfa, beta y gamma[10]. Cada tipo de onda está asociada con diferentes estados cognitivos y emocionales, las cuales se describen de la siguiente manera:

- **Ondas Alpha (8-13 Hz):** las ondas alfa, generalmente observadas en el rango de 8-13 Hz, juegan un papel destacado en el estado de reposo del cerebro y a menudo son más notables cuando una persona está relajada con los ojos cerrados, pero aún alerta. Originadas en el lóbulo occipital durante la relajación despierta con los ojos cerrados, disminuyen con los ojos abiertos o con atención a estímulos externos. Una

disminución significativa en la actividad de las ondas alfa puede indicar un aumento de procesamiento cognitivo o atención. Estas ondas se vuelven menos prominentes cuando las personas se concentran en una tarea o se ponen alerta. Klimesch (1999) sugiere que la modulación de la actividad alfa está asociada tanto con el rendimiento de la memoria como con tareas cognitivas [11].

- **Ondas Beta (13-30 Hz):** operando dentro del rango de frecuencia de 13-30 Hz, las ondas beta se asocian comúnmente con el pensamiento activo y analítico. Son más evidentes cuando estamos alertas, atentos o participando en actividades de resolución de problemas y toma de decisiones. Un aumento en la actividad de las ondas beta podría indicar un enfoque o atención elevados al estímulo, reflejando un estado de atención activa y externa. Las ondas beta también están relacionadas con el comportamiento motor y suelen verse afectadas por las benzodiazepinas, medicamentos utilizados por sus efectos ansiolíticos [12].
- **Ondas Theta (4-7 Hz):** las ondas theta, encontradas en el rango de 4-7 Hz, son especialmente intrigantes. Frecuentemente se asocian con creatividad, introspección, meditación profunda y las primeras etapas del sueño. Aunque históricamente se relacionaron con la somnolencia, estudios más recientes destacan su papel en tareas que requieren memoria, emoción y procesamiento cognitivo único. Un aumento en la actividad theta puede sugerir un pensamiento introspectivo profundo o una respuesta emocional. También juegan un papel importante en la navegación espacial y la memoria a largo plazo [13].
- **Ondas Gamma (30-100 Hz):** las ondas gamma, que oscilan entre 30 y 100 Hz, son las ondas cerebrales más rápidas y se entienden menos que sus contrapartes más lentas. Se cree que están relacionadas con el procesamiento de información de alto nivel y con la integración de diferentes aspectos de la cognición, conectando información de diferentes partes del cerebro [14]. Estas oscilaciones son esenciales para la percepción unificada en el cerebro, ayudando a formar una percepción cohesiva e integrada del mundo a partir de diferentes entradas sensoriales [15].
- **Ondas Delta (0.5-4 Hz):** las ondas delta, que oscilan entre 0.5 y 4 Hz, son las más lentas entre las ondas cerebrales. Se observan predominantemente durante el sueño profundo, especialmente durante las etapas 3 y 4 del sueño no REM [16]. Su presencia es esencial para los procesos restauradores durante el sueño. La falta de actividad delta durante el sueño puede resultar en que las personas se despierten sintiéndose fatigadas o no descansadas. Además, se ha asociado a las ondas delta con ciertos procesos cognitivos y estados de meditación profunda en adultos despiertos [17].

4.2.5. Casco Emotiv y características

El casco Emotiv, específicamente el modelo EPOCX, es un dispositivo EEG (Electroencefalograma) portátil que facilita la recopilación de datos EEG en diversos entornos. Su diseño intuitivo y la calidad de los datos que proporciona lo hacen ideal para la investigación en el ámbito cognitivo-emocional. Este casco integra 14 electrodos de EEG, permitiendo registrar una amplia gama de métricas tanto cognitivas como emocionales [18].

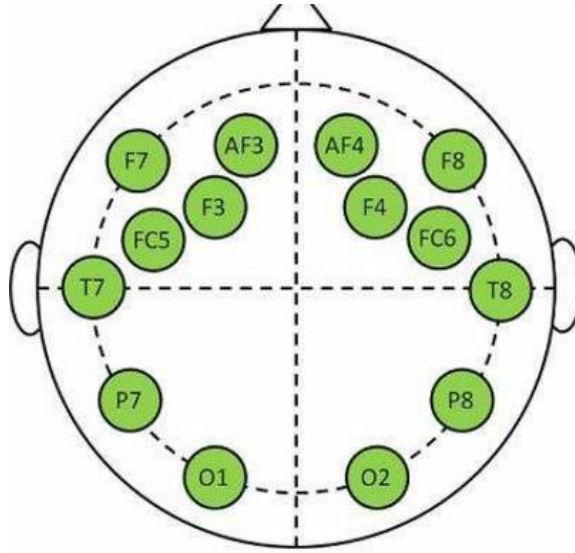


Figura 1: Configuración de los 14 electrodos del dispositivo Emotiv EPOC X

En cuanto a su variante más avanzada, el Emotiv Flex, este permite el uso de hasta 32 electrodos, los cuales funcionan mediante el uso de solución salina en los electrodos o gel de ultrasonido, eliminando la necesidad de geles pegajosos. Los cascos de Emotiv están diseñados para ofrecer una precisión en la captura de señales eléctricas del cerebro, con frecuencias de muestreo que van desde 128 Hz hasta 256 Hz [19].

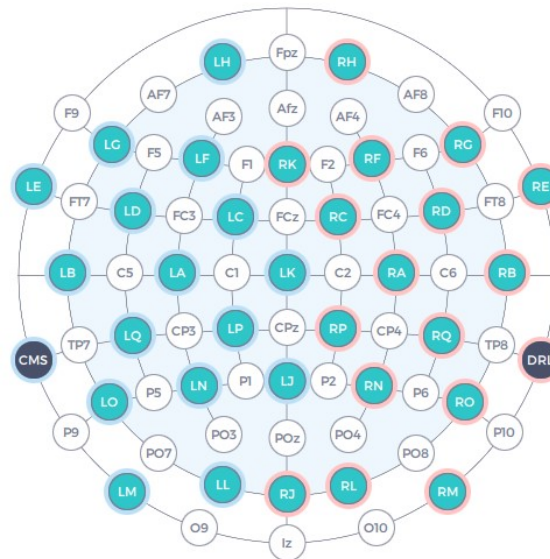


Figura 2: Configuración de los 32 electrodos del dispositivo Emotiv Flex

Ambos modelos cuentan con conectividad inalámbrica y están equipados con acelerómetros y sensores de posicionamiento que permiten la detección de movimientos en 9 ejes. Una de las características distintivas de los cascos Emotiv es su capacidad para utilizar inteligencia artificial y algoritmos de Machine Learning, proporcionando una capa de abstracción a

los datos recopilados. Esto facilita la identificación de gestos faciales específicos y, más importante aún, la obtención de métricas cognitivas y emocionales, denominadas "Performance Metrics". Estas métricas incluyen aspectos como la atención, involucramiento, emoción, interés, relajación y estrés, con una precisión base de 0.1 Hz que puede ser incrementada hasta 2 Hz mediante una licencia Performance. Adicionalmente, a través del software de análisis de datos Emotiv Pro, es posible acceder a las bandas de poder y realizar la Transformada Rápida de Fourier de las señales captadas por los electrodos. Esto permite obtener las ondas cerebrales Theta, Alpha, Beta y Gamma de cada electrodo, lo cual resulta invaluable para el análisis cognitivo y emocional [20].

4.3. Eye tracking

4.3.1. Principios básicos, teoría y aplicaciones

El seguimiento ocular (eye tracking) es una técnica que permite medir los movimientos y las fijaciones oculares para inferir dónde está enfocada la atención de una persona. Se utiliza en una variedad de campos, desde la psicología hasta la informática, para estudiar la atención, la percepción y el procesamiento visual [21]. El principio fundamental detrás del seguimiento ocular es la captura y análisis de los movimientos oculares y las fijaciones. Los movimientos oculares pueden ser clasificados principalmente en fijaciones, donde los ojos están relativamente estables, y saccades, que son movimientos rápidos de un punto a otro. Durante las fijaciones es cuando se recopila la información visual, mientras que las saccades son movimientos rápidos que ayudan a reorientar la fovea a diferentes áreas de interés [22]. La teoría subyacente del seguimiento ocular se basa en la idea de que existe una correlación significativa entre la fijación ocular y la atención visual. Por lo tanto, al analizar dónde y cómo se mueven los ojos de una persona, es posible inferir a qué está prestando atención y cómo está procesando la información visual. Además, la duración de las fijaciones puede indicar un cierto nivel de interés o la dificultad en el procesamiento de la información [23].

4.3.2. Aplicaciones

El seguimiento ocular es utilizado en una gran cantidad de campos, de los cuales las aplicaciones más destacadas son:

- **Psicología y neurociencia:** en la psicología y la neurociencia, el seguimiento ocular se utiliza para estudiar cómo las personas procesan la información visual y cómo la atención está distribuida en diferentes estímulos visuales [23].
- **Usabilidad y diseño de interfaz:** en el campo de la usabilidad y diseño de interfaz, el seguimiento ocular ayuda a entender cómo los usuarios interactúan con las interfaces, lo que puede informar el diseño para mejorar la experiencia del usuario [24].
- **Marketing y publicidad:** el seguimiento ocular puede ayudar a analizar cómo los consumidores interactúan visualmente con los anuncios o productos, lo que puede informar estrategias de marketing y publicidad [25].

- **Educación:** en educación, el seguimiento ocular puede ser utilizado para entender cómo los estudiantes interactúan con los materiales educativos y cómo se puede mejorar el diseño de estos materiales para facilitar el aprendizaje [26].
- **Tecnologías asistivas:** las tecnologías de seguimiento ocular también pueden ser utilizadas para desarrollar sistemas de comunicación para personas con discapacidades severas, permitiendo la comunicación y la interacción con el entorno [27].

4.3.3. Técnicas de Eye tracking

Existen múltiples técnicas de seguimiento ocular, que van desde los métodos de seguimiento basados en el hardware, como los sistemas de seguimiento de la pupila y la córnea, hasta los métodos de seguimiento basados en el software, como los algoritmos de seguimiento de la mirada basados en la inteligencia artificial [22].

- **Seguimiento de la pupila y la córnea:** el seguimiento de la pupila y la córnea es una técnica comúnmente utilizada en la cual se emplean cámaras y luces infrarrojas para capturar la reflexión de la luz en la córnea y la posición de la pupila. Esto permite determinar con precisión la dirección de la mirada. Los sistemas basados en esta técnica son robustos y precisos, aunque pueden ser sensibles a las condiciones de iluminación y requerir una calibración inicial para asegurar una medición precisa [21].
- **Algoritmos basados en Inteligencia Artificial:** con el auge de la inteligencia artificial, los algoritmos de aprendizaje profundo y aprendizaje automático se han utilizado para desarrollar técnicas de seguimiento ocular basadas en software. Estos métodos pueden procesar imágenes o vídeos capturados por cámaras convencionales para inferir la dirección de la mirada. Aunque pueden ser menos precisos que los métodos basados en hardware, ofrecen una mayor flexibilidad y pueden implementarse a un costo menor [28].
- **Seguimiento Electrooculográfico (EOG):** el seguimiento electrooculográfico (EOG) es una técnica que mide la diferencia de potencial eléctrico en la piel alrededor de los ojos, que cambia con el movimiento de los ojos. Estos cambios en el potencial eléctrico son capturados por electrodos colocados cerca de los ojos y pueden ser utilizados para inferir la posición y movimiento de los ojos [29].
- **Seguimiento magnético:** el seguimiento magnético es otra técnica que se basa en la detección de campos magnéticos generados por un pequeño dispositivo colocado en la cabeza o cerca de los ojos. La orientación y posición de este dispositivo, y por lo tanto la dirección de la mirada, se pueden inferir al detectar cambios en el campo magnético. Esta técnica puede ofrecer una alta precisión en la medición del movimiento ocular, aunque puede ser sensible a interferencias magnéticas externas [30].
- **Comparación y selección de técnicas:** la selección de la técnica de seguimiento ocular apropiada depende de varios factores, incluyendo la precisión requerida, el entorno de uso, el costo y la comodidad para el usuario. Por ejemplo, mientras que los sistemas basados en hardware pueden ofrecer una mayor precisión, los algoritmos basados en inteligencia artificial pueden ser más accesibles y fáciles de implementar en diferentes entornos [22].

4.3.4. ETVision Eyetracker

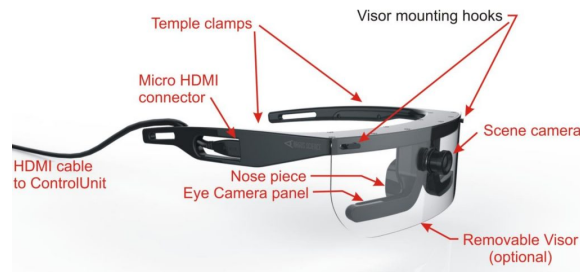


Figura 3: ETVision Eyetracker y sus partes

El sistema ETVision de Argus Science es un dispositivo de seguimiento ocular diseñado por los pioneros en tecnología de seguimiento ocular, Argus Science, anteriormente conocidos como ASL. El sistema ETVision incluye características sobresalientes como una medición ocular de 180Hz, comunicación de audio bidireccional integrada, sensor magnético, y acceso a la transmisión de video de todas las cámaras, facilitando los ajustes durante la configuración. La lente de escena intercambiable ubicada en el puente proporciona una imagen con resolución de 1080p y un campo de visión de 96 grados. La unidad controladora contiene una batería interna que, según informes, puede grabar continuamente durante más de 5 horas, aunque los tiempos de grabación están limitados por el tamaño de la tarjeta SD, estimándose que una tarjeta estándar de 128GB puede almacenar hasta 2 horas de datos. Entre las ventajas de este sistema se incluyen la duración de la batería y la precisión del seguimiento ocular en 3 dimensiones, proveer una herramienta integrada de análisis y calibración, además que tiene la opción de hacer grabaciones de manera inalámbrica. Sin embargo dentro de sus desventajas es que la cámara frontal no tiende a cubrir todo el espacio observable por el sujeto de pruebas y que la calidad de la cámara frontal no es tan tan alta [31][32].

4.4. Identificación de reacciones emocionales

4.4.1. Modelo circunplejo de emociones

Este modelo clasifica las emociones en dos dimensiones: placer (placer o displacer) y activación (alta o baja). Las emociones se representan en un gráfico circular, en el que las emociones similares se ubican cerca unas de otras. Por ejemplo, la alegría y la excitación son emociones positivas de alta activación, mientras que la tristeza y la depresión son emociones negativas de baja activación [33].

Las ventajas de utilizar este modelo incluyen:

- Simplicidad: la representación gráfica de las emociones en un gráfico circular hace que sean más fáciles de entender y permite observar las relaciones que tienen entre sí.

Además, al utilizar solo dos dimensiones, el modelo es más simple y fácil de aplicar que otros que suelen utilizar distintas clases de clasificación o más dimensiones.

- Flexibilidad y escalabilidad: el modelo de Russell permite agregar emociones no convencionales y observar las relaciones entre ellas. Además, el modelo se adapta bien a distintos contextos y culturas en los que se puede experimentar una emoción [34].

Este modelo se diferencia de otros modelos de clasificación de emociones, ya que se basa en dimensiones continuas en lugar de categorías discretas. Esto puede ayudar a brindar una comprensión en dos ejes distintos de reacciones emocionales ante estímulos [33].

4.5. Aplicación del análisis cognitivo y emocional a la visualización de productos alimenticios

4.5.1. Importancia y beneficios

El análisis cognitivo-emocional tiene aplicaciones importantes en la visualización de productos alimenticios. Puede proporcionar información valiosa sobre cómo los consumidores perciben y reaccionan a los productos alimenticios, lo que puede ayudar a las empresas a diseñar productos y empaques más atractivos y a desarrollar estrategias de marketing más efectivas [35].

4.5.2. Estudios previos relacionados al análisis de señales EEG, eye tracking y productos alimenticios

Se han realizado varios estudios que utilizan el seguimiento ocular y el EEG para analizar las respuestas cognitivas y emocionales a los productos alimenticios. Por ejemplo, se ha utilizado el seguimiento ocular para estudiar cómo los consumidores visualizan los empaques de los productos alimenticios [36], y el EEG para investigar las respuestas emocionales a los alimentos [37]. Sin embargo no hay una investigación previa que utilice sensores de EEG y Eyetracker sincronizados para verificar métricas cognitivas y emocionales de productos alimenticios, por lo que esto es un enfoque innovador.

4.5.3. Colores y su relación con los productos alimenticios

La elección de los colores y productos en este estudio se fundamenta en la prevalencia y la importancia percibida de estos elementos en la industria alimentaria. Los colores son una herramienta crucial en la mercadotecnia de productos alimenticios, ya que pueden influir en las emociones y las percepciones de los consumidores, así como en su comportamiento de compra [38].

Los colores rosado, azul oscuro, azul claro, morado, turquesa, fucsia, negro, naranja, rojo, amarillo, verde oscuro, verde claro, morado claro y rojo son comunes en el empaquetado de productos alimenticios. El color rojo, por ejemplo, es asociado con la frescura y el sabor,

y se utiliza frecuentemente en el empaquetado de carnes y productos frescos [39]. El color azul, por otro lado, es menos común en la naturaleza y puede actuar como un supresor del apetito, aunque también se asocia con sabores frutales [40]. Los colores brillantes y vivos como el amarillo y el verde se utilizan para atraer la atención de los consumidores y son asociados con sabores frutales y fresca [41].

Las respuestas cognitivas y emocionales a los colores pueden variar entre individuos, pero hay algunas tendencias generales. Los colores brillantes y cálidos como el rojo, naranja y amarillo pueden evocar emociones positivas y estimular el apetito, mientras que los colores fríos y suaves como el azul y el verde pueden ser calmantes pero también pueden suprimir el apetito [42]. La percepción de los sabores también puede ser influenciada por el color, con experimentos que demuestran que los colores pueden alterar las expectativas y las experiencias de sabor [40].

En cuanto a la elección de productos, se investigaron los artículos más comprados en supermercados. Se encontró que productos básicos como el pan, la leche, los huevos y las galletas están entre los más comprados en supermercados [43]. Aunque no se encontró evidencia específica sobre la colocación conjunta de leche y galletas en los estantes, estos productos son esenciales y suelen ser fácilmente accesibles en los supermercados. Además, la leche y las galletas son productos complementarios, lo que sugiere que podrían estar ubicados en proximidad para fomentar las compras impulsivas [44].

5.1. Diseño del trabajo

Los pasos ejecutados para la realización del trabajo fueron:

1. Diseño de pruebas
2. Diseño de protocolo de pruebas
3. Ejecución de pruebas
4. Limpieza y estructuración de datos
5. Obtención de métricas

5.2. Diseño de pruebas

El diseño inicial de las pruebas tenía como objetivo explorar la reacción de los consumidores ante los productos alimenticios basándose en los colores y entender el proceso de elección, para esto se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Se llevaron a cabo pruebas piloto utilizando una pantalla que simulaba estantes. Los resultados indicaron que el Eyetracker ETVision podría mapear y seguir objetos en 3D si se calibraba de manera adecuada.
2. Basado en lo encontrado, se modificaron las pruebas para incluir 8 cajas de leche y 8 cajas de galletas, todas ellas sin texto y diferenciadas únicamente por colores. Los colores seleccionados representaban las tonalidades más comunes en productos alimenticios, incluyendo rosado, azul oscuro, azul claro, morado, turquesa, fucsia, negro,

naranja, rojo, amarillo, verde oscuro, verde claro, morado claro y rojo. Esto se trabajó en conjunto con Mariana Judith Garcia Polanco, asegurando que los colores seleccionados fueran representativos y estéticamente dispuestos según nuestras hipótesis. Este enfoque colaborativo fue fundamental para el diseño experimental, que buscaba minimizar el ruido visual y maximizar la efectividad del estímulo visual presentado a los participantes.

3. Se diseñó el tablero de prueba este teniendo dimensiones de 90cm x 75cm. En donde el 60% del tablero en el lado izquierdo se dedicó a los empaques de leche con una separación mínima de 5cm entre ellos, y el restante 40% se utilizó para los empaques de galletas, manteniendo el mismo margen de separación.
4. Se estableció que el tablero que sostenía los productos tenía que ser color blanco, y el entorno circundante también se mantenía en tono blanco para minimizar el ruido visual durante la observación.
5. Se enumeraron las posiciones en el tablero, así como cada caja y empaque por el reverso y se implementó un script en Python que aleatorizaba las posiciones de los productos dentro del área del tablero del mismo tipo, asegurando así que la distribución fuera totalmente aleatoria y evitando favoritismo hacia productos basados en su posición.

Este procedimiento garantiza una evaluación más precisa y sin sesgos de las reacciones de los participantes hacia los colores y productos presentados.

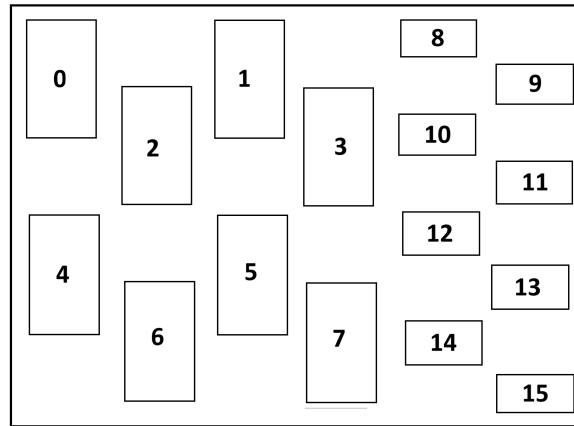


Figura 4: Posiciones de los productos alimenticios.

No obstante, surgieron desafíos en cuanto a la generalización de los datos y cómo determinar las coordenadas exactas en el tablero donde los participantes dirigieron su mirada. Para resolver esto, se establecieron las siguientes medidas:

1. Enunciarle a los participantes que debían mantener la cabeza inmóvil durante la prueba.
2. Realizar una calibración inicial y final observando las cuatro esquinas del tablero, registrando dichas posiciones observadas en el Eyetracker.

De este modo, se podía establecer un marco de referencia para las coordenadas máximas y mínimas, permitiendo la escala de los datos de manera apropiada.

5.3. Diseño de protocolo de pruebas

El diseño del protocolo de pruebas se estructuró en tres etapas cruciales:

1. **Ensayos preliminares:** Se experimentó individualmente con el dispositivo Emotiv Epoc X y el eye tracker de ETV Vision para explorar sus características y opciones de posicionamiento. Al intentar utilizar ambos dispositivos simultáneamente, se identificó una incompatibilidad física. Por lo tanto, se optó por el dispositivo Emotiv Flex, que a través de una interfaz emula las funcionalidades del Emotiv Epoc X, garantizando así la compatibilidad requerida.
2. **Conclusiones de posicionamiento:**
 - *Emotiv:* Para el Emotiv, se halló que los 14 electrodos deben ser humedecidos con 10 ml de solución salina estéril, dejándolos reposar en un recipiente estéril por 1 minuto. Posteriormente, se deben agregar aproximadamente 5 gotas o 0.25 ml de solución salina estéril en la parte interior del dispositivo por cada electrodo. Los electrodos FP1 y FP2, junto con los retenedores de humedad, deben posicionarse al menos 1 centímetro debajo de la línea del cabello, asegurando que los orificios laterales acomoden las orejas del sujeto y que verticalmente, los electrodos RB y LB estén al mismo nivel en ambos lados. Si no se alcanza una calidad de señal del 100 %, se deben aplicar 5 gotas o 0.25 ml de solución salina estéril en los orificios superiores de cada electrodo utilizado. Si un electrodo en particular no alcanza una señal del 100 %, se sugiere ajustar la posición del cabello o aplicar más solución salina estéril. Si aún así no se obtiene la calidad de señal deseada, es probable que los electrodos estén mal posicionados, por lo que se sugiere revisar y ajustar la posición del casco hasta que los electrodos coincidan con los lóbulos objetivo.
 - *Eye Tracker:* Con el eye tracker utilizando imágenes en una computadora, se realizó una prueba inicial con la aplicación ETV Analysis para computadora, sin embargo se determinó que debía ser utilizada la aplicación ETV Mobile que se beneficia de la red wifi creada por el dispositivo de eye tracking, por lo cual puede hacer que las grabaciones de las pruebas puedan ser realizadas en un lugar donde no se encuentre una computadora con el software y de manera inalámbrica. Para la colocación correcta, se debe garantizar que las varillas del dispositivo no estén sobre ningún electrodo, además, para un posicionamiento correcto, las varillas deben estar por encima verticalmente de los electrodos LB y RB. Si se observa un mal reconocimiento de la pupila, se debe cambiar el soporte de la nariz a uno más pequeño hasta alcanzar la calidad deseada. Posteriormente, se debe calibrar con el software ETVPhone.
3. **Sistema de calibración:** Se estableció que el sistema de calibración para el eye tracker, utilizando un tablero blanco con cuatro puntos en las esquinas, debe ser realizado al final de la prueba, garantizando una posición más precisa del tablero. Además, se determinó estandarizar la distancia entre el tablero y el Eyetracker a 95 cm, permitiendo que las pruebas sean repetibles y se pueda expandir el dataset creado sin alterar las condiciones de prueba. Se decidió realizar el experimento en un laboratorio sensorial de color blanco para minimizar estímulos externos y evitar interferencias en los

resultados de las mediciones. En caso de que algún objeto estuviese en el campo de visión, se debe cubrir con color blanco.

5.4. Ejecución de pruebas

Para llevar a cabo las pruebas, se recurrió al uso de los siguientes materiales y herramientas:

- **Casco Emotiv Flex:** Este dispositivo fue empleado para la captura de señales EEG (Electroencefalografía) de los participantes mientras estos visualizaban diversos productos alimenticios.
- **Sensor de seguimiento ocular ETVision:** Utilizado para monitorear y registrar la posición de la mirada de los individuos durante el desarrollo de las pruebas.
- **EmotivPro:** Software dedicado a la grabación de los datos de EEG, ejecutado en una computadora modelo Acer Nitro AN515-58, equipada con un procesador Intel Core i7-12700H.
- **ETPhone:** Aplicación encargada de establecer la conexión inalámbrica con el Eye-tracker ETVision, ejecutada en un dispositivo móvil Xiaomi Mi 11.

El proceso de reclutamiento de participantes se efectuó a través de convocatorias difundidas por los canales de comunicación del Departamento de Ingeniería de Ciencias de Alimentos e Ingeniería en Ciencias de la Computación.

En la fase de recolección de datos participaron un total de 25 individuos (8 mujeres y 17 hombres), con edades comprendidas entre los 21 y 30 años, todos ellos estudiantes y colaboradores de la Universidad del Valle de Guatemala. Se establecieron ciertos criterios de elegibilidad para los candidatos:

1. Exclusión de individuos bajo la influencia de sustancias perjudiciales para la salud.
2. Exclusión de individuos con alguna condición física adversa.
3. Exclusión de individuos que estuvieran bajo tratamiento con antidepresivos.
4. Exclusión de menores de edad.

Estas medidas se adoptaron con el propósito de minimizar la presencia de datos atípicos que pudieran interferir con la validez de los resultados obtenidos.

Para el desarrollo de cada prueba, se diseñó un programa en Python encargado de aleatorizar las posiciones de los productos alimenticios en los segmentos correspondientes a cajas de leche y empaques de galleta. Se solicitó a los participantes completar un consentimiento informado y una encuesta demográfica antes de comenzar. Posteriormente, se procedió a la colocación de los sensores, asegurando una óptima calidad en la captura de señales EEG

utilizando el protocolo de pruebas ya establecido. Se realizó una calibración inicial del dispositivo Eyetracker utilizando un tablero blanco con cuatro puntos marcados (uno en cada esquina), este posicionado encima del tablero real con el objetivo de garantizar que la primera visualización del tablero con los productos aleatorizados ocurriera durante la prueba inicial.

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los dispositivos y la familiarización de los participantes con estos, se les instruyó cerrar los ojos, y una vez realizado esto se procedió a comenzar la grabación de pruebas con ambos sensores. Esto permitió obtener datos para sincronizar ambos sensores ya que: el Eyetracker registró los momentos en que los ojos se abrieron y cerraron, mientras que el dispositivo Emotiv capturó métricas de gestos, incluyendo movimientos oculares y parpadeos.

Con todo listo, se dio inicio a la prueba, durante la cual los participantes observaron los objetos en el tablero por un minuto. Al finalizar, se les pidió cerrar y abrir los ojos nuevamente para realizar una calibración final del Eyetracker, con el fin de obtener las coordenadas de las cuatro esquinas del tablero y estandarizar los datos recolectados.

Finalmente, se solicitó a los sujetos que escogieran una caja de leche y un empaque de galletas que ellos comprarían y luego de esto debían completar una encuesta basada en una escala de Likert respecto a cada producto, donde 5 indicaba una alto agrado y 1 una desagrado. Esta información permitió añadir a las métricas de EEG y seguimiento ocular un eje de agrado emocional para cada participante, brindando un panorama más claro sobre las reacciones y preferencias hacia los productos evaluados.

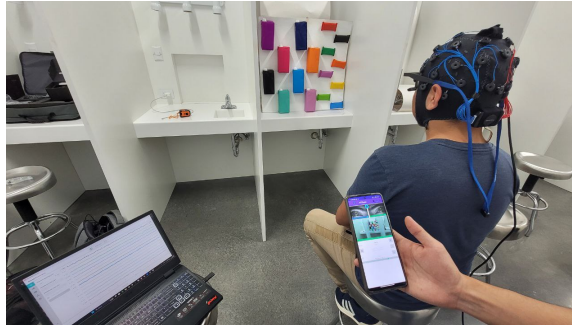


Figura 5: Configuración del ambiente de las pruebas mostrando ambos sensores de manera simultánea y el equipo utilizado para grabar los resultados

5.5. Limpieza de datos y creación del dataset

Tras la adquisición de los datos, el siguiente paso fue procesarlos. En el caso del Eyetracker ETVision, se empleó la herramienta ETVanalysis, que permitió extraer tres vídeos de las pruebas; dos correspondientes a las posiciones oculares y uno a la cámara frontal que captura lo que el sujeto observa. Además, se obtuvieron datos numéricos exportando dos tipos de archivos: uno en formato JSON y otro en XML. Para el Emotiv, se utilizó el software Emotiv Pro, que proporcionó dos archivos CSV y un archivo JSON por prueba.

La limpieza de los datos se efectuó mediante el lenguaje de programación Python, uti-

lizando las bibliotecas numpy y pandas. El primer paso consistió en segmentar cada uno de los archivos del Eyetracker y de Emotiv Pro por prueba. La limpieza de los datos del Eyetracker inició con la conversión de los archivos XML y JSON a formato CSV.

Posteriormente, se identificó la primera fila en la que el diámetro de ambas pupilas no era cero, indicando que la pupila ya era reconocida. Se añadió una columna que registraba el tiempo transcurrido de la prueba en segundos, donde la primera fila era cero y la última estaba cercana a sesenta. A continuación, se dividió el dataset en dos; la primera parte correspondía a la prueba de sesenta segundos y la segunda a la calibración final.

Utilizando el vídeo, se identificaron los tiempos correspondientes a cada esquina vista del tablero, que se ingresaron en el programa de Python para ejecutar la calibración y estandarización de los datos. Se generaron nuevas coordenadas de x y y , donde 0,0 era la esquina inferior izquierda del tablero y 1,1 la esquina superior derecha. Con esto, se creó un nuevo archivo con datos estandarizados y nuevas columnas útiles durante el proceso de estandarización.

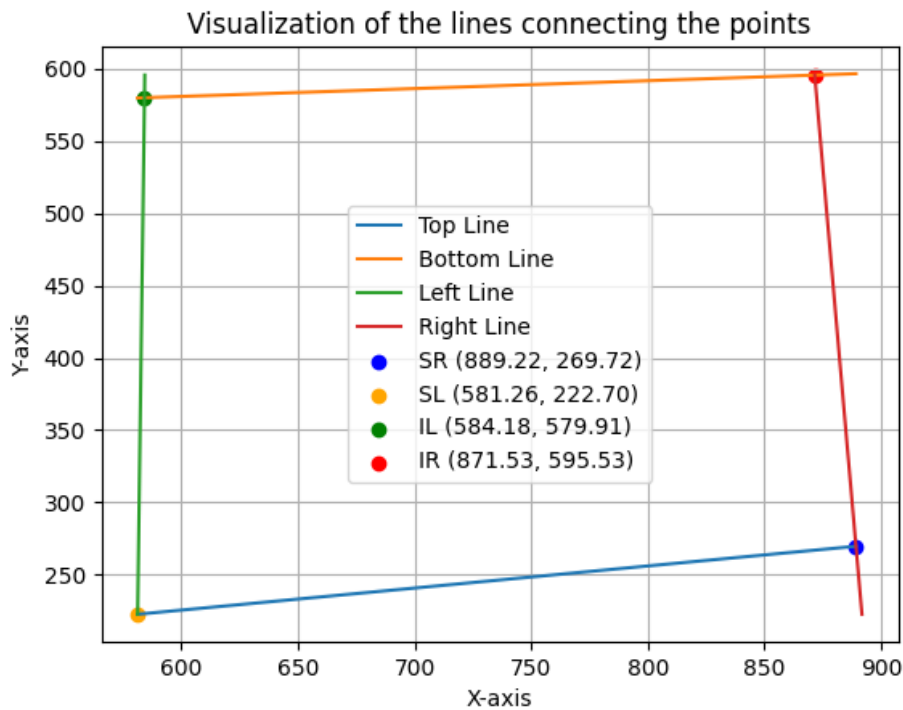


Figura 6: Visualización de algoritmo de escalamiento de posiciones

Además, se implementó un algoritmo de clustering que clasificaba las cajas según su posición, utilizando medidas tomadas con el software Tracker por cada una de las pruebas.

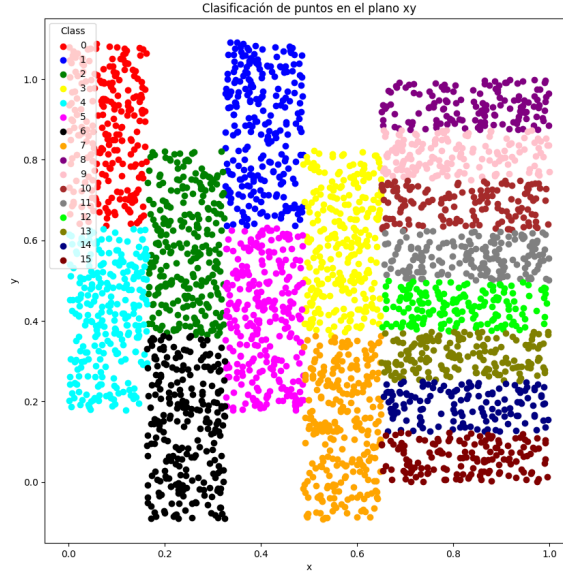


Figura 7: Visualización de algoritmo de clasificación de productos basado en posiciones

En cuanto al Emotiv, se visualizó una versión simplificada de los archivos CSV en Python para identificar manualmente el tiempo inicial, basándose en gestos de parpadeo y existencia de algún movimiento. Esta información se ingresó en otra parte del programa, generando un nuevo archivo CSV único que contenía la prueba completa.

El desafío emergió al unificar ambos datasets, dado que el Emotiv graba a 128Hz y el Eyetracker ETVision a 180 Hz, lo que complicaba una concatenación directa de ambos archivos. Se utilizó Python para utilizar el dataset del Eyetracker como base, y asociar el dato más cercano en tiempo del dataset del Emotiv a cada una de las columnas, logrando una concatenación en la que los datos eran asociados basados en el dato más cercano a ese momento en la fila del Eyetracker. Finalmente, se exportó este archivo conjunto que contenía los nuevos datos obtenidos del Eyetracker, junto con las potencias de las ondas del Emotiv.

5.6. Obtención de métricas

Con el dataset conjunto en mano, se procedió a la extracción de métricas. Inicialmente, ya se contaba con datos respecto a la reacción emocional de agrado hacia cada producto y la preferencia de elección, lo que condujo a la elaboración de gráficos representativos. Se generaron mapas de calor para cada prueba, destacando las áreas de mayor enfoque por parte de los sujetos, y se realizó un recuento cuantitativo de las posiciones más observadas. Utilizando las configuraciones aleatorias registradas durante las pruebas, se determinaron los productos más vistos.

Los datos del Emotiv proporcionaron métricas de rendimiento con una precisión de 0.1 Hz, lo que permitió calcular un promedio de 6 timestamps para cada métrica de rendimiento, analizando así el comportamiento temporal y las métricas cognitivas y emocionales proporcionadas en un nivel de abstracción elevado.

A través de la literatura revisada, se comprendió que la potencia de la frecuencia alpha está inversamente relacionada con el procesamiento cognitivo; la potencia de la frecuencia beta relaciona directamente con el enfoque y atención; la potencia de la frecuencia theta tiene una relación directa con la respuesta emocional; y la potencia de la frecuencia gamma relaciona directamente con el procesamiento de la información. Con base en estos hallazgos, se clasificaron los productos según el promedio global de cada tipo de frecuencia, obteniendo así un ranking de atención, respuesta emocional, procesamiento cognitivo y procesamiento de información. Este ranking se comparó posteriormente con la frecuencia de elección de cada producto, explorando posibles relaciones entre estas métricas y las preferencias de los sujetos.

6.1. Estado final de la Base de Datos

Para toda la creación de los datos, el protocolo de pruebas establecido en la Sección 5.3 fue de suma importancia, ya que permitió garantizar una alta calidad de contacto y de señal en las pruebas. Esto respalda la fidelidad de los resultados obtenidos y que también resultó en una robusta base de datos. Además, este protocolo establece una metodología replicable y confiable para estudios similares, facilitando el uso simultáneo de la tecnología de seguimiento ocular y EEG en el análisis de la visualización de productos alimenticios.

Los datos recolectados, ahora estructurados y limpios, conforman un recurso valioso para futuras investigaciones en la interacción entre humano y producto alimenticio. Esto permite que se siga ampliando y, en algún futuro, realizar integraciones con aprendizaje de máquina. Como fue establecido en la Sección 5.5, estos datos resultaron en 7 archivos por cada uno de los participantes:

1. Videos de las pruebas: Por cada prueba se guardaron 3 videos en formato `wmv`, donde 1 video es de la cámara frontal a color con la posición vista por el sujeto de pruebas y 2 videos que apuntan hacia el ojo del participante en blanco y negro.
2. Metadata: Un archivo con formato `json` con la configuración inicial que posee datos útiles de posiciones de calibración del Eyetracker, la duración total de la prueba, el agrado emocional respondido por cada una de las personas en la encuesta posterior y los productos de leche y galletas que compró.
3. Datos aislados de Eyetracker: Un archivo con formato `CSV` que contiene los datos del Eyetracker, incluyendo la prueba con el usuario únicamente cuando el sujeto de prueba posee los ojos abiertos. Además, tiene columnas adicionales que describen: tiempo en segundos desde el inicio de la grabación, tiempo en segundos desde el inicio de la prueba, coordenadas de visión relativas al tablero horizontales y verticales, promedio

de dilatación de la pupila, posición del tablero que se está viendo y producto alimenticio que se está viendo.

4. Datos aislados de Emotiv: Un archivo en formato CSV que contiene todos los datos del Emotiv, registrando únicamente datos durante el tiempo de la prueba. Adicionalmente, se añadieron dos columnas: tiempo en segundos desde el inicio de la grabación y tiempo en segundos desde el inicio de la prueba.
5. Datos unificados de ambos sensores: Utilizando el proceso mencionado anteriormente en la metodología en la Sección 5.5, se unificaron los datos de ambos sensores en un archivo CSV. Solo se registraron las nuevas columnas creadas previamente en los dos archivos aislados, lo cual nos permite tener de manera sincronizada ambos sensores y poder obtener métricas del estudio.

6.2. Evolución temporal de las métricas de rendimiento

Las métricas de rendimiento, englobando métricas cognitivas y emocionales, desempeñan un papel crucial al observar su evolución a lo largo de las pruebas. Con una precisión de 0.1 Hz durante los 60 segundos de prueba, se promediaron cada uno de los 6 datos para todos los sujetos de prueba, proporcionando una visión de la evolución del comportamiento emocional y cognitivo en el tiempo.

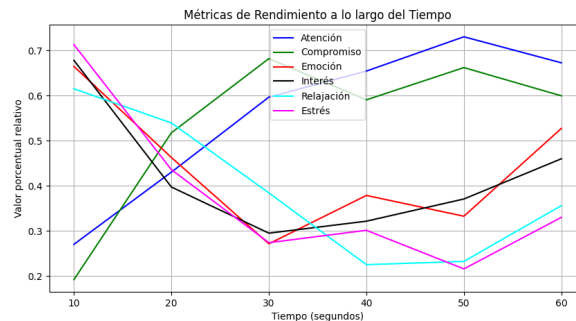


Figura 8: Evolución de las métricas de rendimiento a lo largo del tiempo

Inicialmente, se observa una disminución en el interés y la emoción de los participantes, que alcanza su punto más bajo alrededor de los 30 segundos de prueba, para luego incrementar levemente. Este patrón podría atribuirse a la respuesta natural a la novedad inicial que, con el tiempo, se desvanece o posiblemente a una inmersión más profunda que resulta en una respuesta emocional atenuada.

El comportamiento similar entre la atención y el compromiso, que tienden a estabilizarse después de los 30 segundos, respalda las observaciones de las métricas de emoción e interés. A medida que los participantes se vuelven más atentos y comprometidos, posiblemente debido a una mayor familiarización o interés en los productos, sus niveles de emoción e interés disminuyen.

Las métricas de estrés y relajación también muestran una disminución a lo largo del tiempo. La disminución en el estrés sugiere una adaptación de los participantes al entorno de prueba. Sin embargo, la disminución en la relajación podría interpretarse como una señal de incomodidad creciente a medida que avanza la prueba, lo cual podría deberse a varios factores que podrían explorarse en investigaciones futuras.

6.3. Selección de productos

Al término de la visualización de los productos alimenticios, se solicitó a los participantes que eligieran un producto de cada tipo, que sería el que con mayor probabilidad comprarían. Esto nos proporcionó una perspectiva sobre las preferencias de los participantes, como se refleja en los resultados siguientes:

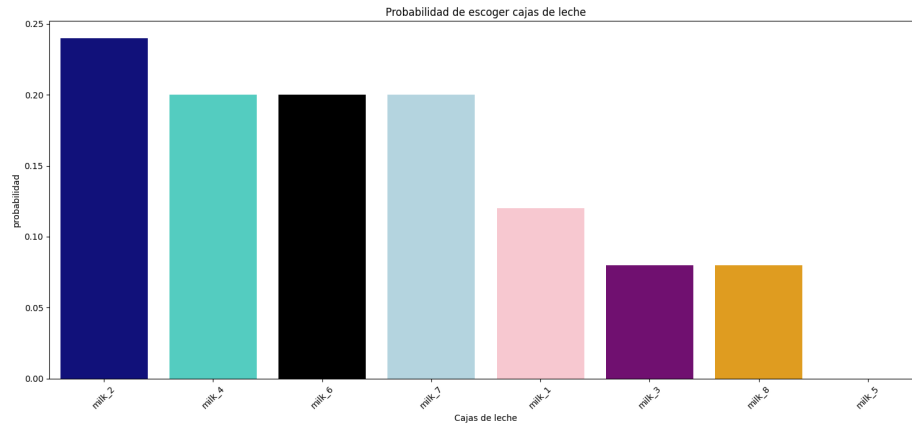


Figura 9: Probabilidad de los sujetos de escoger una caja de leche

El gráfico muestra una preferencia notable por la caja de leche de color azul oscuro, seguida de cerca por las cajas de color turquesa, negro y azul claro, respectivamente. Es notable que ninguna preferencia se inclinó hacia la caja de color fucsia.

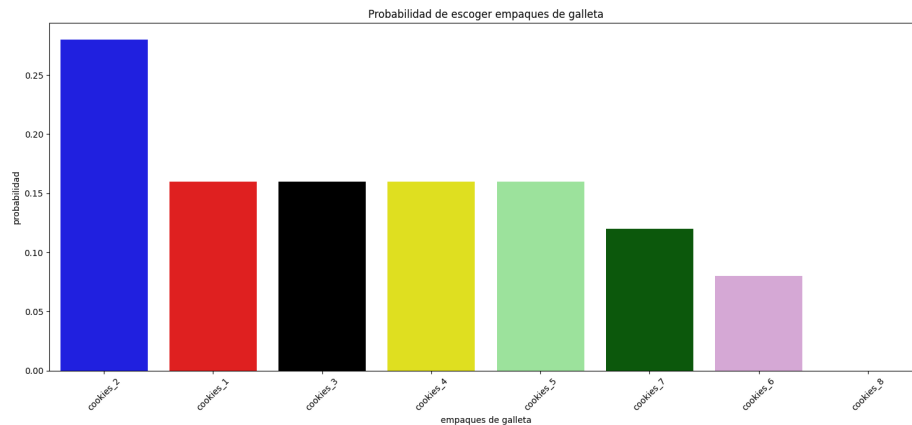


Figura 10: Probabilidad de los sujetos de escoger un empaque de galleta

Respecto a los productos de galletas, hay una inclinación hacia escoger la galleta de color azul. Las galletas de color verde claro, amarillo, negro y rojo también fueron opciones populares entre los participantes, mientras que la galleta de color naranja no fue seleccionada por ninguno de los participantes.

6.4. Análisis de observaciones de productos

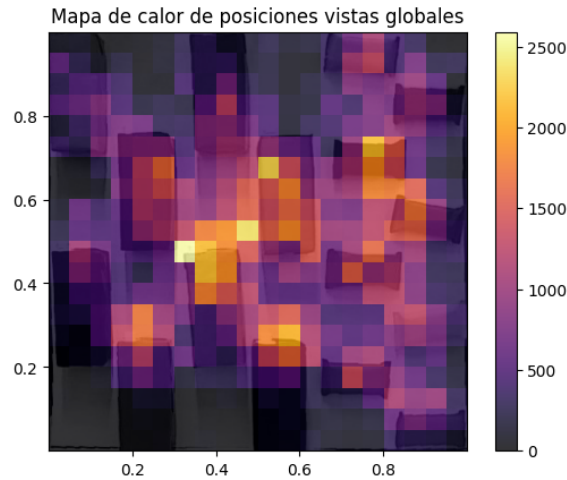


Figura 11: Mapa de calor global de posiciones observadas en el tablero

Se realizó un mapa de calor global unificando los datos de todas las pruebas, revelando una tendencia a observar principalmente los productos ubicados en el centro para ambos tipos de productos.

Para una perspectiva cuantitativa, se analizó qué posiciones, descritas en la Sección 5.2, fueron más observadas.

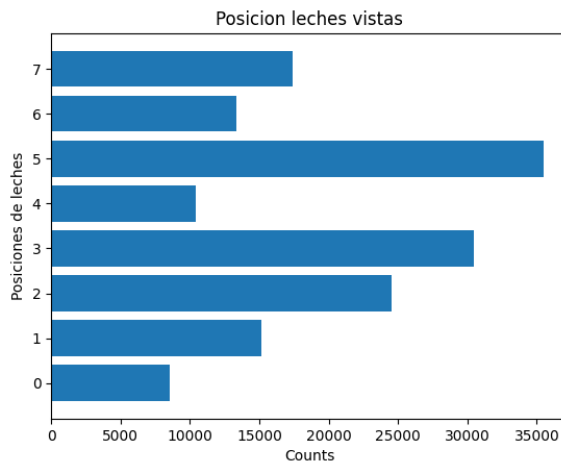


Figura 12: Posiciones vistas en el área de cajas de leche

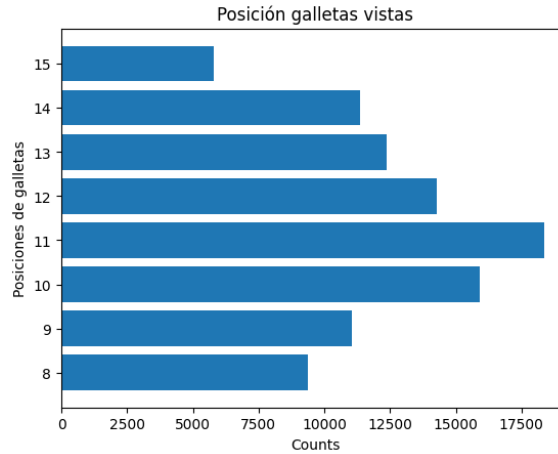


Figura 13: Posiciones vistas en el área de empaques de galleta

Con respecto a las cajas de leche, las posiciones 5, 3 y 2 fueron las más observadas, coincidiendo con las posiciones centrales. Un patrón similar se observa en las galletas, con las posiciones 11, 10 y 12 siendo las más observadas, corroborando lo indicado por el mapa de calor sobre la preferencia por los productos en posiciones centrales.

Adicionalmente, se determinaron los productos más observados globalmente por color, dada la configuración exacta utilizada en cada prueba.

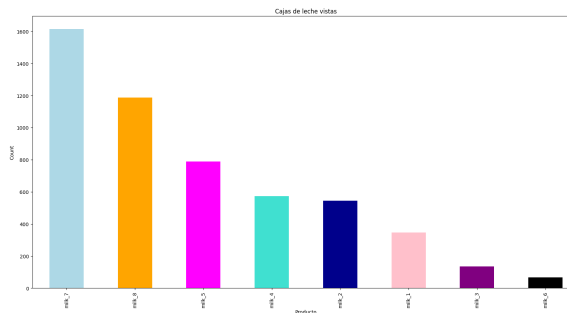


Figura 14: Cantidad de vistas para cajas de leche

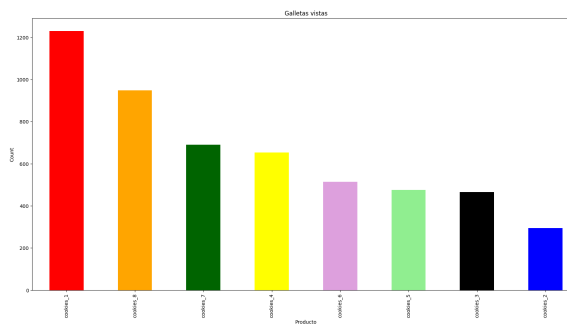


Figura 15: Cantidad de vistas para empaques de galleta

Se observó que las cajas de leche de color azul claro fueron las más observadas, seguidas por la naranja, fucsia, turquesa, azul oscuro, rosado, morado y finalmente la negra. En el caso de las galletas, la roja fue la más observada, seguida por las de color naranja, verde oscuro, amarillo, morado claro, verde claro, negro y azul oscuro. Comparando estos datos con las preferencias de selección, es evidente que la frecuencia de observación no es el único factor en la elección de compra, reflejado por la discrepancia entre los productos más observados y los más seleccionados.

6.5. Respuestas emocionales por producto

Se utilizó la media de la escala Likert para capturar el agrado emocional hacia los productos, como se muestra a continuación:

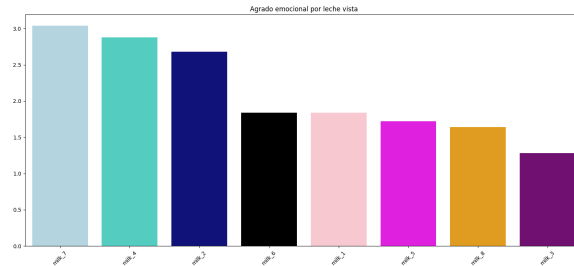


Figura 16: Agrado emocional de cajas de leche en escala de Likert

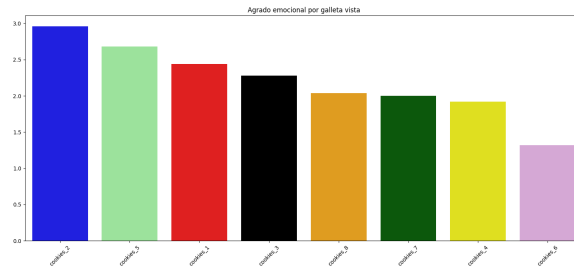


Figura 17: Agrado emocional de cajas de empaques de galleta en escala de Likert

Para las cajas de leche, se prefirió la azul claro, seguida por las cajas turquesa y azul oscuro. La menos preferida fue la morada. Entre las galletas, la azul oscuro obtuvo el mayor agrado, mientras la morada claro el menor. Es notable que la galleta azul oscuro, además de ser la más apreciada, fue la más seleccionada, sugiriendo una relación entre agrado emocional y la elección de galletas. No obstante, la caja de leche más escogida no coincidió con la que más agrado generó, mostrando una relación menos directa en el caso de las leches.

Tal como se discutió en la Sección 4.2.4, un incremento en la potencia de la frecuencia theta está asociado a la respuesta emocional, aunque no especifica el tipo de emoción (agrado o desagrado). Se presentan los promedios de la frecuencia Theta por producto:

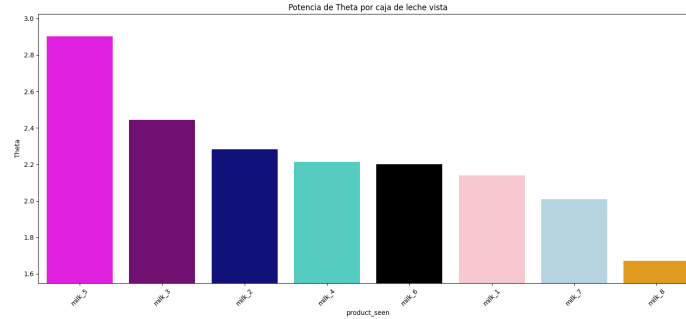


Figura 18: Promedio de potencia de frecuencia theta para cajas de leche

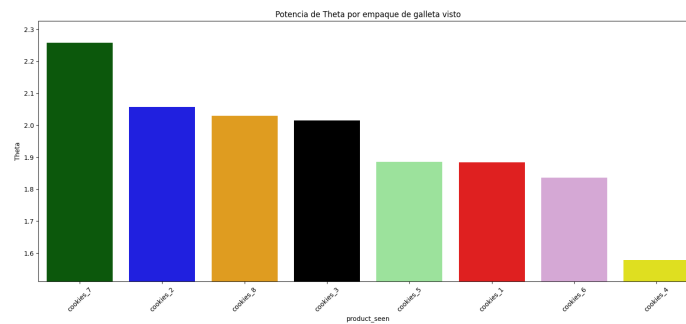


Figura 19: Promedio de potencia de frecuencia theta para empaques de galleta

Para las cajas de leche, la de color fucsia provocó la mayor respuesta emocional, seguida por las cajas morada y azul oscuro, mientras la naranja generó la menor. Esto sugiere que la intensa respuesta hacia la caja fucsia puede ser de desagrado, dado que no fue seleccionada. Similarmente, la baja respuesta hacia la caja naranja, la segunda menos elegida, indica que una menor respuesta emocional, junto con una baja valoración en la escala de Likert, puede dar un indicio de la probabilidad de elección. En las galletas, la verde oscuro generó la mayor respuesta emocional y la amarilla la menor, sin mostrar una relación directa con la elección.

6.6. Respuestas cognitivas por producto

Para analizar las respuestas cognitivas con mayor precisión, se emplearon las potencias de las ondas alpha, beta y gamma, según lo discutido en la Sección 4.2.4. La disminución en la potencia de las ondas alpha sugiere una atención pasiva incrementada y un estado de receptividad ante los estímulos, mientras que un aumento en la potencia de las ondas beta indica un incremento en la atención, concentración o pensamiento activo. Finalmente, un incremento en la potencia de la onda gamma señala un aumento en la percepción o procesamiento cognitivo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de onda y producto.

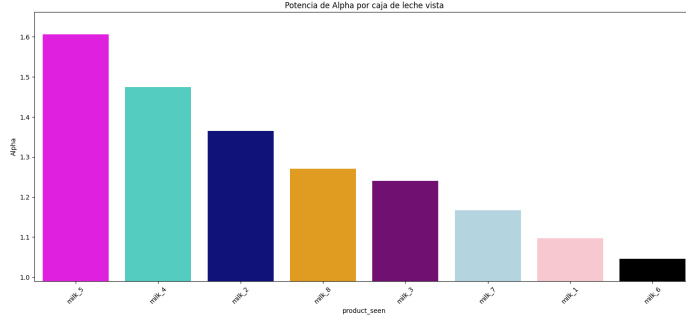


Figura 20: Promedio de potencia de frecuencia alpha para cajas de leche

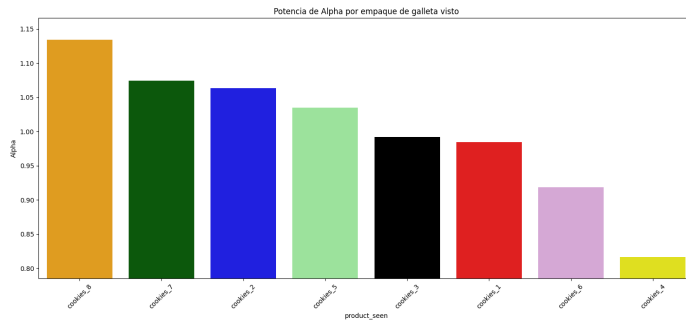


Figura 21: Promedio de potencia de frecuencia alpha para empaques de galleta

Al analizar el gráfico de cajas de la potencia de ondas alpha, se observa que la caja de leche color fucsia muestra la menor receptividad, a diferencia de la caja negra que exhibe una mayor receptividad. Podemos ver que, la caja más escogida no figura entre las que mostraron mayor receptividad, sin embargo, la caja de leche con menor receptividad fue la única caja de leche que no fue seleccionada, lo que sugiere que una baja receptividad se relaciona con la ausencia de elección de una caja de leche. Similarmente, para los empaques de galletas, la galleta amarilla mostró la mayor receptividad mientras que la galleta naranja la menor, indicando que la receptividad baja está vinculada con una baja probabilidad de elección de empaques de galleta.

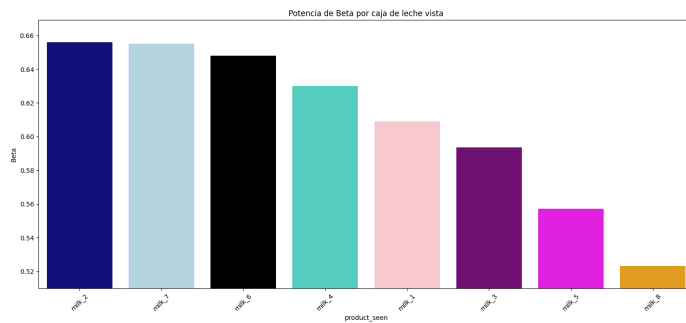


Figura 22: Promedio de potencia de frecuencia beta para cajas de leche

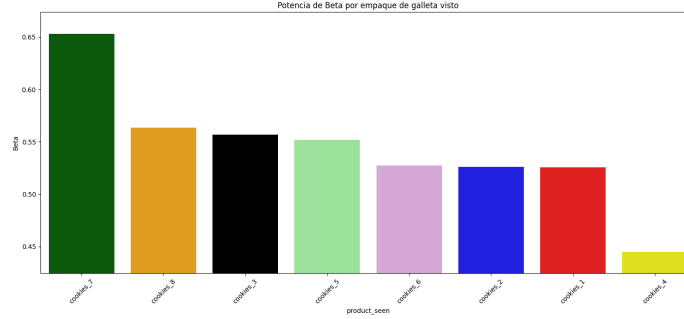


Figura 23: Promedio de potencia de frecuencia beta para empaques de galleta

En el caso de las cajas de leche, la caja azul oscuro, que fue la más escogida, también mostró la mayor concentración. Además, el ranking de probabilidad de elección de las cajas de leche coincide en 2/3 con el ranking de concentración, lo que sugiere una relación entre la concentración y la probabilidad de elección. Para los empaques de galleta, la mayor concentración la mostró la galleta verde oscuro y la menor la galleta amarilla, lo cual no se relaciona con la probabilidad de elección.

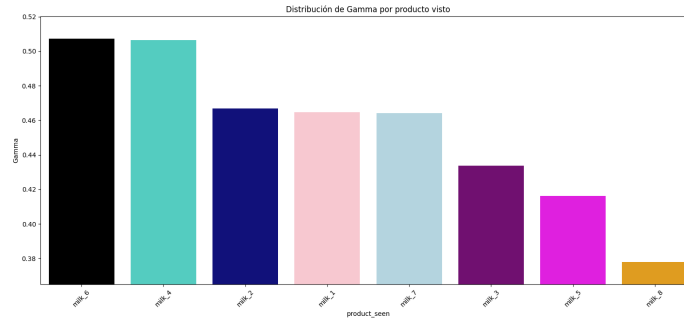


Figura 24: Promedio de potencia de frecuencia gamma para cajas de leche

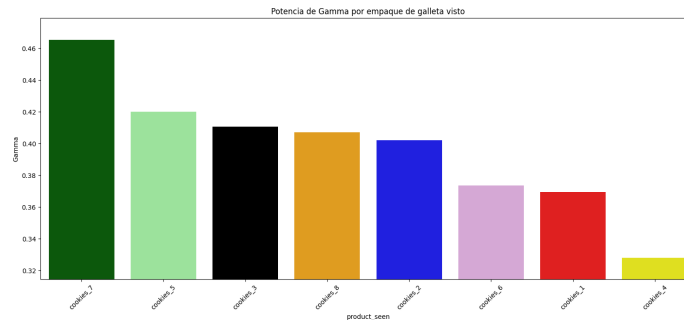


Figura 25: Promedio de potencia de frecuencia gamma para empaques de galleta

Respecto a la percepción, para las cajas de leche, la caja negra mostró la mayor percepción, seguida por la caja turquesa y la azul oscuro, indicando una posible relación entre la percepción y la probabilidad de elección. Sin embargo, para los empaques de galleta, la galleta verde oscuro mostró la mayor percepción y la galleta amarilla la menor, lo cual no

se relaciona con la probabilidad de elección, sugiriendo que la percepción no influye en la elección de las galletas.

6.7. Relación entre métricas cognitivas, emocionales y probabilidad de elección

A través de los resultados obtenidos, se evidencia una interacción compleja entre las métricas cognitivas, emocionales y la probabilidad de elección de productos. La relación entre el agrado emocional y la elección es más evidente en las galletas que en las cajas de leche, sugiriendo una posible variabilidad en cómo diferentes tipos de productos evocan respuestas en los consumidores. Las métricas cognitivas, en particular la concentración, mostraron una alta relación con la elección en las cajas de leche, lo que insinúa la importancia de la atención en la elección de productos. Por otro lado, aunque la percepción, medida a través de la potencia de onda gamma, mostró una relación leve con la elección en las cajas de leche, no se observó lo mismo en las galletas. Este análisis integrado resalta la necesidad de continuar ampliando el conjunto de datos para poder así obtener una generalización más precisa de los resultados y averiguar de una forma más precisas cómo estas métricas interactúan entre sí y cómo influyen en la elección del consumidor. Además basado en lo que se observó acerca de las métricas cognitivas y emocionales, se observa que si tienen una relación con la probabilidad de compra, siendo estas diferentes para las cajas de leche y empaques de galleta, por lo que esto sugiere que con la suficiente cantidad de datos se puede construir un algoritmo de aprendizaje de maquina que recibiendo como entradas datos cognitivos y emocionales a lo largo de la prueba de observación de productos alimenticios con colores, pueda predecir que producto se comprará.

6.8. Colaboración y análisis de datos

Al concluir la fase de creación de métricas cognitivas y emocionales, se trabajó en conjunto con Mariana Judith Garcia Polanco para analizar los resultados obtenidos. Compartí con ella los conjuntos de datos limpios y procesados, además de las métricas más importantes obtenidas durante este proceso, los cuales ella utilizó para realizar análisis posterior que involucrara relaciones con productos reales del mercado. Esta colaboración fue esencial para interpretar los resultados desde una perspectiva multidisciplinaria, enriqueciendo nuestra comprensión del impacto cognitivo y emocional de la visualización de productos alimenticios.

1. La implementación del protocolo de pruebas demostró ser efectiva ya que causó que los experimentos realizados fueran repetibles, dando a su vez, datos de alta fidelidad, comprobado mediante la calidad de señal y de contacto del 100 % a lo largo de las pruebas, permitiendo así la ampliación futura de la base de datos inicial.
2. La depuración de datos del sensor Emotiv y Eyetracker fue posible debido al método de sincronización empleado al inicio de la prueba en ambos sensores mediante la identificación de gestos en el casco Emotiv y la detección de la pupila en el Eyetracker.
3. Los productos que se encontraban ubicados en posiciones centrales del tablero fueron observados con mayor frecuencia, sin embargo se probó que la frecuencia de observación no tiene una relación directa con la probabilidad de elección tanto de cajas de leche y empaques de galleta.
4. La evolución temporal de las métricas emocionales y cognitivas revela que el interés y la emoción disminuyen rápidamente, alcanzando un punto bajo alrededor de los 30 segundos, para luego incrementar levemente, lo cual está relacionado con la respuesta inicial a la novedad de la prueba. Además se observa que luego de los 30 segundos la atención y el compromiso llegan a su punto más alto, mientras que en este punto el estrés disminuye, debido a la familiarización con los productos y el ambiente. Finalmente, se observa una disminución a lo largo de toda la prueba de la relajación indicando una incomodidad creciente en el tiempo a lo largo de la prueba.
5. Al analizar el agrado emocional se observó que, en los empaques de galleta, el empaque de color azul oscuro fue el que presentó mayor agrado emocional, siendo este también el más seleccionado, indicando una relación directa entre el agrado emocional y la elección de compra de galletas basada en colores. Además, se encontró que la probabilidad de escoger una caja de leche no tiene relación con el agrado emocional.
6. En la respuesta emocional, medida por ondas theta, se encontró que el empaque de galleta de color verde oscuro fue el que mayor respuesta emocional obtuvo, sin embargo esta métrica no mostró tener relación directa con la probabilidad de elección. Por otro

lado, la caja de leche de color fucsia obtuvo la mayor respuesta emocional, siendo esta la única caja no seleccionada, sugiriendo una respuesta emocional de desagrado.

7. La concentración fue medida por el incremento en el poder de las ondas beta. La caja de leche de color azul oscuro, mostró la mayor concentración y también fue la más escogida, además las 6 cajas de leche con más concentración fueron exactamente, en el mismo orden, las 6 que más se eligieron, sugiriendo una correlación entre la atención y la elección en las cajas de leche. Para los empaques de galleta, el empaque que mostró mayor concentración fue el de color verde oscuro, sin embargo no se observó una relación entre la concentración y la probabilidad de escoger empaques de galleta.
8. La receptividad baja, fue medida observando un aumento en el poder de las ondas alpha. Se observó que la caja de leche de color fucsia fue la que tuvo una menor receptividad. Además, se observó que el empaque de galleta de color naranja tuvo la menor receptividad. Ambos productos fueron los únicos que no fueron escogidos, sugiriendo que una baja receptividad tiene relación con una baja probabilidad de escoger un producto tanto de cajas de leche, como empaques de galleta.
9. La percepción fue medida con un incremento en el poder de las ondas Gamma. La caja de leche de color negro, fue la que mostró mayor percepción y también fue una de las más escogidas. Además, las tres cajas con mayor percepción fueron las tres más escogidas, indicándonos que existe una relación débil entre percepción y elección en empaques de leche. Finalmente, el empaque de galletas de color verde oscuro fue el que mayor percepción tuvo, siendo éste el que mayor concentración mostró, sugiriendo que la percepción para empaques de galleta está relacionada con la concentración sobre estos productos, pero no sobre la probabilidad de elección.

Recomendaciones

1. Ampliar el conjunto de datos mediante la aplicación continua del protocolo de pruebas establecido, para enriquecer la base y permitir una generalización más robusta de los resultados respecto a las métricas cognitivas y emocionales asociadas a diversos productos.
2. Desarrollar un modelo de Machine Learning, una vez acumulados suficientes datos, que pueda predecir la elección del producto alimenticio basándose en las métricas cognitivas y emocionales registradas durante las pruebas.
3. Implementar métodos de sincronización de reloj o utilizar marcadores del software Emotiv Pro, para optimizar el proceso de recorte y sincronización de datos en cada prueba, ahorrando tiempo y asegurando precisión.
4. Adquirir una licencia de Emotiv Performance para acceder a métricas de rendimiento con una precisión de 2 Hz en lugar de 0.1 Hz, permitiendo así un análisis más preciso y detallado del comportamiento cognitivo y emocional a lo largo de las pruebas.

-
- [1] K. Oatley, D. Keltner y J. M. Jenkins, “Understanding emotions,” 2006.
 - [2] N. Schwarz, “Feelings-as-information theory,” vol. 1, págs. 289-308, 2012.
 - [3] E. Niedermeyer y F. L. da Silva, *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
 - [4] J. H. Medicine, *Electroencephalogram (EEG)*, <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electroencephalogram-eeg>, Accessed: 2023-10-28, n.d.
 - [5] Z. Cao, “A review of artificial intelligence for EEG-based braincomputer interfaces and applications,” *Brain Science Advances*, vol. 6, págs. 162-170, 2020. DOI: 10.26599/BSA.2020.9050017. dirección: <https://journals.sagepub.com/doi/10.26599/BSA.2020.9050017>.
 - [6] A. Craik, Y. He y J. L. Contreras-Vidal, “Deep learning for electroencephalogram (EEG) classification tasks: a review,” *J Neural Eng*, vol. 16, n.º 3, pág. 031 001, 2019. DOI: 10.1088/1741-2552/ab0ab5. dirección: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30808014/>.
 - [7] M. Saeidi, W. Karwowski, F. V. Farahani et al., “Neural Decoding of EEG Signals with Machine Learning: A Systematic Review,” *Brain Sci*, vol. 11, n.º 11, pág. 1525, 2021. DOI: 10.3390/brainsci11111525. dirección: <https://doi.org/10.3390/brainsci11111525>.
 - [8] L. Hu y Z. Zhang, “Evolving EEG signal processing techniques in the age of artificial intelligence,” *Brain Science Advances*, vol. 6, n.º 3, págs. 159-161, 2020. DOI: 10.26599/BSA.2020.9050027.
 - [9] X. Chen, X. Tao, F. Wang y et al., “Global research on artificial intelligence-enhanced human electroencephalogram analysis,” *Neural Comput & Applic*, vol. 34, págs. 11 295-11 333, 2022. DOI: 10.1007/s00521-020-05588-x. dirección: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05588-x>.

- [10] G. Buzsáki, C. A. Anastassiou y C. Koch, “The origin of extracellular fields and currents—EEG, ECoG, LFP and spikes,” *Nature reviews neuroscience*, vol. 13, n.º 6, págs. 407-420, 2012.
- [11] W. Klimesch, “EEG alpha y theta oscillations reflejan rendimiento cognitivo y de memoria: una revisión y análisis,” *Brain research reviews*, vol. 29, n.º 2-3, págs. 169-195, 1999.
- [12] W. J. Ray y H. W. Cole, “La actividad EEG alfa refleja demandas de atención, y la actividad beta refleja procesos emocionales y cognitivos,” *Science*, vol. 228, n.º 4700, págs. 750-752, 1985.
- [13] M. J. Kahana, D. Seelig y J. R. Madsen, “El retorno de Theta,” *Current opinion in neurobiology*, vol. 11, n.º 6, págs. 739-744, 2001.
- [14] C. Tallon-Baudry y O. Bertrand, “Actividad gamma oscilatoria en humanos y su papel en la representación de objetos,” *Trends in cognitive sciences*, vol. 3, n.º 4, págs. 151-162, 1999.
- [15] W. Singer, “Sincronización de la actividad cortical y su supuesto papel en el procesamiento de información y aprendizaje,” *Annual review of physiology*, vol. 55, n.º 1, págs. 349-374, 1993.
- [16] M. Steriade y R. W. McCarley, *Control del tronco encefálico del despertar y el sueño*, 2.ª ed. Springer, 2005.
- [17] T. Harmony, “El significado funcional de las oscilaciones delta en el procesamiento cognitivo,” *Frontiers in integrative neuroscience*, vol. 7, pág. 83, 2013.
- [18] Emotiv, *EMOTIV Product Comparison*, 2023. dirección: <https://www.emotiv.com/comparison/>.
- [19] Emotiv, *EMOTIV FLEX - A wireless EEG system*, 2023. dirección: <https://www.emotiv.com/flex/>.
- [20] Emotiv, *EMOTIV Official Website*, 2023. dirección: <https://www.emotiv.com/>.
- [21] A. T. Duchowski, *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Springer, 2007, vol. 373.
- [22] K. Holmqvist, M. Nyström, R. Andersson, R. Dewhurst, H. Jarodzka y J. Van de Weijer, *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford, 2011.
- [23] K. Rayner, “Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research,” *Psychological Bulletin*, vol. 124, n.º 3, págs. 372-422, 1998.
- [24] A. Bojko, *Eye Tracking the User Experience: A Practical Guide to Research*. Rosenfeld Media, 2013.
- [25] M. Wedel y R. Pieters, “A Review of Eye-Tracking Research in Marketing,” en *Review of Marketing Research*, N. K. Malhotra, ed., vol. 4, Emerald Group Publishing Limited, 2007, págs. 123-147.
- [26] K. Rayner, A. Pollatsek, J. Ashby y C. Clifton Jr, *Psychology of Reading*. Psychology Press, 2014.
- [27] P. Majaranta y A. Bulling, “Eye Tracking and Eye-Based Human-Computer Interaction,” en *Advances in Physiological Computing*, Springer, 2014, págs. 39-65.

- [28] X. Zhang, Y. Sugano, M. Fritz y A. Bulling, “Appearance-based gaze estimation in the wild,” *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, págs. 4511-4520, 2019.
- [29] A. Bulling, J. A. Ward, H. Gellersen y G. Tröster, “Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, n.º 4, págs. 741-753, 2010.
- [30] J. Babcock y J. Pelz, “How long do the eyes need to look at the target?” En *ETRA '02: Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, ACM, 2002, págs. 71-78.
- [31] iMotions, *How to choose the best eye tracking glasses for your research*, 2021. dirección: <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/how-to-choose-the-best-eye-tracking-glasses-for-your-research/>.
- [32] A. Science, *ETVision Eye Tracking Glasses*, 2021. dirección: <https://argusscience.com/etvision-eye-tracking-glasses/>.
- [33] J. A. Russell, “A Circumplex Model of Affect,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, n.º 6, págs. 1161-1178, 1980. DOI: 10.1037/h0077714.
- [34] J. A. Russell, “Core Affect and the Psychological Construction of Emotion,” *Psychological Review*, vol. 110, n.º 1, págs. 145-172, 2003. DOI: 10.1037/0033-295X.110.1.145.
- [35] O. Petit, D. Merunka, J.-L. Anton et al., “Health and pleasure in consumers’ dietary food choices: individual differences in the brain’s value system,” *PLoS One*, vol. 10, n.º 7, e01350, 2015.
- [36] J. L. Orquin y S. Mueller Loose, “A review of visual attention factors in display design,” *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 41, n.º 1, págs. 47-66, 2013.
- [37] S.-Y. Oh, M.-S. Park y B.-K. Lee, “A new method of constructing a food frequency questionnaire by clustering of food items on the basis of responses given by a population,” *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, vol. 45, n.º 6, pág. 364, 2012.
- [38] V. Muniz, I. Ribeiro, K. Beckmam y R. Godoy, “The impact of color on food choice,” *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 26, jul. de 2023. DOI: 10.1590/1981-6723.08822.
- [39] L. I. Labrecque y G. R. Milne, “Exciting red and competent blue: The importance of color in marketing,” *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 40, n.º 5, págs. 711-727, 2012.
- [40] C. Spence, B. Piqueras-Fiszman, C. Michel y O. Deroy, “Assessment of the influence of the color of the plate on the perception of a complex food in a restaurant setting,” *Flavour*, vol. 3, n.º 1, págs. 1-12, 2013.
- [41] A. J. Elliot y M. A. Maier, “Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work,” *Frontiers in psychology*, vol. 6, 2015.
- [42] A. J. Elliot y M. A. Maier, “Color and psychological functioning,” *Current Directions in Psychological Science*, vol. 16, n.º 5, págs. 250-254, 2007.
- [43] *The most purchased grocery items in the U.S.* 2021. dirección: <https://www.statista.com/statistics/>.

- [44] N. T. Koukova, J. Srivastava y M. Steul-Fischer, “The effect of store layout on consumer purchase behavior,” *Journal of Marketing Research*, vol. 49, n.º 2, págs. 224-238, 2012.

10.1. Tablero utilizado para los productos alimenticios.



10.2. Consentimiento informado llenado antes de realizar las pruebas.

Participación Análisis de la experiencia del consumidor utilizando lentes de Eye Tracking y Electroencefalograma en compras en un supermercado de alimentos para desayuno

Estimado participante, para ser parte de este proyecto de investigación en el estudio de la aplicación de la Neurociencia en la Industria Alimentaria es necesario que usted comprenda los siguientes lineamientos. Este proyecto forma parte de los datos de los proyectos de graduación de los estudiantes Ana Lucía Serrano, Mariana García, Jose Javier Hurtarte y Andrei Portales para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de Alimentos e Ingeniería en Computación y Tecnologías de la Información de la Universidad del Valle de Guatemala. Este proyecto será mediado y supervisado por la Dra. Claudia García de la Cadena, MSc. Ana Silvia Colmenares y MSc. Douglas Barrios.

PROYECTO

En este proyecto, se le solicitará que usted asista **al laboratorio de Evaluación Sensorial**, donde se le colocaran unos sensores que serán los encargados de medir las respuestas de su cuerpo hacia estímulos del exterior. Durante la prueba se le solicitará que usted haga una **revisión visual** de los productos alimenticios que se le presentarán. Esta actividad se encuentra diseñada para obtener información acerca de las respuestas fisiológicas del cuerpo al momento de realizar el análisis del consumidor en compras de supermercado. La duración aproximada de la prueba es de 15-20 minutos.

RIESGOS Y BENEFICIOS

Participar en este proyecto no representaría **ningún riesgo para su salud**. Debido a que la evaluación implica el uso de sensores, se le pedirá que no se encuentre exaltado. Como parte de los beneficios por participar es ser parte de las primeras pruebas sensoriales con base en Neurociencia.

Fecha: ____/08/2023

Consentimiento

Yo, _____ autorizo y estoy de acuerdo con que **se utilice la información que brinde para fines académicos**. Mi participación es voluntaria y exoneró de responsabilidad al grupo de trabajo y a la Universidad Del Valle de Guatemala. Asimismo, autorizo que se registre mi participación y **aparición en fotografías o futuras publicaciones** por parte de la UVG o el grupo de trabajo mencionado anteriormente. Doy autorización para distribuir, mostrar públicamente de forma física o electrónica la información dada durante esta prueba.

Firma

He explicado y resuelto las dudas del participante.

Nombre

Firma

EEG: Electroencefalografía, una técnica neurofisiológica que registra la actividad eléctrica del cerebro, permitiendo analizar las respuestas cognitivas y emocionales.. 1, 3, 8–10, 15, 20, 21, 25

Eyetracker: Sensor con tecnología para medir y analizar el movimiento y el comportamiento de los ojos, lo que puede proporcionar información valiosa sobre la percepción visual y la atención.. 15, 17, 19–23, 25, 35

Machine Learning: Campo de estudio que da a las computadoras la capacidad de aprender sin estar programadas explícitamente para ello, esencial para el análisis y predicción basada en grandes conjuntos de datos.. 9, 12, 37

Mapa de calor: Representación gráfica de datos donde los valores individuales contenidos en una matriz se representan como colores, usada para mostrar las áreas de mayor concentración en estudios de eyetracking.. 28