

TÍTULO TESIS	Sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AloT para regular el comportamiento
-------------------------	---

DATOS DE LA TESIS

Grupo de investigación	COMBA I+D Grupo de Investigación en Computación Móvil y Banda Ancha.
Línea de investigación	Computación Ubicua, Urbana y Móvil

ESTUDIANTE

Nombre:	Gonzalo Alberto Álvarez García
Identificación	18370616
Correo:	gonzalo.alvarez00@usc.edu.co
Teléfono:	3103701161

DIRECTOR

Nombre:	Rafael Asorey Cacheda
Identificación	DNI: 36154472J
Correo:	rafael.asorey@upct.es
Teléfono:	+34 968326537

DIRECTORA

Nombre:	Claudia Liliana Zúñiga Cañón
Identificación	38886465
Correo:	claudia.zuniga00@usc.edu.co
Teléfono:	+57 3113341592

Sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AIoT para regular el comportamiento

Gonzalo Alberto Álvarez García

Tesis doctoral presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ciencias Aplicadas.

Director:
Dr. Rafael Asorey Cacheda
Directora:
Dra. Claudia Liliana Zúñiga Cañón

Línea de Investigación: Computación Ubicua, Urbana y Móvil
Grupo de Investigación: COMBA I+D

Universidad Santiago de Cali
Facultad de Ciencias Básicas,
Programa de Doctorado en Ciencias Aplicadas
Cali, Colombia
2024

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO (EINDOC)

UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

DOCTORADO EN CIENCIAS APLICADAS

**Sistema de instrumentación y control de estimulación
auditivo y visual con tecnología AIoT para regular el
comportamiento**

Tesis Doctoral

Gonzalo Alberto Álvarez García

(EINDOC) Universidad Politécnica de Cartagena

Candidato a Doctor Ciencias Aplicadas Universidad Santiago de Cali

CALI, COLOMBIA

2024

Agradecimientos

A todas las personas que de manera directa e indirecta han estado en el proceso, entre muchos a:

A Rafael por ser una guía permanente y un apoyo constante en el desarrollo del proyecto y por no dejarme desistir en ningún momento.

La Dra. Claudia que creyó desde un principio en la investigación y fue el puente para el trabajo con la UPCT.

La Dra. Yenny Avila quien fue el impulso inicial para empezar este desafío.

Catalina, Luz Dary y todos los compañeros que durante el proceso hemos compartido desafíos y frustraciones y los tutores que han retroalimentado las ideas convirtiéndolas en proyectos.

La UPCT y las personas de teleco que me abrieron las puertas de los laboratorios para desarrollar las prácticas y las pruebas del proyecto de investigación que soportan esta tesis.

Por último, a mi familia por la paciencia y la colaboración durante este camino recorrido.

A la memoria de mi padre hacedor de sueños.

Resumen y Summary

Resumen

Los sistemas de instrumentación y de control han permitido el análisis de diversas aplicaciones que tocan todos los aspectos de las ciencias, desarrollando una conexión evolutiva con las necesidades del ser humano y de su contexto, la revolución en el campo de la biología, de la industria son solo algunos ejemplos de estos alcances. Además, las tecnologías basadas en sistemas IoT (Internet of Things) han interconectado los diferentes aparatos propios de nuestra vida, desde lo más simple como encender o apagar un bombillo, hasta poder controlar la temperatura y la humedad de nuestros espacios de vida. En la actualidad la nueva realidad ha planteado un nuevo reinicio a las situaciones sociales, los entornos, los espacios de encuentro han sufrido a causa de la situación propia a la pandemia de la COVID – 19, estos espacios no han tenido transformaciones significativas, a pesar de que nuestros espacios personales, algunos mediados por la tecnología si se han transformado, las condiciones en espacios de interacción social no han tenido una evolución adecuada a los elementos tecnológicos que poseen. Esta diferencia entre los espacios personales y sociales han generado una necesidad en que los ambientes y los entornos se deben convertir en agentes con capacidad de interacción con las personas y que permita tanto a los participantes como a los administradores de los espacios una posibilidad para regular las actitudes de las personas y evocar comportamientos activantes o relajantes. El objetivo del trabajo que aquí se plantea es el diseñar y construir un sistema de instrumentación y control registrando las condiciones medio ambientales del entorno y generar un estímulo auditivo y visual, como un agente regulador del ambiente, con elementos propios del IoT con tecnológica robusta y accesible para la integración de los sistemas de su monitoreo y control en línea y también su funcionamiento de manera autónoma.

Palabras clave:

Comportamiento, emociones, sensores, inteligencia artificial, redes neuronales, estímulos.

Abstract

The instrumentation and control systems have allowed the analysis of various systems that touch all aspects of science, developing an evolutionary connection with the needs of human beings and their context, the revolution in the field of biology, industry are just some examples of these scopes. In addition, technologies based on IoT (Internet of Things) systems have interconnected the different devices of our lives, from the simplest thing like turning on or off a light bulb, to being able to control the temperature and humidity of our living spaces. Nowadays, the new reality has posed a new restart to social situations, environments, meeting spaces have suffered due to the situation of the COVID - 19 pandemic, these spaces have not had significant transformations, although our personal spaces, some of them mediated by technology, have been transformed, the conditions in spaces of social interaction have not had an adequate evolution to the technological elements they have. This difference between personal and social spaces has generated a need in which environments and environments must become agents with the capacity to interact with people and to allow both participants and administrators of the spaces a possibility to regulate people's attitudes and evoke activating or relaxing behaviors. The objective of the work proposed here is to design and build

an instrumentation and control system recording the environmental conditions of the environment and generate an auditory and visual stimulus, as a regulatory agent of the environment, with elements of the IoT with robust and accessible technology for the integration of systems for monitoring and control online and also its autonomous operation.

Keywords:

Behavior, emotions, sensors, artificial intelligence, neural networks, stimuli.

Índice general

Índice de figuras	9
Índice de tablas	12
1. Introducción y antecedentes	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.2.1. Estimulación auditiva	5
1.2.2. IoT(Internet de las Cosas)	7
1.2.3. SIC(Sistemas de Instrumentación y Control)	8
1.2.4. Estimulación visual	10
1.2.5. Modelo de comportamiento humano de Ajzen	12
2. Justificación y objetivos	15
2.1. Justificación	15
2.2. Objetivos	17
2.2.1. Objetivos específicos	17
3. Material y métodos	19
3.1. Marco teórico	19
3.1.1. Modelo de comportamiento	19
3.1.2. Respuesta neurológica a estímulos	22
3.1.3. Potencial Positivo Tardío	25
3.1.4. Internet de las Cosas(IoT)	30
3.1.5. Inteligencia Artificial	35
3.1.6. Inteligencia Artificial del Comportamiento	37
3.2. Metodología	38
4. Resultados y discusión	41
4.1. Clasificación de la tecnología IoT	41
4.2. Reconocimiento de la emoción por imágenes de rostros (FER)	43
4.2.1. Selección del modelo de red neuronal	47

4.2.2. Prueba de validación real del modelo CNN	51
4.3. Sistema de instrumentación con tecnología AIoT	53
4.4. Sistema de estímulo visual controlando la iluminación artificial	55
4.5. Sistema de interacción	62
4.6. Evaluación de estímulos en el comportamiento evocado	68
5. Conclusiones	74
Referencias	76
ANEXOS	81
A. Resultado de las pruebas piloto	82
B. Modelo de marco lógico de proyecto	88
C. Metodología. Diagrama de Gantt.	90
D. Análisis modal de fallos y efectos	92

Índice de figuras

1.1. Diagrama de Ishikawa	2
1.2. Ruta de conocimiento	5
2.1. Perdida del confort de pasar de ambientes intimos a espacios publicos.	15
2.2. Sensación de presión social	16
3.1. Modelo del comportamiento Ajzen de la teoría de conducta planificada	19
3.2. Ejemplo del modelo de comportamiento de Ajzen	21
3.3. Zonas cerebrales que se activan con cada uno de los sentidos	23
3.4. Secuencia de procesos que influyen en el comportamiento desde el sensitivo hasta el aprendizaje	24
3.5. Modelo de difusión ajustada	27
3.6. Modelo de inhibición de respuesta	28
3.7. Modelo de procesamiento diferencial	28
3.8. Evolución y campos de aplicación del IoT	31
3.9. Modelo IoT equivalente a modelo OSI.	33
3.10. Crecimiento del IoT desde la postulación del concepto	35
3.11. Diagrama de control en lazo cerrado del sistema AloB	38
3.12. Metodología del proceso de investigación	39
4.1. Modelo proceso de análisis jerárquico	42
4.2. Resultado de la evaluación usando el modelo AHP	43
4.3. Modelo CNN MobilNet v2	44
4.4. Modelo Inception v3	45
4.5. Modelo RestNet 50	45
4.6. Modelo VGG 19	46
4.7. Interface de usuario en raspbian	50
4.8. Reconocimiento de emociones en prueba realizada	52
4.9. Variación del reconocimiento de las emociones en la prueba piloto	52
4.10. Consistencia entre los datos de los diferentes intensidades de iluminación	53
4.11. Diseño de sistema de instrumentación electrónica	54
4.12. Sistema de control por sugestión de estado al control de iluminación	57

4.13. Ritmo circadiano	58
4.14. Variación de latidos en función del IRC y del color	61
4.15. Variación del porcentaje de la atención en función del IRC y del color	61
4.16. Variación del porcentaje de percepción de la presión en función del IRC y del color	62
4.17. Variación del porcentaje de relajación de la presión en función del IRC y del color	63
4.18. Sistema de registro de percepción de estímulos	63
4.19. Sistema implementado en equipo físico	64
4.20. Información de intención de uso del sistema	65
4.21. Pantalla de selección de sensación evocada	65
4.22. Variación de latidos en cada uno de los sujetos de prueba.	66
4.23. Variación de la relajación en cada uno de los sujetos de prueba.	67
4.24. Coherencia del registro de datos en cada uno de los sujetos de prueba	67
4.25. Diseño de la prueba piloto para evaluar estímulos de manera individual.	69
4.26. Diseño de la prueba piloto para evaluar estímulos de manera grupal.	69
4.27. Ondas Alpha	71
4.28. Ondas Beta	71
4.29. Ondas Theta	71
4.30. Ondas Delta	71
4.31. Ondas Gamma	71
4.32. Grado de relajación porcentual en función de la animación.	72
4.33. Grado de atención porcentual en función del color.	72
4.34. Grado de relajación porcentual en función del estímulo auditivo.	73
A.1. Variación de referencia señales alpha con estímulo de animación.	82
A.2. Variación de referencia señales beta con estímulo de animación.	82
A.3. Variación de referencia señales theta con estímulo de animación.	83
A.4. Variación de referencia señales delta con estímulo de animación.	83
A.5. Variación de referencia señales gamma con estímulo de animación.	83
A.6. Variación de referencia señales alpha con estímulo de color de iluminación artificial.	84
A.7. Variación de referencia señales beta con estímulo de color de iluminación artificial.	84
A.8. Variación de referencia señales theta con estímulo de color de iluminación artificial.	84
A.9. Variación de referencia señales delta con estímulo de color de iluminación artificial.	85
A.10. Variación de referencia señales gamma con estímulo de color de iluminación artificial.	85
A.11. Variación de referencia señales alpha con estímulo de audio.	86
A.12. Variación de referencia señales beta con estímulo de audio.	86
A.13. Variación de referencia señales theta con estímulo de audio.	86
A.14. Variación de referencia señales delta con estímulo de audio.	87

A.15.Variación de referencia señales gamma con estímulo de audio. 87

Índice de tablas

4.1. Tabla de comparación de parámetros	43
4.2. Resumen del proceso de entrenamiento de los modelos CNN	47
4.3. Resumen de los resultados de las pruebas sobre el sistema	49
4.4. Resumen de las diferentes emociones y el valor de identificación del modelo	49
4.5. Descripción grupo de prueba	51
4.6. Conjuntos difusos con los parámetros del controlador lógico difuso	59

Introducción y antecedentes

1.1 | Introducción

La tecnología esta presente en gran medida en los diferentes espacios de interacción humana, a través de dispositivos como teléfonos móviles, computadoras y redes sociales. Sin embargo, todavía hay algunos espacios y contextos en los que la tecnología no ha tenido un impacto significativo, como en las relaciones personales cara a cara o en algunos ambientes naturales [1]. Sin embargo, hay preocupaciones sobre los efectos negativos de la tecnología en la interacción humana, como la disminución de la comunicación verbal y la atención dividida [2]. Con la ayuda de la tecnología moderna, es posible que un sujeto se relacione con su entorno de un modo que fomente el intercambio de información y cree una nueva realidad de comprensión y conocimiento. La interacción del sujeto con la máquina y viceversa abre una línea de elementos transformadores que pueden adaptarse a las necesidades de la situación y sugerir nuevas tácticas [3]. Aunque la tecnología ha permeado en gran medida los espacios de interacción humana, todavía hay algunos espacios en los que su uso es limitado o no existente [4]. Algunos ejemplos incluyen:

- Espacios naturales remotos, como parques nacionales o zonas rurales, donde el acceso a la tecnología puede ser limitado debido a la falta de infraestructura.
- Contextos culturales o religiosos en los que el uso de tecnología está restringido o desalentado.
- Actividades al aire libre, como el senderismo o la escalada, donde el uso de tecnología puede ser considerado una distracción o peligroso.
- Contextos de terapia o meditación, donde el objetivo es desconectarse de las distracciones tecnológicas y conectarse consigo mismo y el entorno.
- Situaciones de emergencia o desastres naturales, donde la tecnología puede no funcionar o no estar disponible.

Además, hay contextos donde el uso de la tecnología no aporta al ambiente y las condiciones propias del entorno, espacios donde las emociones están presentes debido a la naturaleza del contexto hacen que la tecnología tenga capacidades que no han sido explotadas [5]. Espacios de interacción que son estresantes como aeropuertos, salas de espera o de emergencia en hospitales, a pesar de tener algunos elementos de transformación y adecuación tecnológica no han sido desarrollados pensando en las personas, están diseñados para resolver

problemas tecnológicos [6]. Otros ambientes que no tienen connotación de generar condiciones adversas a las personas, pero que si son espacios comunes que tienen características muy particulares como museos, auditorios, salones de clase, no han desarrollado capacidades que contribuyan a las condiciones de las personas presentes y que se puedan ajustar. Además, que existe una diferencia generacional entre las personas presentes que hace que el entorno sea percibido de manera diferente por las personas presentes, a pesar de que las condiciones naturales o artificiales sean iguales [7].

En síntesis, a través del diagrama de Ishikawa (ver figura 1.1), describimos las causas, consecuencias y el problema frente al uso de la tecnología como elemento de interacción que identifique las condiciones del entorno y las modifique de acuerdo con las necesidades de los participantes presentes en un entorno cerrado o abierto.

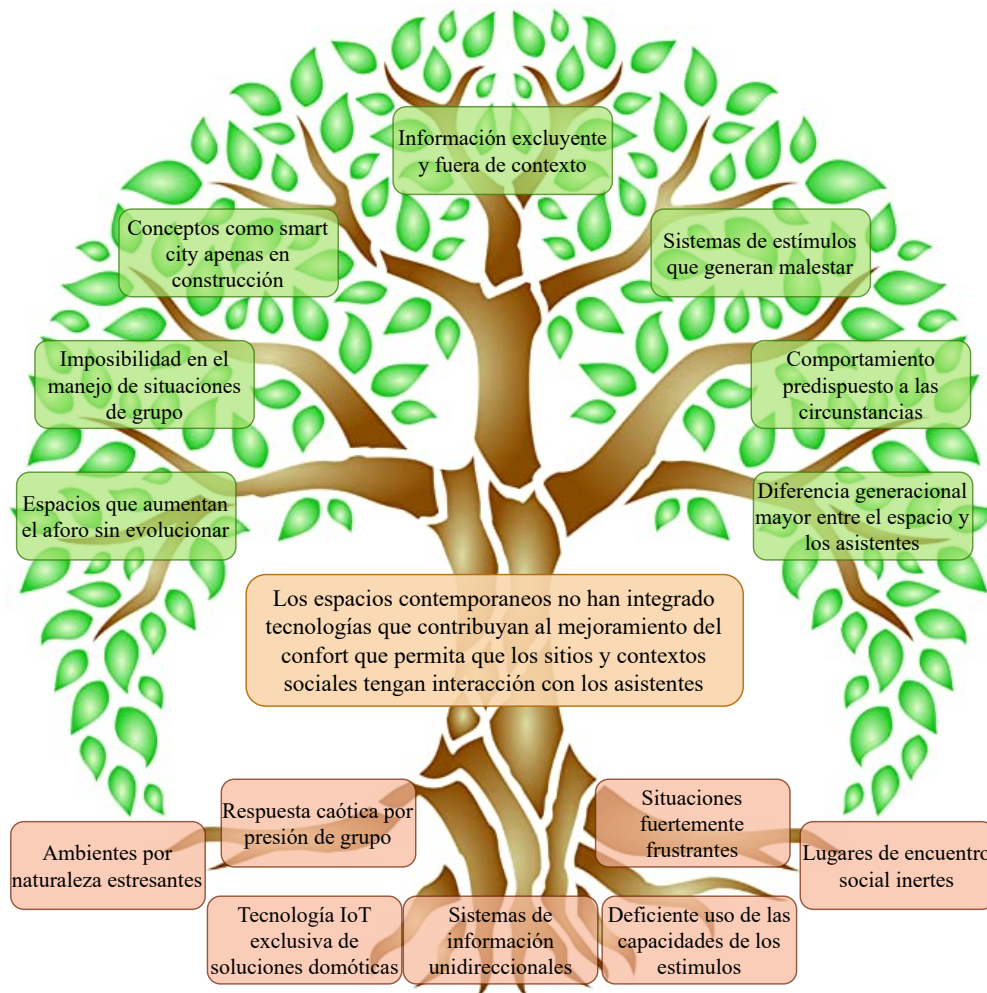


Figura 1.1. Diagrama de Ishikawa

Esta descripción del problema permite pensar en una solución desde las ciencias aplicadas con base tecnológica. La manera en que se abordó la solución del problema es analizar el sistema basado en un modelo de control clásico.

Inicialmente se hace la consideración que en los contextos de ambientes sociales funcionan como si fueran un sistema de control en lazo abierto donde la respuesta de la acción de control se supone, pero no se garantiza, ya que no hay forma de validar la salida del sistema, la forma de verificar la respuesta del sistema es usando

elementos de medida o sensores adecuados y retroalimentando el sistema, cerrando el lazo de control [8].

Para esto es necesario hablar de instrumentación electrónica, los sistemas de medida se utilizan en diferentes realidades y responden a las condiciones de la humanidad, su uso ha evolucionado con las primeras necesidades de los elementos de medida, en fenómenos físicos y hoy ha permeado rincones donde no era pensado su uso, la evolución de sensores que median desplazamientos mecánicos sobre escalas en la revolución industrial para determinar la presión de las calderas o la estandarización de las unidades de medida básicas para la universalización del concepto de las variables básicas de peso, tiempo, distancia. En la actualidad es posible determinar variables electroquímicas o respuesta anatómicas de manera directa o indirecta tomadas sobre las personas que muestran la proyección de uso [1]. Hoy a pesar de todos estos cambios, al interior de los hogares en general el uso de elementos de instrumentación se limita a las medidas propia de los servicios públicos y algunas para mantener la temperatura, ya sea para control de la calefacción o del aire acondicionado, esto limita la posibilidad de interacción de los dispositivos del Internet de las Cosas (de sus siglas en inglés IoT) que se vuelven elementos unidireccionales de información, esperando la acción del usuario, pero sin intervenir o recibir información del ambiente que controlan [9].

Debido a lo anterior, los diferentes avances tecnológicos que se han integrado en las realidades de los espacios sociales, algunos de ellos son ajenos a estas transformaciones y siguen siendo los mismos de antaño.

Por ejemplo, las estaciones de servicios de transporte, independiente si es aéreo, terrestre o marítimo, que ofrecen un espacio cerrado en un lugar seguro, donde se protege en grupos, pero no permite una conexión directa con los fenómenos medio ambientales, emocionales y cambiantes presentes en el entorno, convirtiéndose de nuevo en un recurso inerte, por eso se plantea para esta investigación la pregunta ¿Es posible generar una evolución a los espacios sociales contemporáneos para que integren elementos propios de la tecnología que contribuyan al comportamiento y hagan de los entornos elementos interactivos con los sujetos que intervienen en ellos?

1.2 | Antecedentes

El retorno a las actividades cotidianas, es uno de los grandes desafíos que se genera en un mundo que ha sufrido el COVID-19 y este retorno requiere de dos grandes procesos, transformación y adaptación. La transformación implica una nueva realidad, protocolos de bioseguridad, sistemas de información, nuevas tendencias sociales, en un mundo en constante cambio, también necesita de una adaptación de la realidad virtual que por el último año han vivido miles de personas y llegar a un mundo real y físico sin tantos distractores, pero a su vez sin tantos estímulos, esta realidad presenta un análisis de los procesos de comportamiento que se sentirán en los diferentes espacios y que de manera popular se ha catalogado como nueva realidad.

Un sistema integral que analiza la transformación y piensa en los procesos de adaptación tecnológica en muchos entornos es el sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AIoT (de sus siglas en inglés Artificial Intelligence of Things), como un dispositivo o conjunto de dispositivos que utilizan sensores conectados a Internet para medir y controlar la estimulación auditiva y visual en un ambiente determinado [9]. Estos sistemas pueden ser utilizados para regular el comportamiento de las personas en ese ambiente, como en una sala de espera o en un lugar de trabajo. Pueden incluir características como la capacidad de ajustar el volumen y el tono de la música, la intensidad de la luz y otros factores ambientales [10].

Un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AIoT para regular

el comportamiento está compuesto por varias partes interconectadas que trabajan juntas para lograr el objetivo deseado. A continuación, se describen las principales partes que conforman este tipo de sistema:

Sensores: son los dispositivos encargados de recolectar información sobre el ambiente en el que se encuentra el sistema. Pueden ser de diferentes tipos, como de luz, de sonido, de movimiento y de temperatura [11]. La información recolectada por ellos es enviada a un dispositivo de procesamiento para su análisis.

Dispositivo de procesamiento: es el encargado de analizar la información recolectada por los sensores y tomar decisiones sobre cómo ajustar la estimulación auditiva y visual para lograr el comportamiento deseado. Puede ser una computadora o una placa de control específica para este propósito [12]

Actuadores: son los dispositivos encargados de llevar a cabo las acciones decididas por el dispositivo de procesamiento. Pueden incluir dispositivos como altavoces, luces y otros elementos capaces de generar estimulación auditiva y visual [13].

Comunicación IoT: es la parte del sistema encargada de conectar los diferentes componentes del sistema a Internet. Esto permite que el sistema pueda ser controlado y monitoreado desde cualquier lugar con acceso a Internet. La comunicación IoT también permite que el sistema reciba actualizaciones y mejoras de software, lo que ayuda a mantenerlo actualizado y funcionando de manera óptima [14].

Software de control: es el software encargado de controlar el funcionamiento del sistema. Puede incluir algoritmos de control y programas de análisis de datos que ayudan a ajustar la estimulación auditiva y visual en función de los datos recolectados por los sensores y las decisiones tomadas por el dispositivo de procesamiento [15]

Interfaz de usuario: es la parte del sistema que permite a los usuarios interactuar con él. Puede incluir una aplicación móvil o una interfaz web cuyas funciones son controlar el sistema, ver estadísticas y recibir alertas en caso de problemas [16].

El sistema registra los sensores que recolectan información ambiental, trasmite estos datos a un dispositivo de procesamiento que analiza y toma decisiones en base a esa información. Las decisiones son enviadas a los actuadores que llevan a cabo las acciones decididas, un subsistema de comunicación IoT permite la conexión a Internet para almacenar los datos y acceder a el control remoto. Por ultimo, un software de control que ayuda a ajustar la estimulación auditiva y visual y una interfaz de usuario que permite ver la información recopilada e interactuar con el sistema. Todo el conjunto de partes forma parte de un sistema integrado que tiene como elemento central un núcleo AI (de sus siglas en ingles Artificial Intelligence) que gestiona cada una de las partes y permite adaptar los espacios a las necesidades particulares de diferentes entornos o ambientes interiores.

Esta interacción físico-tecnológica de mediación emocional que contribuya al comportamiento, en diferentes ambientes generará en las personas una mirada diferente de su entorno que buscará evocar en la percepción de las personas, entendiéndose comportamiento como la respuesta afectiva y emocional de la persona en su contexto dando unas acciones que pueden contribuir a un ambiente sano.

Existen investigaciones que desde diferentes miradas están relacionadas de manera transversal o longitudinal con el problema principal, en esta búsqueda de tener un paradigma inicial sobre el cual se puedan levantar las condiciones, se dividió la propuesta en 5 tópicos principales ver figura 1.2. Estos tópicos trazan el camino para el desarrollo de una propuesta y aborda desde temas específicos que de manera consistente aportan a la problemática analizada como una ruta de conocimiento.



Figura 1.2. Ruta de conocimiento

Abordar la investigación desde una mirada multifacética permite encontrar el campo de solución desde las ciencias aplicadas. Este enfoque hace visible el campo de acción y de aplicación donde la investigación realiza aportes interdisciplinarios en los diferentes paradigmas y hace que desde las ciencias aplicadas y las telecomunicaciones se plantean alternativas de solución manteniendo la mirada en los aspectos centrales de la investigación y encontrar el punto en común para abordar una alternativa de solución.

1.2.1. Estimulación auditiva

Se refiere al proceso de recibir y procesar información a través del oído. Contribuye al comportamiento humano al permitir la percepción de sonidos y al proporcionar información sobre el entorno. Por ejemplo, la estimulación auditiva puede ayudar a reconocer voces de personas conocidas, detectar peligros potenciales y seguir instrucciones. También puede tener un impacto en el estado emocional y cognitivo, ya que el sonido puede evocar recuerdos y emociones [17].

La estimulación auditiva también puede ser utilizada terapéuticamente, ya que algunos sonidos pueden ayudar a reducir el estrés y la ansiedad, mejorar el sueño y promover la relajación. La música, por ejemplo, puede tener un efecto calmante y relajante en las personas. La terapia de sonido también se ha utilizado para tratar trastornos auditivos como el zumbido en los oídos (acúfenos) y la pérdida de audición [18].

Hay varias investigaciones que respaldan el impacto positivo de la estimulación auditiva en la salud y el bienestar. Por ejemplo, se ha encontrado que la música puede ayudar a reducir la ansiedad y el dolor en pacientes hospitalizados. Otras investigaciones han demostrado que la música puede mejorar el rendimiento cognitivo y la memoria en personas mayores. También se ha encontrado que la terapia de sonido puede ayudar a reducir los síntomas de trastornos auditivos como el zumbido en los oídos.

Existen investigaciones que utilizan la estimulación auditiva como una herramienta para tratar trastornos mentales y emocionales, como el trastorno de estrés postraumático (TEPT) y el trastorno depresivo mayor. Por

ejemplo, se ha encontrado que la terapia de sonido puede ayudar a reducir los síntomas de TEPT en veteranos de guerra.

Un estudio publicado en “The Journal of Pain” encontró que la música puede ayudar a reducir el dolor y la ansiedad en pacientes hospitalizados. Los pacientes que escucharon música durante un procedimiento quirúrgico mostraron menos dolor y ansiedad que aquellos que no lo hicieron [19].

Otra investigación que se publicó en “The Journal of Gerontology” encontró que la música puede mejorar el rendimiento cognitivo y la memoria en personas mayores. Los participantes que escucharon música antes de una tarea de memoria mostraron un mejor rendimiento que aquellos que no lo hicieron [20].

El artículo “The International Journal of Audiology” encontró que la terapia de sonido puede ayudar a reducir los síntomas de acúfenos (zumbido en los oídos). Los participantes que recibieron terapia de sonido mostraron una reducción significativa en los síntomas en comparación con aquellos que no recibieron tratamiento [21].

Un estudio publicado en “The Journal of Traumatic Stress” encontró que la terapia de sonido puede ayudar a reducir los síntomas de trastorno de estrés postraumático (TEPT) en veteranos de guerra. Los participantes que recibieron terapia de sonido mostraron una reducción significativa en los síntomas de TEPT en comparación con aquellos que no recibieron tratamiento [22].

Finalmente, en el artículo “The Journal of Affective Disorders” encontró que la terapia de sonido puede ayudar a reducir los síntomas de trastorno depresivo mayor. Los participantes que recibieron terapia de sonido mostraron una reducción significativa en los síntomas de depresión en comparación con aquellos que no recibieron tratamiento [23].

Los estímulos auditivos poseen una acción directa sobre el entendimiento del entorno y de la generación de alertas y la percepción de riesgos. El enfoque de investigaciones como “Sounds Modulate the Perceived Duration of Visual Stimuli via Crossmodal Integration” [24], hizo que los participantes del experimento fueran sometidos a estímulos auditivos, visuales y combinados, permitiendo la clasificación de la duración de los estímulos visuales objetivo percibidos por ellos en cuatro categorías. Los resultados demostraron que un sonido presentado antes y después de un objetivo visual aumenta o disminuye la duración visual percibida dependiendo del intervalo entre estímulos entre los sonidos y el estímulo visual.

En el artículo “The Content of Imagined Sounds Changes Visual Motion Perception in the Cross-Bounce Illusion”[20] utilizan la ilusión de rebote cruzado en la que un estímulo auditivo presentado en el momento en que dos objetos que pasan se encuentran promueve la percepción de que los objetos rebotan en lugar de cruzarse entre sí para examinar si el contenido del sonido imaginado cambia la percepción del movimiento visual de una manera que sea consistente con la integración multisensorial.

Uno de los parámetros fundamentales que se encontró en el análisis del estado del arte fue de la investigación “The sound and the fury: Late positive potential is sensitive to sound affect”[25], dos parámetros han contribuido en el análisis de este artículo, el primero es la emoción como una construcción emergente de múltiples procesos neuronales distintos. Es medible desde el EEG y es excepcionalmente sensible a los cálculos neuronales en tiempo real y, por lo tanto, es una herramienta prometedora para estudiar la construcción de la emoción. También se encontró el efecto del potencial positivo tardío (PPT) a la percepción de emociones multimodales.

Otro artículo que aporta al desarrollo de la propuesta es “Modulación del estado de ánimo a través de estímulos musicales activantes”[26], en este se describe el papel de la música y las características que debe tener

la pieza musical para afectar al estado de ánimo como refuerzo positivo en los cambios fisiológicos y cognitivos de los oyentes. Desde la parte de los estímulos auditivos, como última investigación se consideró a “Unexpected Sounds Nonselectively Inhibit Active Visual Stimulus Representations”[27], esta investigación analizó la capacidad del cerebro para procesar eventos inesperados fundamental para la flexibilidad cognitiva. El efecto más conocido de los eventos inesperados es la interrupción del compromiso atencional (distracción). Probaron si los eventos inesperados interrumpen las representaciones atencionales activando un mecanismo neuronal para el control inhibitorio. Los participantes se sometieron a una serie de potenciales evocados con control de elementos gráficos y la capacidad de retener esta información cuando se usaban distractores auditivos, midiendo la atención y la respuesta motora producida.

1.2.2. IoT(Internet de las Cosas)

Para poder organizar la arquitectura requerida en el sistema, se toma como elemento integrador el paradigma IoT. El Internet de las cosas (por sus siglas en inglés IoT) es una tecnología que permite la conexión de dispositivos y objetos cotidianos a internet, lo que les permite enviar y recibir datos. Esto permite una mayor automatización y mejor monitoreo de los dispositivos y objetos conectados, lo que puede mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en una variedad de industrias.

El desarrollo de IoT se basa en tres pilares fundamentales en el manejo de datos: sensores, dispositivos y nubes. Los sensores los recopilan, los dispositivos procesan y transmiten y las nubes almacenan y analizan la información. Además, la comunicación entre los dispositivos se lleva a cabo mediante protocolos de comunicación inalámbricos como WiFi, Zigbee, Bluetooth, LoRa, entre otros [28].

A medida que la tecnología avanza, se espera que IoT se utilice cada vez más en una variedad de aplicaciones, como el hogar inteligente, la medicina, la industria y el transporte. Sin embargo, también existen desafíos importantes en cuanto a la seguridad y la privacidad, ya que los dispositivos conectados y los datos recopilados pueden ser vulnerables a ataques cibernéticos [29].

En el desarrollo de la tecnología IoT, podemos mencionar algunas investigaciones que fundamentan el concepto y dan una mirada amplia de la capacidad de uso de esta tecnología [9], podemos mencionar entre otros:

“A Review of IoT-enabled Smart Home Systems and Their Applications” [30] publicado en la revista IEEE Communications Surveys and Tutorials. Este estudio revisa los diferentes sistemas de hogar inteligente habilitados para IoT y sus aplicaciones en áreas como la automatización del hogar, el monitoreo de la salud y la seguridad.

“IoT-enabled Smart Agriculture: A Review” [31] publicado en la revista Information. Este estudio revisa cómo IoT se utiliza en la agricultura para mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en la agricultura.

“IoT-enabled Smart Healthcare: A Review” [32] publicado en la revista IEEE Access. Este estudio revisa cómo IoT se utiliza en la atención médica para mejorar la monitorización de pacientes, la telemedicina y la gestión de medicamentos.

“IoT-enabled Smart Transportation: A Review” [33] publicado en la revista IEEE Communications Surveys and Tutorials. Este estudio revisa cómo IoT se utiliza en el transporte para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad en la planificación de transporte y la gestión de tráfico.

“IoT-enabled Smart Cities: A Review” [14] publicado en la revista IEEE Internet of Things Journal. Este

estudio revisa cómo IoT se utiliza en las ciudades inteligentes para mejorar la eficiencia en servicios públicos, la seguridad y la calidad de vida de los ciudadanos.

Otras investigaciones como “Bluetooth for Internet of Things: A fuzzy approach to improve power management in smart homes” [34] muestra la capacidad que tiene la implementación de la metodología en sistemas inalámbricos, en el caso particular del BLE (Bluetooth Lower Energy) o Bluetooth de baja potencia como sistema de intercambio de información en aplicaciones específicas del desarrollo de la tecnología contribuyendo al manejo energético y la mejora en la eficiencia y el tiempo de vida útil del dispositivo.

Además de la posibilidad de medir variables que son factores de riesgo en los hogares, como en el artículo “Low-Power and Low-Cost Environmental IoT Electronic Nose Using Initial Action Period Measurements” [8] donde diseñan una infraestructura completa para la medida y transmisión de datos de los gases presentes, usando un sistema con independencia de potencia y transmitiendo los datos vía WIFI.

En las investigaciones “Implementation smart home using internet of things” [30], “Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring” [12] y “Real-time power monitoring using field-programmable gate array with IoT technology” [35], usan la tecnología IoT en el desarrollo de redes de dispositivos ubicados en redes internas y con transmisión externa para el desarrollo de ecosistemas digitales que permiten el desarrollo de las plataformas en hogares, ambientes laborales o industriales.

1.2.3. SIC(Sistemas de Instrumentación y Control)

Los sistemas de instrumentación y control (SIC) son esenciales en la industria moderna. Estos sistemas, compuestos por una variedad de dispositivos y equipos, se utilizan para medir, controlar y monitorear una amplia gama de procesos industriales. Estos procesos pueden incluir la producción de petróleo y gas, la generación de electricidad, la fabricación de productos químicos y farmacéuticos, entre otros.

Los SIC emplean sensores para recopilar datos sobre el proceso en cuestión. Estos datos luego son utilizados por controladores y actuadores para ajustar y regular el proceso, manteniéndolo dentro de un rango deseado. Además, los SIC incluyen sistemas de visualización y supervisión que permiten a los operadores monitorear y controlar el proceso en tiempo real.

Algunos de los sistemas de procesos industriales en la actualidad deben la eficiencia de los procesos y la velocidad de fabricación debido a los SIC. La capacidad que tienen los sensores de identificar cada vez más tipos de variables físicas, químicas y biológicas han permitido ser aplicados en cada más procesos. Los actuadores también han tenido muchos avances, desde elementos con diseños más funcionales, hasta máquinas neumáticas o hidráulicas y sistemas de temperatura eficientes energéticamente.

Uno de las actividades centrales de los SIC son los controladores de procesos que combinan los valores de referencia con las señales de los sensores para dar una salida adecuada a través del actuador. Este tipo de controles pueden ser analógicos o digitales según sean los requerimientos. Los sistemas computacionales cada vez más avanzados, compactos y de bajo costo han permitido diversificar los controladores avanzados con sistemas cada vez más complejos.

El uso de estos sistemas computacionales avanzados y un almacenamiento y seguimiento adecuado de los procesos ha llevado a un modelado eficiente de estos sistemas. En la actualidad, los SIC están evolucionando

hacia el concepto de “Smart” o “Inteligente”. Este concepto refleja las posibilidades que ofrece esta tecnología en campos donde su uso está en evolución. Conceptos como gemelos digitales posibilitan la capacidad de toma de decisiones frente a modificaciones de la infraestructura implementada.

Existen numerosas investigaciones y revisiones sobre el tema, que han resultado en una serie de artículos publicados. Algunos de estos incluyen:

1. “Smart City Systems of Instrumentation and Control: A Review of the Literature” [36] publicado en la revista “Sensors” en 2016. Este artículo de revisión proporciona valiosas ideas sobre la utilización de LOS SCI y el IoT en el contexto de las ciudades inteligentes, con un enfoque particular en sus implicaciones para el desarrollo urbano sostenible.

2. “Instrumentation and control systems in smart homes: a survey” [37] publicado en la revista “Automation in Construction” en 2017. Esta revisión de la literatura muestra las posibilidades que ofrecen los sistemas de instrumentación modernos. Con poco tamaño y de construcción robusta pasan inadvertidos y con mayores posibilidades. Permiten tareas sencilla como control On-Off hasta temas de seguridad como verificar fugas de gas, consumo de energía eléctrica o alerta de incendios.

3. “Smart Lighting Control Systems in Smart Cities: A Review” [29] publicado en la revista “IEEE Access” en 2018. Este artículo discute las nuevas tendencias en iluminación artificial en ciudades inteligentes y los retos que enfrentan, como diseñar dispositivos que eviten el contacto directo y asegurar la protección de los datos personales de sus usuarios.

4. “Smart Traffic Control Systems: A Review” [33] publicado en la revista “IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems” en 2018. Esta revisión muestra la tecnología que está cambiando la forma en que nos movemos por nuestras ciudades y autopistas. Desde semáforos inteligentes hasta sistemas de monitoreo en tiempo real, esta tecnología de vanguardia está haciendo que nuestras carreteras sean más seguras y eficientes.

5. “Smart water management systems: a review of instrumentation and control strategies” [31] publicado en la revista “Water Research” en 2019. Esta revisión discute temas como el cambio climático, la escasez de agua, el crecimiento de la población y las pérdidas de distribución que han estimulado el uso de nuevas tecnologías para gestionar los recursos hídricos.

Estas investigaciones documentales destacan el concepto de “smart” como el común denominador de la tecnología y muestran los diferentes campos de aplicación. Estos estudios demuestran una metodología de captura, análisis y control de diferentes sistemas, permitiendo la autonomía y el ajuste de parámetros para obtener respuestas adecuadas.

Además, existen otras investigaciones relacionadas, como “Combined effects of acoustic, thermal, and illumination conditions on the comfort of discrete senses and overall indoor environmen”. Este estudio investigó la influencia de la interacción multisensorial en el confort acústico, el confort térmico, el confort visual y el confort ambiental interior con tres factores ambientales interiores físicos, es decir, condiciones acústicas, térmicas y de iluminación en un laboratorio ambientalmente controlado.

1.2.4. Estimulación visual

La estimulación visual se refiere a la información que recibimos a través de nuestros ojos. Contribuye al comportamiento al proporcionar información sobre el entorno, lo que nos permite navegar y interactuar con él. La estimulación visual también desempeña un papel importante en la percepción, la memoria y el aprendizaje. Por ejemplo, al ver un objeto, nuestro cerebro lo procesa y lo almacena en la memoria a corto y largo plazo. Esto nos permite reconocer objetos similares en el futuro y utilizar esta información para realizar tareas.

Además, la estimulación visual también puede tener un impacto en nuestras emociones y estado de ánimo. Por ejemplo, ver imágenes tranquilas y relajantes puede ayudar a reducir el estrés y la ansiedad, mientras que ver imágenes violentas o aterradoras puede aumentar la ansiedad.

La estimulación visual también juega un papel importante en la comunicación. Las imágenes y los videos son una forma efectiva de transmitir información y emociones. Los anuncios publicitarios, por ejemplo, utilizan la estimulación visual para atraer la atención de las personas y persuadirlas a comprar un producto o servicio.

La estimulación visual es esencial para la percepción, el aprendizaje, la memoria, las emociones y la comunicación. Sin ella, nuestra capacidad para interactuar con el mundo y comprenderlo sería significativamente reducida. Dentro de las investigaciones adelante mencionadas es visible la capacidad de la propuesta en cuanto a la capacidad que tienen los estímulos visuales para aportar al comportamiento.

Un factor común de las investigaciones es cómo la experiencia visual temprana afecta el desarrollo de diferentes competencias fundamentales para el desarrollo del ser humano. Las principales competencias investigadas de los alcances con el estímulo visual son: capacidad de reconocimiento de objetos en los bebés [38], el desarrollo de la capacidad de reconocimiento de rostros y asociación a la voz[39], identificación de las emociones de las personas generando lazos de empatía por el reconocimiento de la expresión facial [40], procesar rostros en los niños, la generación de vínculos afectivos y emocionales en el reconocimiento de sus congéneres como lugar seguro y la cognición espacial en los niños [41].

El desarrollo de la cognición espacial permite el desarrollo de competencias geométricas aplicadas a la academia y a la vida. Otra conclusión es la capacidad de los estímulos visuales para el desarrollo de habilidades de atención. Se mostró una correlación directa entre el número y la calidad de los estímulos visuales para que los niños posean la capacidad de centrar su atención. investigó cómo estímulos visuales permiten el desarrollo de la memoria en los niños. Se encontró la capacidad complementaria de información conjugada con imágenes, desarrollando mayor capacidad de retención de la información en la memoria de corta y larga duración.

Otras investigaciones donde se muestra las posibilidades de los estímulos visuales se encuentran en artículos como “When visual stimulation of the surrounding environment affects children’s cognitive performance” [42] en 2018, investigó cómo la estimulación visual afecta el rendimiento cognitivo. Los resultados sugieren que la estimulación visual puede mejorar el rendimiento cognitivo en tareas específicas.

“From the heart to the mind: cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli” publicado en la revista “Emotion” [43] en 2016, plantea la relación de los estímulos visuales y las emociones. Las conclusiones del estudio muestran una relación directa del efecto de la luz y el tono de la iluminación, además del uso de imágenes para influir en las emociones y el estado de ánimo de una persona.

“Prospective decision making for randomly moving visual stimuli” [10] publicado en la revista “Cognition” en 2019, investigó cómo la estimulación visual afecta la toma de decisiones en adultos. Los resultados sugieren que

la estimulación visual puede influir en las decisiones que tomamos.

“Measuring Biases of Visual Attention: A Comparison of Four Tasks” [44] publicado en la revista “Journal of Experimental Psychology: General” en 2020, investigó cómo la estimulación visual afecta los sesgos de atención. Los resultados sugieren que la estimulación visual puede influir en cómo se concentra o se dispersa la atención a diferentes estímulos.

“Role of the amygdala in processing visual social stimuli” [11] publicado en la revista “Trends in Cognitive Sciences” en 2019, investigó cómo la estimulación visual afecta el comportamiento social en adultos. Los resultados sugieren que la estimulación visual puede influir en cómo interactuamos con los demás.

Las anteriores investigaciones sugieren que la estimulación visual puede tener un impacto significativo en el comportamiento, incluyendo el rendimiento cognitivo, la regulación emocional, la toma de decisiones, los sesgos de atención y el comportamiento social.

En el artículo “A flexible geometry for panoramic visual and optogenetic stimulation during behavior and physiology” [45] los autores describen un diseño de sistema que permite la estimulación en ángulos específicos en un campo visual panorámico, lo que permite una mayor precisión en la estimulación de las áreas cerebrales específicas. También se discute cómo esta tecnología puede ser utilizada en investigaciones relacionadas con el comportamiento y la psiquiatría.

En el artículo “Procesamiento de señales cerebrales provenientes de estímulos visuales y auditivos utilizando análisis wavelet y redes neuronales artificiales” [17], describen cómo utilizan el análisis wavelet para descomponer las señales cerebrales en diferentes bandas de frecuencia, lo que permite identificar patrones específicos en las señales. Luego, utilizan redes neuronales artificiales para clasificar y analizar estos patrones. El artículo también discute cómo esta técnica podría ser utilizada en aplicaciones como la neurociencia cognitiva, la neuroprótesis y la neurorrehabilitación.

En la investigación “PercepFiguras: programa computarizado de estimulación visual para evaluar conductual y electrofisiológicamente la percepción multiestable” [46] y sus conclusiones del estudio tratan sobre un programa computarizado llamado PercepFiguras, que se utiliza para evaluar la percepción multiestable a través de la estimulación visual. PercepFiguras es una herramienta de evaluación conductual y electrofisiológica que utiliza estímulos visuales específicos para medir cómo los participantes perciben y procesan la información. Los autores describen cómo utilizan PercepFiguras para investigar la percepción multiestable, que es un fenómeno en el cual una misma imagen puede ser percibida de diferentes maneras. El artículo también discute cómo esta herramienta podría ser utilizada en aplicaciones como la neurociencia cognitiva, la neuropsicología y la neuropsiquiatría.

De la misma manera, “Contextual modulation of primary visual cortex by auditory signals” [47] el artículo trata sobre cómo las señales auditivas modulan el córtex visual primario, específicamente en cómo los estímulos auditivos pueden influir en la forma en que el cerebro procesa la información visual. Los autores describen cómo han utilizado técnicas de neuroimagen para investigar la relación entre los estímulos visuales y auditivos, y cómo estos estímulos interactúan en el córtex visual primario. El artículo también discute cómo esta investigación puede ayudar a entender cómo el cerebro integra la información sensorial de diferentes modalidades y cómo esto podría tener implicaciones para la comprensión de trastornos neurológicos y neuropsicológicos relacionados con la percepción.

En el artículo “Dual processing model of visual information” [48] se hace referencia a un modelo de procesamiento dual de la información visual. Los autores plantean cómo el cerebro procesa la información visual de

manera automática e involuntaria, y de manera consciente y controlada. El modelo de procesamiento dual sugiere que existen dos sistemas distintos en el cerebro encargados de procesar la información visual, uno que es rápido y no requiere atención y otro que es más lento y requiere una mayor atención. El artículo discute cómo esta teoría ha sido utilizada para explicar diferentes aspectos de la percepción visual y cómo esto podría tener implicaciones para la comprensión de trastornos neurológicos y neuropsicológicos relacionados con la percepción visual.

1.2.5. Modelo de comportamiento humano de Ajzen

El Modelo de Comportamiento de Ajzen, también conocido como el Modelo de Comportamiento Intencional (TBM, por sus siglas en inglés), es un marco teórico desarrollado por el psicólogo social Icek Ajzen para explicar cómo y por qué las personas toman decisiones y realizan acciones [49]. Según este modelo, la intención de una persona de realizar un comportamiento es la razón principal para adoptar un comportamiento. La intención se ve afectada por tres factores: la actitud hacia el comportamiento, la subjetiva norma social y la percepción de control sobre el comportamiento [50].

El TBM también señala que la intención de realizar un comportamiento es un proceso continuo que puede ser influenciado por factores externos. Por ejemplo, la disponibilidad de recursos y el acceso a información pueden afectar la capacidad de una persona para llevar a cabo un comportamiento [51].

En una variedad de campos se ha utilizado el TBM como la investigación de salud pública, el marketing y la psicología ambiental, para entender y predecir el comportamiento humano [49]. A través de la medición de las intenciones y factores predictores, se pueden desarrollar estrategias para promover comportamientos deseados y prevenir comportamientos no deseados.

Existen varios estudios que respaldan el modelo de comportamiento intencional de Ajzen. Uno de los estudios más conocidos es el que se llevó a cabo por Ajzen y Fishbein en 1975, en el que se demostró que la intención de una persona de realizar un comportamiento es una de las maneras de pronosticar como será su comportamiento [50]. Los resultados de esta investigación se han replicado en varios otros estudios en diferentes ámbitos, como la salud pública, el medio ambiente y el marketing.

En la investigación "Application of theory of planned behavior to study online booking behavior" encontraron que la intención de realizar un comportamiento es un indicador que pronostica más fuerte del comportamiento que la autoeficacia (percepción de control sobre el comportamiento) y la actitud hacia el comportamiento[52].

En conjunto las referencias anteriores muestran como elemento común que la intención de realizar un comportamiento es la manera más precisa de vaticinar el comportamiento que otras medidas, como la cognición y las emociones.

El modelo de comportamiento intencional ha sido respaldado por una gran cantidad de investigaciones y ha sido considerado como un marco teórico sólido y útil para entender y predecir el comportamiento humano. Durante investigaciones desarrolladas usando el modelo de comportamiento de Ajzen se tienen referencias asociadas hacia la modulación de comportamiento entre otras:

1. "Efficacy of an extended theory of planned behaviour model for predicting caterers' hand hygiene practices" [53] publicado en American Journal of Infection Control en 2018.

2. "A Test of the Theory of Planned Behavior to Explain Physical Activity in a Large Population Sample of

Adolescents From Alberta, Canada” [54] publicado en Journal of Rural Health en 2017.

3. “Applying the Theory of Planned Behavior to Recycling Behavior in South Africa” [55] publicado en Journal of Applied Social Psychology en 2002.

4. “Applying the Theory of Planned Behavior to Fruit and Vegetable Consumption by Older Adults” [56] publicado en Health Psychology Review en 2016.

5. “Exploring Medication Adherence Amongst Australian Adults Using an Extended Theory of Planned Behaviour” [57] publicado en Journal of Applied Social Psychology en 2003.

Entre estos estudios se puede señalar que utilizaron el modelo de comportamiento intencional de Ajzen para investigar las intenciones y comportamientos de actividad física en adultos mayores. También, para investigar las intenciones y comportamientos relacionados con el consumo de frutas y verduras en adolescentes. Otros investigadores utilizaron el modelo de comportamiento intencional de Ajzen para investigar las intenciones y comportamientos relacionados con el reciclaje en adultos. Además, en otra investigación se concluyó que el modelo de comportamiento intencional de Ajzen mejora las intenciones y comportamientos relacionados con el uso del cinturón de seguridad en conductores jóvenes. Finalmente, en un estudio se utilizó el modelo de comportamiento intencional de Ajzen para investigar las intenciones y comportamientos relacionados con el uso del condón en adolescentes.

En otras investigaciones y revisiones como en el artículo “The theory of planned behaviour: Reactions and reflections” [50] es una revisión crítica de la teoría del comportamiento planificado, una teoría psicológica que se utiliza para entender y predecir el comportamiento humano. La teoría del comportamiento planificado sugiere que las intenciones, las actitudes y las normas subjetivas son los principales factores que determinan el comportamiento humano. Los autores del artículo revisan la literatura científica existente sobre la teoría del comportamiento planificado y discuten sus fortalezas y debilidades. También proporcionan una visión crítica sobre las aplicaciones de la teoría en diferentes campos y sugieren posibles mejoras y áreas de investigación futura.

El artículo “The Influence of Attitudes on Behavior” [52] se centra en cómo las actitudes de una persona influyen en su comportamiento. La teoría de las actitudes propone que las actitudes son una combinación de creencias, sentimientos y intenciones relacionadas con un objeto o idea específica. Se ha demostrado que las actitudes pueden tener un impacto significativo en cómo una persona se comporta en relación con ese objeto o idea. Los autores del artículo discuten cómo las actitudes se relacionan con el comportamiento y cómo se pueden medir. Además, el artículo también se refiere a los diferentes factores que pueden influir en la relación entre actitudes y comportamiento, como el contexto, las normas sociales y las características personales. El artículo también menciona cómo las actitudes pueden ser cambiadas y cómo esto puede afectar el comportamiento.

El artículo “The theory of planned behaviour is alive and well, and not ready to retire: a commentary on Sniehotta, Pesseau, and Araújo-Soares” [51] es un comentario sobre un estudio reciente que cuestiona la validez de la teoría del comportamiento planificado. Los autores del comentario argumentan que, a pesar de algunas críticas y limitaciones, la teoría del comportamiento planificado sigue siendo un marco útil y relevante para entender y predecir el comportamiento humano. El artículo también discute cómo la teoría del comportamiento planificado ha evolucionado y se ha adaptado a nuevas investigaciones y hallazgos en los últimos años. Los autores también sugieren áreas de investigación futura para mejorar y desarrollar aún más la teoría del comportamiento planificado. La idea principal del artículo “The Theory of Planned Behavior: Selected Recent Advances and Applications” [58] es que la teoría del comportamiento planificado es un marco importante y valioso para entender y predecir

el comportamiento humano, y que ha habido avances y aplicaciones recientes en su uso y desarrollo. El artículo presenta una revisión de estudios recientes que utilizan y aplican la teoría del comportamiento planificado en diferentes campos, incluyendo la salud, el cambio ambiental, el consumo de drogas, el uso de tecnología y la toma de decisiones en organizaciones. El artículo también discute cómo la teoría ha evolucionado y se ha adaptado a nuevos hallazgos y cambios en la investigación. En resumen, el artículo busca proporcionar una visión actualizada y un panorama general sobre las aplicaciones y las tendencias recientes en la teoría del comportamiento planificado.

En conjunto, los tópicos y las investigaciones desarrolladas en torno al problema planteado proporcionan una base sólida para el desarrollo de nuestra propuesta de investigación. Estos tópicos incluyen una variedad de enfoques y áreas de estudio relacionadas con el problema, lo que nos permite abordarlo desde una perspectiva multidisciplinaria amplia. Al tener un conocimiento generalizado sobre el problema, podemos analizar todas las perspectivas y considerar diferentes factores que podrían estar contribuyendo a él. Esto es especialmente importante en problemas complejos y multifactoriales, ya que nos permite tener una comprensión más profunda del problema y encontrar soluciones más efectivas.

En el proceso de investigación, se abordaron las aristas del problema para llegar al centro de éste y plantear una solución integral desde un enfoque situado en las ciencias aplicadas en una proyección hacia el desarrollo tecnológico usando infraestructura TIC. Esto nos permitirá construir una solución innovadora y efectiva para abordar el problema. Es importante señalar que esta solución no solo será tecnológicamente avanzada, sino también considerando todos los factores sociales y ambientales relacionados con el problema.

Esto permite que los tópicos y las investigaciones desarrolladas proporcionan una base sólida para el desarrollo de nuestra propuesta de investigación, permitiendo abordar el problema desde una perspectiva multidisciplinaria amplia y encontrar una solución integral y efectiva.

Justificación y objetivos

2.1 | Justificación

El proyecto plantea una propuesta para la evolución de los ambientes de interacción social, que, durante el periodo de aislamiento social (pandemia COVID – 19) perdieron su importancia y se reemplazaron en espacios de encuentro de manera remota, esto contribuyó a que las personas desarrollaran ambientes adaptados a sus necesidades, condiciones como la luz, la temperatura, la humedad pudieron ser controladas de manera particular y crear ambientes confortables [30].

La comodidad o confort es importante para las personas por varias razones. En primer lugar, ayuda a reducir el estrés y la ansiedad, lo que puede mejorar la salud mental y física. Además, el confort físico, como tener una temperatura adecuada, una postura cómoda y un ambiente tranquilo, puede ayudar a mejorar la productividad y el rendimiento en el trabajo o en las tareas cotidianas. También puede mejorar la calidad del sueño y el bienestar general [30]).

Al momento de reanudar la nueva realidad, las personas se vieron obligadas de ir de los ambientes que habían construido que eran íntimos, a espacios personales, espacios sociales y la apertura de los espacios públicos, donde al tener más personas en un espacio de encuentro, las diferentes miradas de lo que son los parámetros de control del espacio generaron malestar o frustración (ver figura 2.1.



Figura 2.1. Pérdida del confort de pasar de ambientes íntimos a espacios públicos.

Estudios por parte de la Comisión Económica Para la América Latina (CEPAL), en el año 2022 establecieron en el diagnóstico del nivel de percepción de las condiciones de la presión social en las personas, análisis pre y post pandemia muestra que después del nuevo retorno las personas sienten mayor presión por estar en espacios sociales y ello acarrea consecuencias (ver figura 2.2).

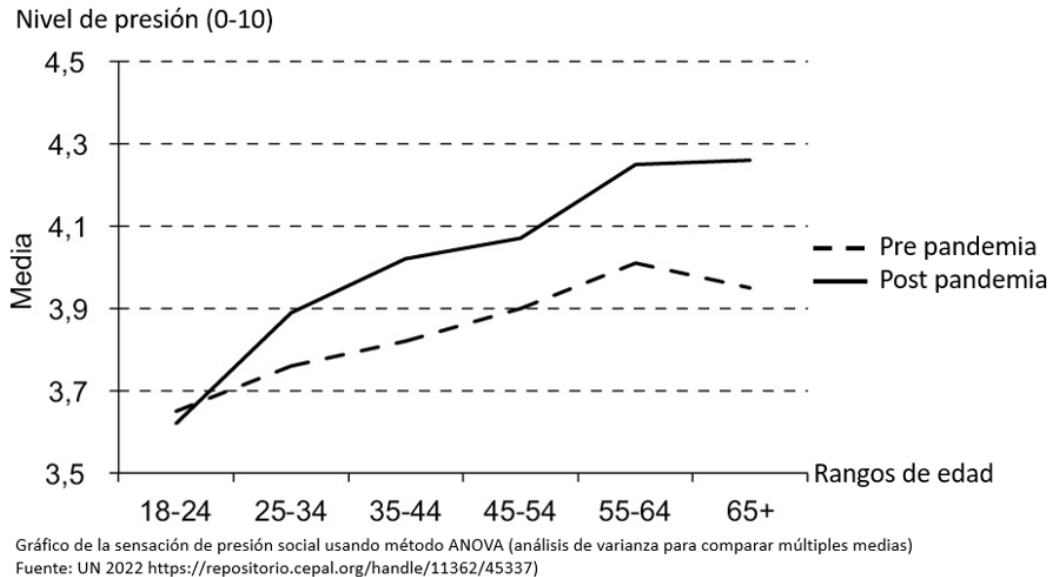


Figura 2.2. Sensación de presión social

Desde la concepción del estudio y los ejes de la figura 2.2, se analiza que es un fenómeno transgeneracional que se marca una visible separación de los resultados en el rango de los 18 – 24 años, el gráfico muestra que es clara la existencia de un nuevo fenómeno social que desde la tecnología podría aportar capacidades a los ambientes para disminuir estas percepciones y el uso de la tecnología más allá de una herramienta para suplir o solucionar una necesidad particular.

Las capacidades en los ambientes se pueden cambiar por que aplicaciones como la tecnología computacional ha experimentado un gran avance desde sus inicios hasta el surgimiento de Internet de las cosas (IoT) [59].

Algunos de los avances más significativos incluyen:

- Progreso en los procesadores: Los procesadores han evolucionado de ser dispositivos de tamaño grande y costosos a ser pequeños y económicos, con una mayor velocidad y capacidad de procesamiento. Esto ha permitido la creación de dispositivos computacionales más pequeños y accesibles.
- Desarrollo de sistemas operativos: Los sistemas operativos han evolucionado de ser sistemas de tiempo compartido a ser sistemas multitarea, lo que ha permitido una mayor eficiencia en el uso de los recursos de la computadora.
- Mejoras en la memoria: La memoria ha evolucionado de ser dispositivos de almacenamiento de baja capacidad a tener capacidades de almacenamiento masivas, permitiendo el almacenamiento de una gran cantidad de información.

- Avances en la comunicación: Con el surgimiento de internet y la tecnología de redes, las computadoras han podido conectarse entre sí y compartir información de manera eficiente.
- Aparición de dispositivos conectados: Con el avance de la tecnología inalámbrica y la miniaturización de los dispositivos electrónicos, se ha permitido la conectividad de una gran cantidad de dispositivos, dando lugar al surgimiento de IoT.
- Aumento de la inteligencia artificial: Los avances en inteligencia artificial (IA) han permitido que las computadoras sean capaces de aprender y mejorar continuamente, permitiendo el desarrollo de sistemas autónomos y la automatización de procesos complejos.
- Uso eficiente de la energía eléctrica: La tendencia de crecimiento poblacional y las necesidades cada vez mayores en el consumo de energía eléctrica plantea una necesidad de hacer un uso racional y adecuado.

La posibilidad de uso de redes neuronales en sistemas masivos, desde la tecnología computacional hasta el IoT, se ha avanzado en un gran número de áreas, incluyendo procesamiento, almacenamiento, comunicación e inteligencia artificial, lo que ha permitido el desarrollo de una gran cantidad de dispositivos y sistemas conectados, con el objetivo de hacer nuestra vida más fácil y eficiente [60]. Esta capacidad tecnológica ha resuelto problemas particulares y desde los ámbitos sociales podría resolver la manera en que la tecnología contribuye al desarrollo de las actividades en entornos diferentes, permitiendo el confort como elemento adaptable a las necesidades individuales o de un grupo de personas como elemento de interacción directa y bidireccional, midiendo las condiciones del entorno y a través de los sentidos orientar las personas en un ambiente reconfigurable [61].

El enorme ámbito de aplicación y su desarrollo no necesariamente implica modificaciones mayores en la infraestructura. y sugiere que las comunidades produzcan cambios en la base llevando una propuesta que permite la integración de elementos propios de la tecnología IoT [62], los procesos sociales que se desarrollen en los entornos de aplicación, llevados a diferentes contextos, permiten que los entornos tengan elementos interactivos que puedan contribuir a los procesos desde dos condiciones particulares, la primera generando un estímulo auditivo y visual que puede ser usado en la participación activa de los asistentes, la segunda que el estímulo promueva la tranquilidad, una regulación del comportamiento, haciendo de los ambientes espacios adecuados para el desarrollo de las habilidades sociales con elementos interactivos interconectados [9].

2.2 | Objetivos

Desarrollar un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AIoT para regular el comportamiento.

2.2.1. Objetivos específicos

- Analizar las condiciones tecnológicas actuales para el desarrollo de una propuesta innovadora en los materiales que la componen y en la interconexión de los mismos.
- Diseñar un sistema de instrumentación con tecnología IoT, para la medición de los niveles de intensidad de sonido, nivel de iluminación, temperatura y humedad, que permita registrar los datos y acceder a ellos en tiempo real.

- Construir un sistema de interacción auditivo y visual con el público objetivo, para modificar las condiciones del entorno como estímulo – respuesta que contribuya de manera positiva a cambios en el comportamiento.
- Evaluar las condiciones de funcionamiento del sistema y su contribución al comportamiento planeado.

Este capítulo recoge las bases sobre la cual se construye la investigación y en adelante encontrará: los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la propuesta, los resultados de la investigación, la discusión y análisis de los alcances y las conclusiones.

Material y métodos

3.1 | Marco teórico

3.1.1. Modelo de comportamiento

El modelo de comportamiento de Ajzen, también conocido como el modelo de creencias de la actitud, es un marco teórico utilizado en psicología social para explicar la relación entre las creencias, las actitudes y el comportamiento humano. Este modelo ha sido ampliamente utilizado en la investigación sobre la toma de decisiones, la persuasión y el cambio de comportamiento en una variedad de contextos, como la salud, el medio ambiente, la política y el consumo.

El modelo de comportamiento de Ajzen se basa en la idea de que las actitudes de una persona hacia un comportamiento determinado se forman a través de la evaluación de las creencias que tienen acerca de las consecuencias del comportamiento y la importancia de esas consecuencias. En otras palabras, las actitudes son el resultado de una valoración cognitiva que se hace sobre los comportamientos, ya sea positiva o negativa.

El modelo de Ajzen también sostiene que las actitudes de una persona hacia un comportamiento en particular son solo una parte del proceso que lleva a la acción. Para que se produzca un comportamiento, se necesitan tres factores adicionales: la norma subjetiva, la percepción del control comportamental y la intención conductual.

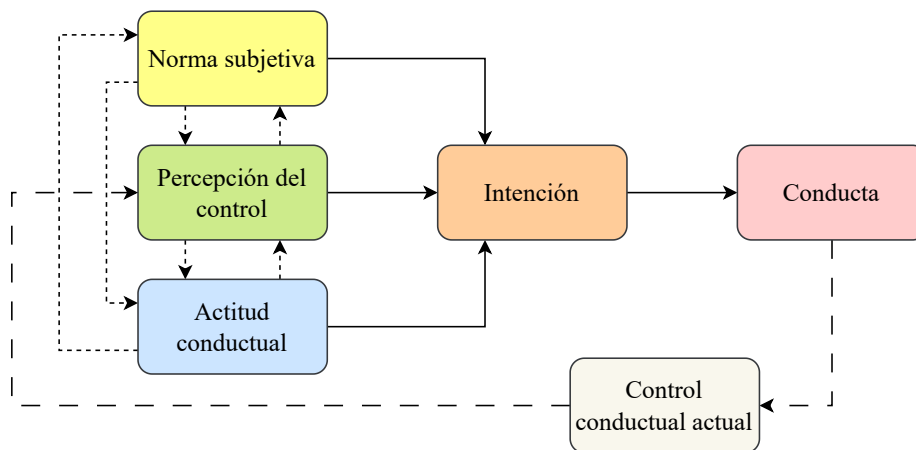


Figura 3.1. Modelo del comportamiento Ajzen de la teoría de conducta planificada

Normal Subjetiva

La norma subjetiva se refiere a la influencia social que percibe una persona en relación con su comportamiento. Es decir, la percepción que tiene de la presión social que puede ejercer su entorno sobre sus acciones. Esto puede incluir la opinión de amigos, familiares, colegas o la sociedad en general. La norma subjetiva puede afectar la intención de una persona de llevar a cabo un comportamiento, incluso si sus actitudes hacia ese comportamiento son favorables.

Percepción del control

La percepción del control comportamental se refiere a la creencia de una persona en su capacidad para llevar a cabo un comportamiento. Esto incluye tanto las habilidades y recursos necesarios para realizar el comportamiento, como la percepción de que se cuenta con la capacidad para superar las barreras que se puedan presentar. Si una persona cree que tiene el control para llevar a cabo un comportamiento, es más probable que tenga la intención de hacerlo.

Actitud conductual

La actitud conductual es la motivación para tomar una decisión de una persona de llevar a cabo un comportamiento en particular. Esta intención se basa en las actitudes de la persona hacia el comportamiento, la norma subjetiva y la percepción del control comportamental. La actitud conductual se considera el mejor predictor del comportamiento real, aunque no siempre se traduce en una acción concreta.

En el modelo de comportamiento de Ajzen, estos tres factores interactúan entre sí para producir una conducta determinada. En la figura 3.1 ilustra esta interacción.

La flecha que va desde las creencias a las actitudes indica que las creencias influyen en la formación de las actitudes. Las flechas que van desde las actitudes a la intención conductual indican que las actitudes influyen en la decisión de llevar a cabo un comportamiento. La flecha que va desde la norma subjetiva a la intención conductual indica que la influencia social también puede afectar la intención de una persona de realizar un comportamiento. Finalmente, la flecha que va desde la percepción del control comportamental a la intención conductual indica que la creencia en la capacidad de controlar el comportamiento también puede afectar la intención de llevar a cabo un comportamiento.

Es importante destacar que el modelo de comportamiento de Ajzen no sugiere que estos factores operen de manera independiente. De hecho, las interacciones entre ellos pueden ser complejas y pueden variar según el contexto y las características de la persona. Además, el modelo no aborda los factores emocionales, motivacionales y culturales que también pueden influir en el comportamiento humano.

Para ilustrar cómo funciona el modelo de comportamiento de Ajzen en la práctica, se puede considerar el ejemplo de una persona que está considerando adoptar una dieta vegetariana. La figura 3.2 continuación muestra cómo se aplicaría el modelo de Ajzen en este caso:

En este ejemplo, la persona ha formado creencias sobre los beneficios ambientales, de salud y éticos de adoptar una dieta vegetariana. Estas creencias han llevado a la formación de una actitud positiva hacia la dieta

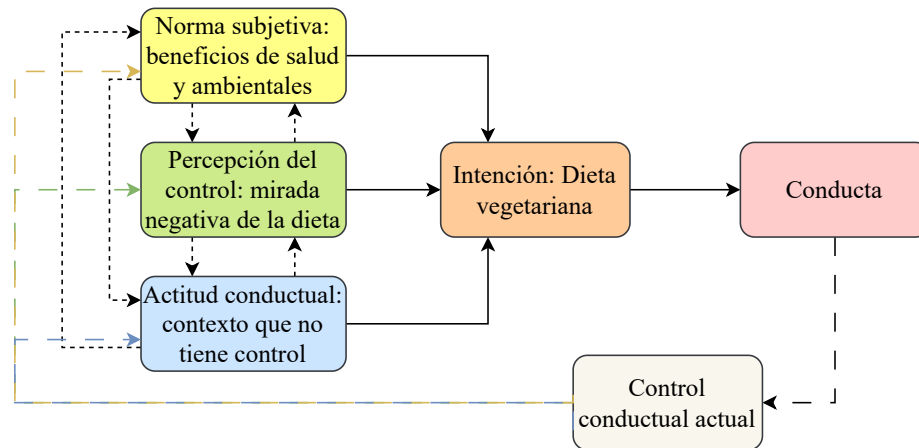


Figura 3.2. Ejemplo del modelo de comportamiento de Ajzen

vegetariana. Sin embargo, la persona también percibe que sus amigos y familiares tienen una norma subjetiva negativa hacia la dieta vegetariana, lo que puede disminuir su intención de adoptarla. Además, la persona puede sentir que no tiene el control suficiente sobre su entorno para mantener una dieta vegetariana, lo que también puede disminuir su intención de llevar a cabo el comportamiento.

El modelo de comportamiento de Ajzen es una herramienta útil para comprender la relación entre las creencias, las actitudes y el comportamiento humano. Este modelo destaca la importancia de considerar los factores cognitivos y sociales que influyen en la toma de decisiones y la intención de llevar a cabo un comportamiento. Sin embargo, este modelo no es una explicación completa del comportamiento humano, ya que no aborda los factores emocionales, motivacionales y culturales que también pueden influir en nuestras acciones.

El modelo de comportamiento de Ajzen destaca la importancia de los factores externos que pueden influir en el comportamiento humano. A continuación, se describen algunos de los parámetros externos que pueden tener un efecto sobre las creencias, actitudes y normas subjetivas de una persona, y por lo tanto, sobre su intención de llevar a cabo un comportamiento:

Las normas sociales son las expectativas que la sociedad tiene sobre cómo las personas deben comportarse en determinadas situaciones. Estas normas pueden ser explícitas o implícitas, y pueden variar según la cultura y el contexto social. Las normas sociales pueden influir en la formación de las creencias y actitudes de una persona, y pueden hacer que ciertos comportamientos sean más aceptables o inaceptables.

La influencia social se refiere a la capacidad que tienen otras personas para influir en el comportamiento de una persona. Esto puede incluir la influencia de amigos, familiares, compañeros de trabajo o líderes de opinión. La influencia social puede afectar las normas subjetivas de una persona y, por lo tanto, su intención de llevar a cabo un comportamiento.

Las características del contexto, como el entorno físico, la disponibilidad de recursos y la accesibilidad de los servicios, pueden influir en el comportamiento de una persona. Por ejemplo, si una persona vive en una zona donde hay poca disponibilidad de alimentos saludables, es menos probable que adopte una dieta saludable. Además, las restricciones o facilitaciones en el entorno pueden afectar la capacidad de una persona para llevar a cabo ciertos comportamientos.

Los factores culturales, como los valores, creencias y normas de una cultura, pueden influir en las creencias y actitudes de una persona. Las diferencias culturales pueden llevar a que ciertos comportamientos sean más o menos aceptables en diferentes culturas, lo que puede afectar la intención de una persona de llevar a cabo un comportamiento.

Las experiencias previas de una persona pueden influir en su comportamiento actual. Las experiencias positivas o negativas pueden afectar las creencias, actitudes y normas subjetivas de una persona y, por lo tanto, su intención de llevar a cabo un comportamiento.

Es importante destacar que estos factores externos pueden interactuar entre sí y pueden variar según la persona y el contexto. El modelo de comportamiento de Ajzen sugiere que estos factores externos pueden influir en las creencias, actitudes y normas subjetivas de una persona, lo que a su vez puede afectar la intención de llevar a cabo un comportamiento.

Además, es importante señalar que los factores externos pueden afectar diferentes componentes del modelo de comportamiento de Ajzen. Por ejemplo, las normas sociales pueden influir en la norma subjetiva de una persona, mientras que la accesibilidad de los servicios puede afectar la percepción de control conductual.

En algunos casos, los factores externos pueden ser más importantes que los factores internos en la predicción del comportamiento. Por ejemplo, una persona puede tener una actitud positiva hacia el reciclaje, pero si no hay contenedores de reciclaje disponibles en su vecindario, es menos probable que recicle. En otros casos, los factores internos pueden ser más importantes. Por ejemplo, una persona puede tener una norma subjetiva negativa hacia el uso de drogas, pero si sus amigos la presionan para usar drogas, es más probable que lo haga.

El modelo de comportamiento de Ajzen no sugiere que los factores externos siempre tengan un efecto directo sobre el comportamiento. En cambio, los factores externos pueden influir en las creencias, actitudes y normas subjetivas de una persona, lo que puede afectar su intención de llevar a cabo un comportamiento. Además, la relación entre los factores externos y el comportamiento puede ser moderada por los factores internos.

De esta manera el modelo muestra la capacidad que tienen los factores externos y que pueden tener un efecto significativo en el comportamiento humano y deben ser considerados al aplicar el modelo de comportamiento de Ajzen. Los factores externos pueden influir en las creencias, actitudes y normas subjetivas de una persona, lo que a su vez puede afectar la intención de llevar a cabo un comportamiento. Sin embargo, la relación entre los factores externos y el comportamiento puede ser compleja y debe ser evaluada en función del contexto y las características individuales de la persona.

3.1.2. Respuesta neurológica a estímulos

El cerebro responde a señales externas mediante una serie de procesos complejos que implican la transmisión de señales eléctricas y la activación de diferentes áreas y redes neuronales ver figura 3.3. Las investigaciones sobre el cerebro y su respuesta a los incentivos son analizadas a través de diferentes técnicas de imágenes médicas. En la imagen se ve las zonas del cerebro que se activan cuando un incentivo se presenta. La actividad cerebral tiene varios estados cuando se somete a un evento externo, incluido los sentidos, esto produce la respuesta del cerebro a los estímulos. En general estos estados son:

Recepción del estímulo: Los estímulos externos, ya sean visuales, auditivos, táctiles u olfativos, son capta-

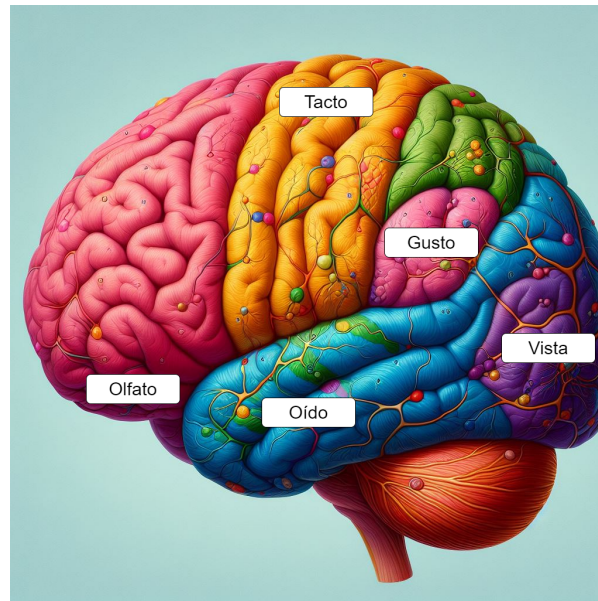


Figura 3.3. Zonas cerebrales que se activan con cada uno de los sentidos

dos por los órganos sensoriales correspondientes (ojos, oídos, piel, nariz, etc.).

Transducción: Los órganos sensoriales convierten los estímulos en señales eléctricas. Por ejemplo, en el caso de la visión, los fotorreceptores en la retina convierten la luz en señales eléctricas, y en el caso de la audición, las células ciliadas en el oído interno convierten las vibraciones sonoras en señales eléctricas.

Transmisión de las señales: Las señales eléctricas generadas por los estímulos se transmiten a través de redes de neuronas en el sistema nervioso. Estas señales pueden viajar a través de nervios periféricos hacia la médula espinal y luego hacia el cerebro, o pueden conectarse directamente con estructuras cerebrales cercanas.

Procesamiento en el cerebro: Una vez que las señales llegan al cerebro, se produce un procesamiento más complejo. Diferentes regiones del cerebro se activan en respuesta a los estímulos específicos. Por ejemplo, en el caso de la visión, las señales visuales se procesan en áreas como el lóbulo occipital, que es responsable del procesamiento primario de la información visual. Luego, las señales se envían a otras áreas especializadas, como el lóbulo temporal para el reconocimiento facial o el lóbulo parietal para la percepción del movimiento.

Integración de la información: El cerebro integra la información de diferentes sentidos y regiones cerebrales para formar una experiencia perceptual completa y coherente. Por ejemplo, cuando vemos un objeto y lo escuchamos, el cerebro integra la información visual y auditiva para identificar y comprender ese objeto.

Generación de una respuesta: Como resultado del procesamiento de los estímulos, el cerebro genera una respuesta adaptativa. Esta respuesta puede implicar acciones motoras, como moverse en respuesta a un estímulo visual o auditivo, o puede implicar respuestas cognitivas y emocionales, como el reconocimiento y la interpretación de los estímulos.

Este proceso de respuesta a los estímulos es altamente complejo y está influenciado por factores como la atención, las experiencias pasadas y la plasticidad neuronal. Además, cada individuo puede tener respuestas distintas a los mismos estímulos debido a diferencias en la percepción y el procesamiento cerebral.

El modelo de Ajzen se refiere a la Teoría de la Acción Razonada (TRA) y la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB), que explican cómo los estímulos y las creencias influyen en las actitudes, las intenciones y los comportamientos de las personas. En relación con las emociones y el comportamiento, el modelo de Ajzen sugiere que los estímulos pueden afectar tanto las creencias y actitudes como las emociones, y estas a su vez pueden influir en las intenciones y el comportamiento de una persona.

Según el modelo de Ajzen, los estímulos pueden influir en las creencias, las actitudes y las emociones de una persona, lo cual a su vez puede afectar las intenciones y el comportamiento. Las emociones desempeñan un papel importante en este proceso, ya que pueden generar respuestas afectivas que influyen tanto.

Cuando un estímulo externo afecta al cerebro, se desencadenan una serie de procesos que pueden influir en el cambio de comportamiento ver figura 3.4. Estos procesos implican la activación y modulación de diversas áreas y sistemas cerebrales.

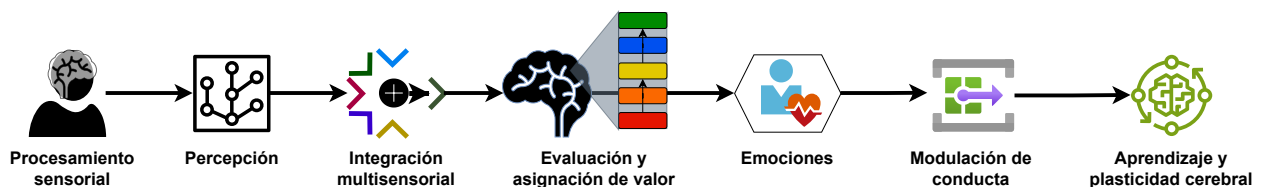


Figura 3.4. Secuencia de procesos que influyen en el comportamiento desde el sensitivo hasta el aprendizaje

Algunos aspectos clave de lo que sucede en el cerebro para cambiar el comportamiento a través de los estímulos se puede describir:

Procesamiento sensorial: Cuando un estímulo llega a los órganos sensoriales, como los ojos o los oídos, se activan las vías sensoriales correspondientes. Las señales sensoriales se transmiten a través de estas vías hacia el cerebro.

Percepción: En el cerebro, las señales sensoriales son procesadas y percibidas. Las áreas cerebrales relacionadas con los sentidos correspondientes (visión, audición, tacto, etc.) reciben y procesan la información específica del estímulo.

Integración multisensorial: En muchas situaciones, múltiples estímulos de diferentes sentidos se presentan simultáneamente. El cerebro tiene la capacidad de integrar información de diferentes sentidos para generar una representación completa de la situación. Esto implica la comunicación entre diferentes áreas cerebrales especializadas en la integración multisensorial.

Evaluación y asignación de valor: Una vez que los estímulos son procesados y percibidos, el cerebro evalúa su relevancia y asigna un valor a los mismos. Esto implica la activación de áreas cerebrales relacionadas con la toma de decisiones y la evaluación de recompensas y riesgos, como la corteza prefrontal y el sistema de recompensa.

Emociones: Los estímulos también pueden desencadenar respuestas emocionales en el cerebro. Las áreas cerebrales involucradas en la regulación emocional, como la amígdala y la corteza cingulada, se activan y generan respuestas emocionales asociadas con los estímulos.

Modulación de la conducta: La información sensorial, la percepción, la evaluación de valor y las respuestas emocionales influyen en la modulación de la conducta. El cerebro activa áreas relacionadas con la planificación y la ejecución de acciones, como la corteza motora y el sistema de control motor, para generar una respuesta comportamental apropiada en función de los estímulos percibidos y evaluados.

Aprendizaje y plasticidad cerebral: Los estímulos y las respuestas comportamentales asociadas también pueden dar lugar a cambios en el cerebro a través del aprendizaje y la plasticidad neuronal. La repetición de ciertos comportamientos en respuesta a estímulos específicos puede fortalecer las conexiones sinápticas y modificar la estructura y función de las áreas cerebrales involucradas.

El cambio de comportamiento a través de los estímulos involucra una compleja interacción entre las vías sensoriales, las áreas cerebrales de procesamiento sensorial y cognitivo, las respuestas emocionales y la modulación de la conducta. Estos procesos son fundamentales para adaptarnos al entorno y responder de manera adecuada a los estímulos que recibimos.

3.1.3. Potencial Positivo Tardío

El Potencial Positivo Tardío (PPT) es una respuesta electroencefalográfica que se produce aproximadamente entre 300 y 800 milisegundos después de la presentación de un estímulo. Se ha encontrado que el PPT está asociado con procesos cognitivos y emocionales, y desempeña un papel importante en la modulación del comportamiento.

El PPT ha sido ampliamente estudiado en el contexto de la atención, la evaluación emocional y la toma de decisiones. Este muestra la actividad cerebral frente a un estímulo externo o interno y su influencia dentro del comportamiento tiene algunos aspectos claves como:

Evaluación emocional: El PPT se ha relacionado con la evaluación y procesamiento emocional de los estímulos. Se ha observado que el PPT es más pronunciado cuando se presentan estímulos emocionalmente relevantes, como imágenes o palabras con contenido emocional. Esto sugiere que el PPT puede reflejar la actividad cerebral asociada con la evaluación y respuesta emocional a los estímulos.

Orientación atencional: El PPT también se ha asociado con la atención selectiva y la orientación atencional hacia los estímulos relevantes. Se ha encontrado que el PPT es más fuerte cuando los estímulos requieren una mayor atención y procesamiento cognitivo. Esto indica que el PPT puede reflejar la asignación de recursos atencionales y la preparación para responder a los estímulos.

Procesamiento de la información relevante: El PPT ha demostrado estar relacionado con la evaluación y procesamiento de información relevante para la toma de decisiones. Por ejemplo, en tareas de toma de decisiones, el PPT ha mostrado ser más pronunciado cuando se presentan estímulos que contienen información importante para la elección. Esto sugiere que el PPT puede estar implicado en la evaluación y procesamiento de la relevancia de los estímulos para el comportamiento.

Regulación cognitiva y control ejecutivo: Se ha sugerido que el PPT está asociado con procesos de regulación cognitiva y control ejecutivo. El PPT puede reflejar la actividad cerebral relacionada con la evaluación y la adaptación de las respuestas cognitivas y emocionales en función de las demandas de la tarea. Esto implica que el PPT puede desempeñar un papel en la modulación del comportamiento a través del control ejecutivo.

El Potencial Positivo Tardío (PPT) está relacionado con la evaluación emocional, la orientación atencional, el procesamiento de la información relevante y la regulación cognitiva. Estos procesos cognitivos y emocionales influyen en el comportamiento al modificar la forma en que percibimos, evaluamos y respondemos a los estímulos del entorno. El PPT proporciona una medida neurofisiológica útil para comprender estos procesos y su relación con el comportamiento.

El Potencial Positivo Tardío (PPT) es una respuesta electrofisiológica que se ha investigado ampliamente en la neurociencia cognitiva. Existen diferentes modelos matemáticos que se han propuesto para describir y analizar el PPT.

Modelo de Difusión Ajustada: Este modelo se basa en la teoría de difusión de la toma de decisiones y propone que el PPT refleja el proceso de acumulación de evidencia para tomar una decisión. El modelo de Difusión Ajustada asume que el PPT es generado por la actividad de un proceso de decisión que integra y acumula información a lo largo del tiempo hasta que se alcanza un umbral de decisión ver figura 3.5.

La fórmula del modelo de Difusión Ajustada es:

$$PPT(t) = A \cdot \Phi\left(\frac{t - T_0}{\sigma}\right) + B \cdot \Phi\left(\frac{t - T_0}{\sigma}\right)$$

Donde:

PPT(t) es el Potencial Positivo Tardío en el tiempo

A son los parámetros que representan la tasa de acumulación de evidencia

B son los parámetros que representan el umbral de decisión

Φ es la función de distribución acumulada de la distribución normal.

T_0 es el momento en el que se presenta el estímulo.

σ es el parámetro que controla la variabilidad de la acumulación de evidencia.

Los parámetros del modelo, como la tasa de acumulación de evidencia y el umbral de decisión, pueden ser ajustados para ajustarse a los datos observados del PPT.

Modelo de Inhibición de Respuesta: Este modelo sugiere que el PPT refleja la activación de una respuesta seguida de la inhibición de esa respuesta ver figura 3.6. Se propone que el PPT surge de la interacción entre una señal de activación y una señal de inhibición, y la amplitud del PPT está relacionada con la fuerza relativa de estas dos señales.

La fórmula del modelo de Inhibición de Respuesta es:

$$PPT(t) = A \cdot e^{-\lambda_1 t} - B \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

Donde:

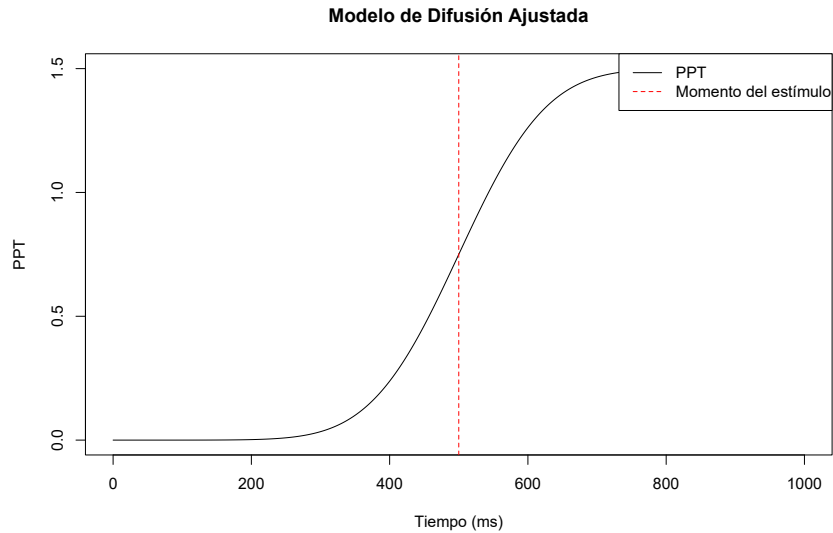


Figura 3.5. Modelo de difusión ajustada

PPT(t) es el Potencial Positivo Tardío en el tiempo

A son los parámetros que representan la amplitud de la señal de activación

B son los parámetros que representan la amplitud de la señal de inhibición

λ_1 son los parámetros que controlan las tasas de decaimiento de la señal de activación

λ_1 son los parámetros que controlan las tasas de decaimiento de la señal de inhibición

Este modelo se basa en la idea de que el PPT está involucrado en la regulación y control de la respuesta, especialmente en situaciones donde se requiere la inhibición de una respuesta prepotente.

Modelo de Procesamiento Diferencial: Este modelo asume que el PPT refleja diferentes procesos de procesamiento cognitivo y emocional que ocurren simultáneamente ver figura 3.7. Propone que el PPT es generado por diferentes fuentes o generadores que representan diferentes aspectos del procesamiento cognitivo y emocional.

La fórmula del modelo de Procesamiento Diferencial es:

$$PPT(t) = A \cdot f_1(t) + B \cdot f_2(t)$$

Donde:

PPT(t) es el Potencial Positivo Tardío en el tiempo

A y B son los parámetros que representan la contribución de los diferentes generadores del PPT.

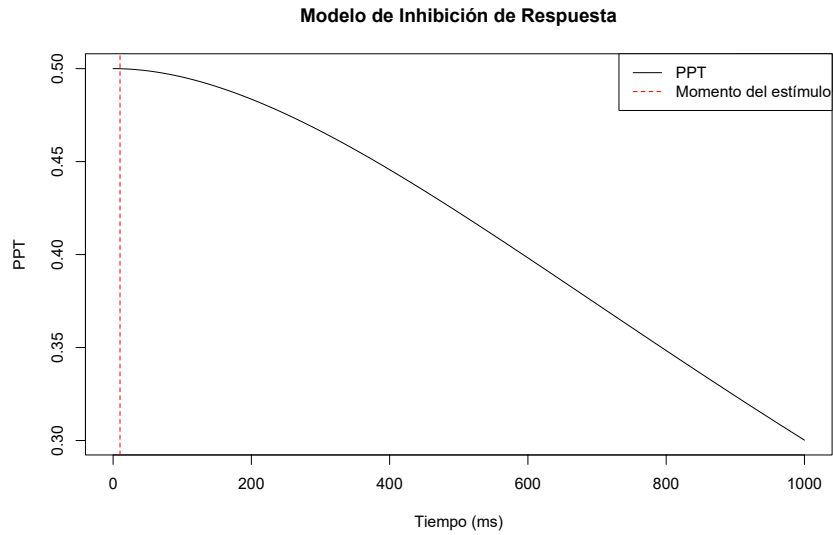


Figura 3.6. Modelo de inhibición de respuesta

$f_{1,2}(t)$ son las funciones que representan las fuentes generadoras del PPT, que pueden ser funciones específicas según el contexto y los aspectos del procesamiento cognitivo y emocional considerados.

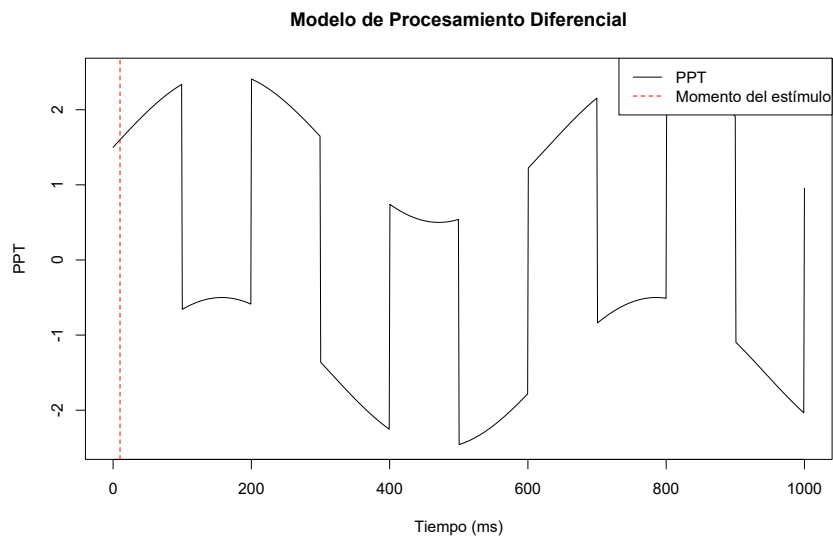


Figura 3.7. Modelo de procesamiento diferencial

Por ejemplo, se ha sugerido que el PPT puede ser generado por situaciones relacionadas como la atención y la evaluación emocional. La función que representa este modelo es una combinación lineal de estas diferentes fuentes generadoras.

Estos modelos son simplificaciones y aproximaciones de la complejidad del PPT y su relación con los procesos cognitivos y emocionales. Cada modelo tiene sus supuestos y parámetros específicos que pueden variar según el contexto y los datos observados. Además, el PPT puede ser influenciado por una variedad de factores y su interpretación puede ser objeto de debate en la literatura científica.

El Potencial Positivo Tardío (PPT) puede variar en amplitud y características dependiendo del tipo de estímulo, ya sea visual o auditivo. Los estudios han encontrado que existen diferencias en la respuesta del PPT ante estímulos visuales y auditivos.

En general, se ha observado que el PPT generado por estímulos visuales tiende a tener una mayor amplitud y una forma más prolongada en comparación con los estímulos auditivos. Esto puede deberse a las diferencias en los procesos de procesamiento neural y las características de los sistemas sensoriales involucrados.

El PPT en respuesta a estímulos visuales se ha relacionado con procesos cognitivos como la atención selectiva, la evaluación emocional y la toma de decisiones visuales. Por otro lado, el PPT en respuesta a estímulos auditivos se ha asociado con procesos de procesamiento auditivo y la evaluación de la relevancia emocional del sonido.

El PPT puede ser influenciado por varios factores, como la intensidad, la duración y la complejidad del estímulo, así como las características individuales del sujeto. Por lo tanto, es posible que la respuesta del PPT varíe en función de estas condiciones y que existan diferencias individuales en la forma en que el cerebro procesa y responde a los estímulos visuales y auditivos.

Aunque tanto los estímulos visuales como los auditivos pueden generar un PPT, es probable que haya diferencias en la amplitud y la forma de la respuesta del PPT según el tipo de estímulo utilizado. Estas diferencias reflejan los distintos procesos cognitivos y sensoriales involucrados en el procesamiento de la información visual y auditiva en el cerebro.

No hay un tiempo específico que se considere “adecuado” para generar un estímulo que pueda afectar el comportamiento, ya que esto depende del contexto y del objetivo deseado. Sin embargo, hay algunas consideraciones generales que puedes tener en cuenta:

Duración del estímulo: La duración del estímulo debe ser suficiente para permitir que el sistema nervioso y el cerebro procesen la información de manera adecuada. En algunos casos, estímulos breves pueden tener un efecto inmediato, mientras que en otros casos, estímulos más prolongados pueden ser necesarios para producir cambios significativos en el comportamiento.

Momento temporal: El momento en el que se presenta el estímulo también es importante. En muchos casos, se busca presentar el estímulo en el momento óptimo en el que se espera que tenga el mayor impacto en el comportamiento. Esto puede implicar presentar el estímulo antes de una tarea específica, durante un evento relevante o en respuesta a ciertos estímulos desencadenantes.

Repetición y frecuencia: En algunos casos, la repetición y la frecuencia de los estímulos pueden ser necesarias para generar un impacto en el comportamiento. Los estímulos repetidos pueden tener un efecto acumulativo y facilitar cambios más duraderos en el comportamiento.

El impacto de un estímulo en el comportamiento puede variar según el individuo y su contexto. Algunas personas pueden ser más sensibles a ciertos estímulos o pueden requerir una exposición más prolongada para generar un cambio observable en su comportamiento.

En general, es recomendable diseñar experimentos o intervenciones que permitan controlar y manipular de manera sistemática los estímulos presentados, y evaluar los efectos a corto y largo plazo en el comportamiento. Esto puede requerir la realización de estudios científicos rigurosos y la recopilación de datos objetivos para evaluar los efectos de los estímulos en el comportamiento de manera confiable.

El tiempo adecuado para generar un estímulo que haga desistir a un grupo de personas de una respuesta caótica puede variar dependiendo de varios factores, como la naturaleza del estímulo, la intensidad, la duración y la situación específica en la que se encuentre el grupo. No hay un tiempo exacto que pueda garantizar resultados consistentes en todos los casos, ya que cada situación es única.

Sin embargo, existen algunas estrategias que pueden ser efectivas para influir en el comportamiento de un grupo y reducir una respuesta caótica:

Rápida intervención: Si se detecta una situación caótica en su fase inicial, intervenir de manera rápida y enérgica puede ser crucial para interrumpir el comportamiento negativo y redirigir la atención del grupo hacia algo más constructivo. Una acción o estímulo impactante puede ayudar a captar la atención y romper el ciclo de la respuesta caótica.

Estímulo disruptivo: Presentar un estímulo disruptivo, como un sonido fuerte, una luz brillante o una acción inesperada, puede interrumpir el comportamiento caótico y captar la atención del grupo. Este tipo de estímulos puede romper la dinámica negativa y permitir que se restablezca un mayor grado de control y atención.

Comunicación efectiva: Utilizar mensajes claros, persuasivos y convincentes puede influir en la manera en que el grupo percibe la situación y en su comportamiento. Un discurso o mensaje impactante, entregado de manera adecuada, puede cambiar la perspectiva del grupo y fomentar la adopción de un comportamiento más ordenado y controlado.

Cada situación y grupo de personas es único, y lo que funciona en un contexto puede no funcionar en otro. La comprensión de la dinámica del grupo, el conocimiento del entorno y la capacidad para adaptarse a la situación son aspectos importantes a considerar al determinar el tiempo y el tipo de estímulo necesario para influir en el comportamiento de un grupo y reducir una respuesta caótica.

3.1.4. Internet de las Cosas(IoT)

La historia del Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se remonta a varias décadas atrás. Es un concepto relacionado con los servicios de logística que se empieza a masificar debido a la disminución del recio y del tamaño de los equipos terminales y una creciente capacidad de interconexión inalámbrica.

Orígenes del IoT: El concepto de conectar dispositivos y objetos a través de redes de comunicación se remonta a la década de 1970, cuando se desarrollaron los primeros dispositivos programables y sensores. Sin embargo, el término "Internet de las cosas" fue acuñado por Kevin Ashton en 1999, quien lo definió como la idea de conectar objetos del mundo físico a Internet.

Conceptos técnicos del IoT: El IoT se basa en la interconexión de dispositivos, sensores y objetos físicos a través de redes de comunicación, permitiendo la recopilación y el intercambio de datos entre ellos. Estos dispositivos suelen estar equipados con sensores, actuadores y capacidades de conectividad, lo que les permite recopilar información del entorno y comunicarse con otros dispositivos o sistemas. Los datos recopilados se pueden ana-

lizar y utilizar para tomar decisiones, automatizar procesos o mejorar la eficiencia en diferentes ámbitos, como la industria, la salud, la domótica, el transporte, entre otros.

Referencias de uso del IoT: El IoT se ha aplicado en una amplia variedad de campos. Algunos ejemplos de uso son la domótica y hogar inteligente usado para controlar y automatizar dispositivos en el hogar, como termostatos, luces, electrodomésticos y sistemas de seguridad.

Evolución en cantidad y uso de dispositivos: El número de dispositivos conectados a Internet ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años. Según estimaciones de diferentes fuentes, se espera que el número de dispositivos IoT alcance varios miles de millones en los próximos años. La evolución en el uso de dispositivos IoT ha ido más allá de los tradicionales dispositivos como teléfonos inteligentes y computadoras. Ahora, se incluyen una amplia variedad de objetos cotidianos, como electrodomésticos, relojes, automóviles, cámaras, sensores ambientales, dispositivos médicos y mucho más (ver figura 3.8).



Figura 3.8. Evolución y campos de aplicación del IoT

La tecnología subyacente también ha evolucionado para adaptarse a las necesidades del IoT, como el desarrollo de redes de comunicación de baja potencia y largo alcance (LPWAN, por sus siglas en inglés), protocolos de comunicación específicos para IoT, como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) y CoAP (Constrained Application Protocol), y el desarrollo de plataformas y herramientas de gestión de datos para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información generada por los dispositivos IoT.

Además, el IoT ha experimentado avances en términos de seguridad y privacidad, ya que la protección de los datos y la integridad de los dispositivos se han vuelto aspectos fundamentales en su implementación. En cuanto al uso de dispositivos IoT, se ha ampliado su aplicación en diversos sectores. Por ejemplo, en la industria se utiliza para mejorar la eficiencia y la automatización de los procesos de fabricación, mediante el uso de sensores para el monitoreo y la optimización de la producción.

En el ámbito de la salud, se ha implementado para el seguimiento remoto de pacientes, la gestión de medi-

camentos y la monitorización de signos vitales. En el sector de la energía, se emplea para el monitoreo y la gestión inteligente de redes eléctricas y para la eficiencia energética en edificios.

El IoT ha contribuido a la creación de ciudades inteligentes, donde los dispositivos conectados permiten la gestión eficiente de los recursos y servicios urbanos, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

El internet de las cosas ha evolucionado desde sus orígenes en la década de 1990 hasta convertirse en una tecnología ampliamente adoptada en diversos campos. Su crecimiento ha sido impulsado por la creciente disponibilidad de dispositivos conectados, los avances en tecnologías de comunicación y el desarrollo de aplicaciones y plataformas específicas para el IoT.

A medida que continúa avanzando, el IoT tiene el potencial de transformar aún más nuestra forma de vivir y trabajar, brindando nuevas oportunidades y desafíos en el mundo conectado.

El Internet de las cosas (IoT) funciona mediante la interconexión de dispositivos, sensores y objetos físicos a través de redes de comunicación. Estos dispositivos están equipados con sensores, actuadores y capacidades de conectividad, lo que les permite recopilar datos del entorno, enviarlos a través de la red y recibir comandos o instrucciones para realizar acciones específicas.

Dispositivos y sensores: Los dispositivos IoT están equipados con sensores que capturan datos del entorno, como temperatura, humedad, presión, ubicación geográfica, movimiento, entre otros. Estos sensores pueden ser integrados en objetos cotidianos, como electrodomésticos, automóviles, equipos industriales, dispositivos médicos, entre otros.

Conectividad: Los dispositivos IoT se conectan a través de redes de comunicación, como Internet, redes celulares, redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) o redes de área personal (por ejemplo, Bluetooth). La elección de la red depende de los requisitos de conectividad, como el alcance, el ancho de banda y el consumo de energía.

Recopilación y transmisión de datos: Los dispositivos IoT recopilan datos de sus sensores y los transmiten a través de la red a otros dispositivos, servidores o plataformas en la nube. Pueden utilizar diferentes protocolos de comunicación, como MQTT, HTTP, CoAP, entre otros, para enviar los datos de manera eficiente y segura.

Plataformas y servicios en la nube: Los datos recopilados por los dispositivos IoT se envían y almacenan en plataformas en la nube, donde se procesan, analizan y almacenan. Estas plataformas pueden proporcionar servicios de gestión de datos, análisis, visualización y control de dispositivos.

También pueden integrarse con otros sistemas, como sistemas de gestión empresarial (ERP) o sistemas de inteligencia artificial (IA), para obtener información más avanzada y tomar decisiones automatizadas.

Acciones y respuestas: Una vez que los datos se procesan en la nube, se pueden enviar comandos o instrucciones a los dispositivos IoT para que realicen acciones específicas. Por ejemplo, un dispositivo de domótica podría recibir una instrucción para encender las luces o ajustar la temperatura del termostato.

Es importante destacar que la seguridad y la privacidad son aspectos fundamentales en el funcionamiento del IoT. Se deben implementar medidas de seguridad para proteger los datos transmitidos, así como para garantizar la integridad y autenticidad de los dispositivos y las comunicaciones.

El IoT funciona mediante la conexión y comunicación de dispositivos y objetos físicos a través de redes,

permitiendo la recopilación, transmisión y procesamiento de datos para tomar acciones y obtener información útil en diferentes ámbitos de aplicación.

El Internet de las cosas (IoT) no tiene una arquitectura específica definida en el modelo OSI (Open Systems Interconnection). Sin embargo, se pueden identificar varios elementos y capas que suelen estar presentes en una arquitectura típica del IoT.

Un modelo equivalente estructural de arquitectura del IoT basado en el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) proporciona una representación detallada y organizada de cómo se pueden integrar y comunicar los dispositivos IoT dentro de una red ver en la figura 3.9. Este modelo estructural es fundamental para comprender las diferentes capas que intervienen en la comunicación y el procesamiento de datos en el IoT, desde la capa física, donde se encuentran los sensores y actuadores, hasta la capa de aplicación, que permite la interacción con los usuarios finales.

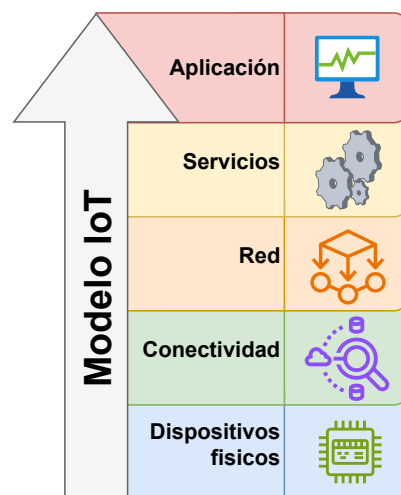


Figura 3.9. Modelo IoT equivalente a modelo OSI.

Capa de dispositivos físicos: Esta capa se encuentra en la parte inferior de la arquitectura y comprende los dispositivos físicos y sensores que recopilan datos del entorno. Estos dispositivos pueden incluir sensores, actuadores, microcontroladores y otros componentes electrónicos.

Capa de conectividad: En esta capa, se establece la comunicación entre los dispositivos IoT y los sistemas de red. Aquí se incluyen las tecnologías de comunicación, como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN o redes celulares, que permiten la transmisión de datos entre los dispositivos y las redes.

Capa de red: Esta capa se encarga de enrutar los datos entre los dispositivos IoT y los sistemas de back-end. Aquí se pueden utilizar protocolos de enrutamiento IP, como IPv4 o IPv6, para facilitar la comunicación y la conectividad.

Capa de servicios: En esta capa se brindan servicios de administración y control de los dispositivos IoT. Puede incluir servicios de registro de dispositivos, autenticación, autorización, gestión de dispositivos, configuración remota y monitoreo.

Capa de aplicación: Esta capa se encuentra en la parte superior de la arquitectura y se refiere a las aplicaciones y servicios específicos del IoT. Aquí es donde se realizan tareas como el procesamiento de datos, el

análisis, la visualización, la toma de decisiones y la interacción con los usuarios.

Esta estructura de arquitectura puede variar según el contexto y los requisitos específicos de cada implementación del IoT. Además, el IoT puede utilizar diferentes protocolos de comunicación y estándares, lo que puede influir en la forma en que se organiza la arquitectura.

El IoT se basa en una arquitectura que involucra dispositivos físicos, conectividad, redes, servicios y aplicaciones, trabajando juntos para permitir la recopilación, transmisión, procesamiento y control de datos en el ecosistema del Internet de las Cosas.

Varios dispositivos han contribuido al desarrollo, evolución y crecimiento masivo del Internet de las cosas (IoT). Aquí hay algunos ejemplos clave:

Sensores y dispositivos embebidos: Los avances en la miniaturización de sensores y dispositivos embebidos han sido fundamentales para impulsar el IoT. Estos dispositivos pueden medir y recopilar datos de su entorno, como temperatura, humedad, presión, luz, movimiento, entre otros. Su tamaño compacto y su bajo consumo de energía han permitido su integración en una amplia gama de objetos y dispositivos cotidianos.

Dispositivos móviles: Los teléfonos inteligentes y las tabletas han desempeñado un papel importante en el crecimiento del IoT. Estos dispositivos actúan como interfaces de usuario y permiten a las personas controlar y gestionar los dispositivos IoT a través de aplicaciones específicas. Además, los dispositivos móviles también pueden actuar como sensores en sí mismos, proporcionando información sobre la ubicación y otros datos relevantes para el IoT.

Dispositivos de domótica: Los dispositivos de domótica, como termostatos, bombillas, enchufes, cerraduras y sistemas de seguridad, han sido muy populares en el hogar inteligente. Estos dispositivos permiten a los usuarios controlar y automatizar diversas funciones del hogar a través de la conectividad IoT, mejorando la comodidad, la seguridad y la eficiencia energética.

Dispositivos de salud y monitoreo: Los dispositivos de seguimiento deportivo, los medidores de glucosa, los dispositivos de monitoreo de signos vitales y otros dispositivos médicos han permitido la monitorización remota de la salud y el bienestar. Estos dispositivos recopilan datos biométricos y los envían a través del IoT a profesionales de la salud, lo que permite un monitoreo más eficiente y una atención personalizada.

Automóviles conectados: Los automóviles conectados, equipados con sistemas de navegación, telemática y conectividad IoT, han impulsado el crecimiento del IoT en el sector del transporte. Estos vehículos pueden recopilar y transmitir datos sobre el rendimiento del automóvil, la navegación, la seguridad y otros aspectos relacionados con la conducción.

Dispositivos industriales: En el ámbito industrial, los dispositivos IoT, como sensores industriales, controladores de automatización y sistemas de supervisión, han permitido la automatización y el monitoreo avanzado de los procesos de fabricación. Estos dispositivos recopilan datos en tiempo real, mejorando la eficiencia, la productividad y la calidad en la industria.

Estos son solo algunos ejemplos de dispositivos que han impulsado el desarrollo y el crecimiento del IoT. A medida que la tecnología continúa avanzando, se espera que nuevos dispositivos y aplicaciones sigan impulsando la expansión del IoT en diversos campos y sectores.

En cuanto a las cifras de uso del IoT (ver figura 3.10, algunos datos general según un informe de IDC,

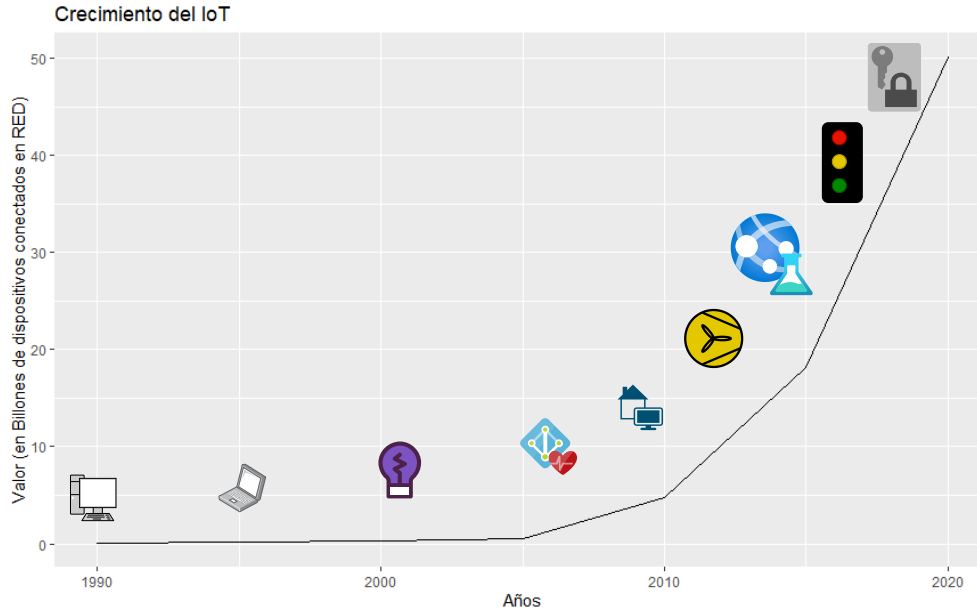


Figura 3.10. Crecimiento del IoT desde la postulación del concepto

se estima que para 2025 habrá más de 53.600 millones de dispositivos conectados al IoT en todo el mundo. El sector industrial representa una gran parte del uso del IoT. Se prevé que el gasto en soluciones industriales de IoT alcance los 650.000 millones de dólares en 2024, según un informe de McKinsey. En el sector de la salud, se espera que el mercado del IoT alcance los 188.000 millones de dólares en 2024, según Statista. En el ámbito del hogar inteligente, se proyecta que el número de hogares con dispositivos de IoT alcanzará los 1.980 millones en 2024, según un informe de Strategy Analytics.

El IoT ha experimentado un crecimiento significativo durante el siglo XXI, transformando múltiples sectores y aportando beneficios considerables a la sociedad. Se estima que la industria vinculada al IoT podría alcanzar un valor superior a 12.000 billones de dólares a nivel mundial en 2030. Este avance tecnológico ha permitido la digitalización de diversos sectores, desde la sostenibilidad y la eficiencia energética hasta la gestión del agua.

El crecimiento del IoT está cambiando la forma en que vivimos y trabajamos, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y el bienestar personal. Al mismo tiempo, plantea nuevos desafíos y preguntas sobre la privacidad, la seguridad y la ética que deben ser abordados a medida que continuamos explorando su potencial.

3.1.5. Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) se refiere a la capacidad de las máquinas o programas de computadora para exhibir características que se asocian con la inteligencia humana, como el aprendizaje, la percepción, el razonamiento, la resolución de problemas y la toma de decisiones. La IA permite a las máquinas procesar grandes cantidades de datos, reconocer patrones y tomar acciones o recomendaciones basadas en esa información.

Hay varios enfoques y técnicas utilizadas en la inteligencia artificial, como el aprendizaje automático (machine learning), el procesamiento del lenguaje natural (natural language processing), la visión por computadora

(computer vision), la robótica y otros. El aprendizaje automático es una rama fundamental de la IA que implica la capacidad de las máquinas para aprender y mejorar automáticamente a través de la experiencia, sin ser programadas explícitamente.

La inteligencia artificial tiene muchas aplicaciones prácticas en diversos campos, como la medicina, la industria, el transporte, las finanzas, la seguridad, la atención al cliente y muchos más. Algunos ejemplos comunes de aplicaciones de IA son los sistemas de recomendación en plataformas de streaming, los chatbots de atención al cliente, los asistentes virtuales como Siri o Alexa, los coches autónomos y los algoritmos de detección de fraudes.

Es importante destacar que, si bien la IA ha avanzado mucho en las últimas décadas, aún se encuentra en desarrollo y hay desafíos importantes a superar. Algunos de estos desafíos incluyen la interpretación y explicación de las decisiones tomadas por los modelos de IA, la ética en el uso de la IA, la privacidad de los datos y la discriminación algorítmica.

Una de las técnicas del desarrollo de la IA es aprendizaje automático (Machine Learning). Es una técnica central en la inteligencia artificial que permite a las máquinas aprender a través de la experiencia y mejorar su rendimiento en tareas específicas. Se basa en algoritmos que analizan y extraen patrones de conjuntos de datos para generar modelos predictivos o de toma de decisiones. Los algoritmos de aprendizaje automático se pueden clasificar en aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo.

El aprendizaje supervisado es un enfoque del aprendizaje automático en el que se proporciona a los algoritmos un conjunto de datos de entrenamiento etiquetados, es decir, con ejemplos de entrada y la respuesta correcta correspondiente. Estos algoritmos aprenden a hacer predicciones o clasificaciones basadas en patrones identificados en los datos de entrenamiento. En el aprendizaje no supervisado, los algoritmos trabajan con datos no etiquetados y buscan patrones o estructuras inherentes en los datos. Esto se utiliza para agrupar datos similares, encontrar relaciones ocultas o reducir la dimensionalidad de los datos.

El aprendizaje por refuerzo se basa en que un agente aprende a través de la interacción con un entorno. El agente toma decisiones y recibe recompensas o penalizaciones según el resultado de esas decisiones. A través del proceso de ensayo y error, el agente aprende a maximizar las recompensas y mejorar su rendimiento.

La técnica de Procesamiento del lenguaje natural (Natural Language Processing, NLP) se centra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano. Implica el análisis y la comprensión del lenguaje humano en diferentes formas, como la traducción automática, la generación de texto, el reconocimiento y la síntesis de voz, la extracción de información y el análisis de sentimientos. El NLP ha avanzado significativamente gracias a enfoques basados en modelos de lenguaje como BERT y GPT. El NLP permite a las máquinas comprender y generar texto o lenguaje humano. Esto incluye tareas como la extracción de información de textos, la generación automática de texto, la traducción automática, la detección de sentimientos en textos y la respuesta a preguntas basadas en texto. Los avances en NLP han sido impulsados en gran medida por el uso de modelos de lenguaje basados en redes neuronales, como BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) y GPT (Generative Pre-trained Transformer). Estos modelos han demostrado un rendimiento sobresaliente en diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural.

La técnica de Visión por computadora (Computer Vision) se ocupa de la interpretación automática de imágenes y vídeos por parte de las máquinas. Utiliza algoritmos y modelos para analizar y comprender el contenido visual, incluido el reconocimiento de objetos, la detección de rostros, el seguimiento de objetos en movimiento, la segmentación de imágenes y el análisis de escenas. La visión por computadora se ha aplicado en diversas áreas,

como la medicina, la seguridad y la industria automotriz. La visión por computadora se enfoca en la interpretación automática de imágenes y videos. Esto implica tareas como el reconocimiento y clasificación de objetos, la detección y seguimiento de rostros, la segmentación semántica de imágenes, la estimación de pose, el análisis de escenas y la generación de descripciones de imágenes. Los avances en la visión por computadora han sido impulsados por algoritmos basados en redes neuronales convolucionales (CNN), que han demostrado una capacidad excepcional para extraer características visuales y realizar tareas de reconocimiento y clasificación de imágenes con alto rendimiento.

La robótica con la IA se utiliza para permitir a los robots percibir su entorno, tomar decisiones y llevar a cabo acciones físicas. La combinación de la inteligencia artificial y la robótica ha dado lugar a avances en áreas como la robótica colaborativa, la automatización industrial, los asistentes de atención médica y los robots de servicio en el hogar. Los robots inteligentes son capaces de adaptarse a diferentes situaciones y aprender de sus interacciones con el entorno y los humanos. La IA se utiliza en la robótica para permitir que los robots interactúen con el entorno de manera inteligente. Esto incluye la percepción del entorno a través de sensores, el procesamiento de la información sensorial, la planificación de movimientos y la toma de decisiones. La robótica colaborativa, también conocida como cobots, se refiere a robots diseñados para trabajar de manera segura y colaborativa con humanos en entornos compartidos. Estos robots pueden adaptarse a las acciones humanas y realizar tareas en colaboración con las personas.

La automatización industrial es otro campo donde la IA y la robótica han tenido un impacto significativo. Los robots industriales inteligentes pueden realizar tareas repetitivas y peligrosas con mayor precisión y eficiencia que los humanos. Estos robots pueden ser programados para realizar una variedad de tareas, como ensamblaje, soldadura, manipulación de materiales, embalaje y más.

Los asistentes de atención médica son robots diseñados para proporcionar apoyo en entornos de atención médica. Pueden realizar tareas como el monitoreo de pacientes, la asistencia en la administración de medicamentos, la ayuda en la rehabilitación y la realización de tareas de cuidado básico. Los robots de servicio en el hogar son robots diseñados para ayudar en tareas domésticas y mejorar la comodidad y la calidad de vida en el hogar. Pueden realizar tareas como la limpieza, la asistencia en la cocina, la seguridad y la interacción con los residentes.

3.1.6. Inteligencia Artificial del Comportamiento

La Inteligencia Artificial del Comportamiento (AloB, por sus siglas en inglés: Artificial Intelligence of Behavior) Se ubica como una rama de la Inteligencia Artificial (IA) que se centra en el desarrollo de sistemas de IA capaces de comprender y simular el comportamiento humano. AloB busca crear modelos y algoritmos que permitan a las máquinas entender y evocar acciones que contribuyan al comportamiento humano en diferentes contextos.

AloB se basa en la idea de que la comprensión del comportamiento humano es esencial para el desarrollo de sistemas de IA más avanzados y útiles en aplicaciones del mundo real (ver figura 3.11). Al utilizar técnicas de aprendizaje automático, procesamiento del lenguaje natural y otros enfoques de IA, la AloB busca capturar la complejidad del comportamiento humano y utilizarla para crear sistemas de IA más interactivos, adaptables y conscientes del contexto.

Los sistemas de AloB se aplican en diversos campos, como la robótica, la asistencia virtual, los juegos, la psicología, la medicina y la seguridad. Por ejemplo, en robótica, la AloB puede permitir que los robots interactúen y colaboren de manera más natural con los seres humanos. En asistentes virtuales, la AloB ayuda a comprender

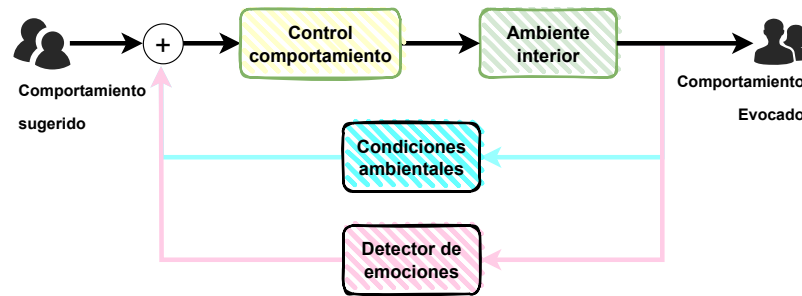


Figura 3.11. Diagrama de control en lazo cerrado del sistema AloB

y responder mejor a las solicitudes y necesidades de los usuarios. En psicología y medicina, la AloB se utiliza para desarrollar terapias virtuales y sistemas de apoyo emocional. En seguridad, la AloB puede ayudar a detectar y prevenir comportamientos anómalos o maliciosos.

La AloB es una disciplina que combina la inteligencia artificial con el estudio del comportamiento humano para desarrollar sistemas más sofisticados y centrados en el usuario. Su objetivo es mejorar la interacción y la adaptabilidad de las máquinas en diversos contextos, aprovechando el conocimiento del comportamiento humano.

La AloB y el modelo del comportamiento de Ajzen son conceptos diferentes, pero pueden estar relacionados en el ámbito de la psicología y la inteligencia artificial. En relación con la AloB, el modelo del comportamiento de Ajzen puede servir como base teórica para comprender y simular el comportamiento humano en los sistemas de inteligencia artificial. Al utilizar los principios del modelo de Ajzen, los sistemas de AloB pueden incorporar la influencia de las actitudes, las normas sociales y la percepción de control en las decisiones y acciones simuladas por la IA.

El AloB se centra en desarrollar sistemas de IA que comprendan y emulen el comportamiento humano, mientras que el modelo del comportamiento de Ajzen es una teoría psicológica que explica y predice el comportamiento humano en la toma de decisiones. Ambos conceptos pueden estar relacionados en la aplicación de la AloB al utilizar el modelo de Ajzen como base teórica para simular el comportamiento humano en sistemas de IA.

3.2 | Metodología

Dado que el objetivo principal es desarrollar un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AloT para regular el comportamiento, se establece una ruta metodológica para abordar esta investigación como se ve en la figura 3.12.

1. Analizar las condiciones tecnológicas actuales para el desarrollo de una propuesta innovadora en los materiales que la componen y en la interconexión de los mismos: se utiliza la metodología AHP (por sus siglas en inglés: Analytic Hierarchy Process).

En este proceso se realizan varias tareas. Primero, se debe definir el objetivo y las alternativas tecnológicas disponibles. Luego, se deben establecer los criterios de decisión. A continuación, se realiza una comparación por pares de los criterios y las alternativas en relación con el objetivo. Después, se calculan los pesos de los criterios y las alternativas utilizando un proceso de normalización.

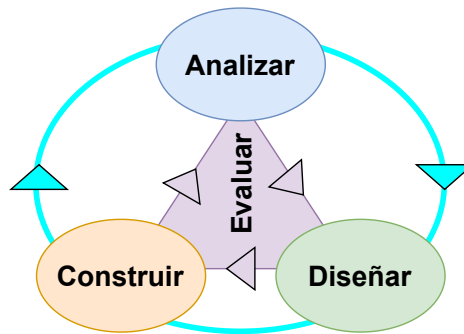


Figura 3.12. Metodología del proceso de investigación

Finalmente, se realiza una síntesis de las prioridades para determinar la alternativa adecuada. Este proceso permite cuantificar y comparar las diferentes alternativas de manera sistemática y rigurosa. En este punto se hace necesario la participación de un panel de expertos que dan juicios de valor para la comparación por pares y la asignación de pesos.

2. Diseñar un sistema de instrumentación con tecnología IoT, para la medición de los niveles de intensidad de sonido, nivel de iluminación, temperatura y humedad, que permita registrar los datos y acceder a ellos en tiempo real: Para cumplir con este objetivo se deben seguir los siguientes pasos. Primero, identificación de los requerimientos, definir las especificaciones técnicas y funcionales del sistema, como la precisión de las mediciones, la frecuencia de muestreo, el rango de operación, entre otros. Después, se deben elegir los sensores adecuados para medir cada una de las variables de interés (intensidad de sonido, nivel de iluminación, temperatura y humedad).

Se implementa el circuito que conectará los sensores con el dispositivo IoT. Esto incluye la selección de un microcontrolador, la definición de la arquitectura del sistema y la creación de un esquema de cableado. Posterior y de acuerdo al microcontrolador se realiza el diseño del programa para el dispositivo IoT. Este para que pueda leer los datos de los sensores, procesarlos y transmitirlos a través de la red. Desarrollo de la Plataforma de Datos: Desarrolla una plataforma que pueda recibir y almacenar los datos transmitidos por el dispositivo IoT. Esta plataforma también debe permitir el acceso a los datos en tiempo real. Pruebas del Sistema: Realiza pruebas para asegurarte de que el sistema funciona correctamente y cumple con los requerimientos definidos. Implementación y Monitoreo: Una vez que el sistema ha sido probado y ajustado, puedes implementarlo y comenzar a monitorear las variables de interés.

3. Construir un sistema de interacción auditivo y visual con el público objetivo, para modificar las condiciones del entorno como estímulo – respuesta que contribuya de manera positiva a cambios en el comportamiento. Para el desarrollo de este objetivo es necesario crear un entramado que combine de manera integral los estímulos y la manera de ser presentados. Dentro de las posibilidades comunes en espacios cerrados o abiertos sociales tenemos la capacidad de tener iluminación artificial. El sistema debe ser capaz de modificar de manera sutil la iluminación para lograr un ambiente adecuado para las diferentes configuraciones del sistema. Esta iluminación debe tener la capacidad tecnológica para ser modificada tanto en potencia como en color.

También se puede usar los sistemas de información de los ambientes para transmitir otros estímulos como animaciones o información que ayude al estado emocional de las personas presentes, para que estén alerta o se pueda tranquilizar.

Por último se debe seleccionar una serie de estímulos auditivos, música o sonido ambiental que tenga una

intención. Para este proceso existen bases de datos abiertas con archivos con “copyleft” y un análisis de intención.

Una vez construida la base de datos de los estímulos se debe usar un sistema capaz de evaluar las condiciones y de acuerdo a una intención y de las variables medidas poder reproducir los estímulos de manera adecuada en las diferentes fuentes. Para que el sistema contribuya de manera positiva debe tener una base de datos con los estímulos acotados para que se encuentren de la posibilidad de mantener el bienestar sin que sea intrusivo o genere incomodidad.

4. Evaluar las condiciones de funcionamiento del sistema y su contribución al comportamiento planeado. Este no es solo la parte final de la investigación, es la parte central que hace que cada parte del proceso de parámetros e insumos para avanzar a la parte siguiente.

El desarrollo de esta parte metodológica del proyecto debe seguir las siguientes acciones. Primero, definir los parámetros de funcionamiento. Identificar los parámetros clave que determinan el funcionamiento del sistema. Estos pueden incluir factores como la eficiencia, la capacidad, la velocidad, entre otros.

Segundo, establecer métricas de rendimiento claras y cuantificables para cada parámetro de funcionamiento. Estas métricas deben ser capaces de capturar la eficacia con la que el sistema está funcionando.

Tercero, utilizar herramientas y técnicas apropiadas para recopilar datos sobre el funcionamiento del sistema. Esto implica dos condiciones: parámetros objetivos con sistemas cuantificables y percepción a través de herramientas no objetivas. Entre otras estrategias se pueden usar software de monitoreo, pruebas manuales, encuestas a usuarios y pruebas de funcionamiento técnico.

Cuarto, Toda vez que se han recopilados los datos, se deben analizar para entender cómo está funcionando el sistema. Esto implica el uso de técnicas estadísticas. Esta información ayuda a relacionar el análisis con el comportamiento planeado del sistema. Esto ayuda a entender cómo el funcionamiento del sistema contribuye al comportamiento planeado.

Si existen valores atípicos entre el funcionamiento y valores esperados se identifica las partes que necesitan ser analizadas y transformadas. Basándose en el análisis, se establecen parámetros para implementar los cambios necesarios para mejorar el funcionamiento del sistema. Se pueden hacer la actualización de software, cambiar y actualizar partes e incluir otras alternativas y estímulos.

Quinto, es importante revisar regularmente el funcionamiento del sistema y su contribución al comportamiento planeado. Esto asegurará que el sistema continúe funcionando de manera eficiente y efectiva.

Esta metodología (descrita en el diagrama de Gantt anexo C) se centra en la integración de la IA y la IoT para desarrollar un sistema que no solo mida y controle variables ambientales, sino que también adapte su comportamiento a través de la retroalimentación y el aprendizaje automático.

Resultados y discusión

4.1 | Clasificación de la tecnología IoT

Uno de los requerimientos indispensable para el desarrollo de un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología AIoT implica identificar un infraestructura tecnológica adecuada.

Este estudio aborda la necesidad de selección de una plataforma de desarrollo para la tecnología IoT (Internet of Things) en un sistema de instrumentación electrónica para medir las condiciones medioambientales del contexto y compartir los datos en un sistema de visualización de series de tiempo. Abordaremos el contexto del problema apoyados de un marco teórico, luego realizaremos la discusión del caso específico, analizaremos la utilización del método y discutiremos el resultado de la evaluación final y de la alternativa sugerida por el modelo.

El proceso de análisis jerárquico en adelante AHP (por sus siglas en inglés: the Analytic Hierarchy Process), es un proceso matemático para poder medir y sintetizar una serie de alternativas, basada en unos criterios que pueden ser cuantitativos y cualitativos que a través de un grupo de expertos estiman una puntuación de cada criterio y de las alternativas a través de unos matrices, que luego se normalizar y trazan una posibilidad de selección sin que se vea afectada por criterios subjetivos.

Este método es usado en muchos campos y cuenta con una serie de pasos para que la selección final sea por las cualidades de la alternativa. El estudio de caso que se revisará es para la selección de una plataforma de desarrollo basado en tecnología IoT que permita obtener parámetros del contexto de un grupo de personas y pueda presentar un estímulo por el método de control de regulación, este estímulo puede ser visual, auditivo o combinado, además el sistema deberá tener la posibilidad de enviar el registro de la información en línea y consultar el estado del estímulo.

El objetivo en la aplicación de este método es seleccionar la tecnología del internet de las cosas para un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual para regular el comportamiento usando el proceso de jerarquía analítica. Se realizan una serie de líneas de proceso identificados por L(x) en la figura 4.1. Se analizan los parámetros por análisis de usos, referencias bibliográficas y validación con ingenieros que usan este tipo de tecnologías o que han implementado soluciones en el campo de sistemas de medición o instrumentación usando sistemas programables, dispositivos de telemetría o sistemas domóticos.

Para hacer este análisis se inicia con la selección de criterios que representan la realización del estudio de caso como un producto de la síntesis de la información proveniente de proveedores, características y uso. Después, se establecen los criterios de capacidad técnica para determinar el nivel operativo de las alternativas, en

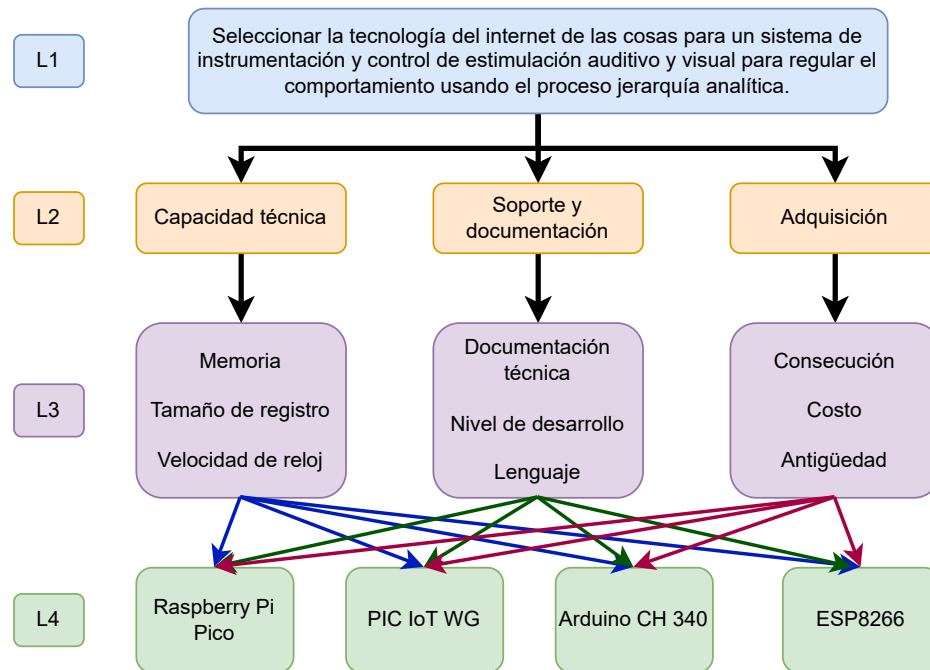


Figura 4.1. Modelo proceso de análisis jerárquico

los criterios de capacidad técnica se tendrán en cuenta subcriterios como: memoria, tamaño de registro, velocidad de reloj.

Dentro del análisis se establecen los criterios del soporte y documentación para incluir lo relacionado con la documentación técnica, el nivel de desarrollo, el lenguaje de programación. En esta etapa el último criterio es la capacidad de adquisición. En esta se determina posibilidad de consecución, costo y antigüedad.

Se determinan las alternativas que mejor se ajusten a los parámetros y objetivos. Se escogen por su nivel de utilización en sistemas IoT para mejorar sistemas de desarrollo que son referenciados en la bibliografía por la aplicación y utilización en desarrollos de sistemas de instrumentación y la posibilidad de integración de la tecnología IoT. Las alternativas son: Raspberry Pic Pico, PIC-IoT WG, Arduino Ch340 y ESP8266.

El modelo jerárquico que resume los pasos se puede ver en la figura 4.1. Tiene 4 niveles, en el primer nivel se hace referencia al objetivo del análisis multicriterio, el segundo nivel son los criterios principales, el nivel 3 los subcriterios y en el nivel 4 las alternativas.

Aplicación de AHP: Para realizar la evaluación de cada uno de los criterios frente a las alternativas, se utilizó el cuadro de comparación de la tabla 4.1. en el cual se definen los pesos los criterios de acuerdo con la valoración por parte del grupo de expertos, esta medición se analizó con la información obtenida de los fabricantes y la experiencia del panel de expertos.

Una vez aplicado el modelo AHP se obtuvo el resultado usando el software PriEsT (Priority Estimation Tool¹), con los pesos dados a cada uno de los criterios manteniendo una consistencia en la evaluación inferior al 4 %, tanto en el establecimiento de los criterios como en la ponderación de las alternativas a pesar de ser recomendado un porcentaje inferior al 9 %. El resultado que arrojó el modelo a través de un diagrama de cajas y bigotes se puede

¹<https://sourceforge.net/projects/priority/>

Tabla 4.1 Tabla de comparación de parámetros

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1.0	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuyen con la propiedad de igual manera
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre otro
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente dominante
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	usados como valores de consenso entre dos juicios
0	No hay relación	Un elemento no contribuye al objetivo

ver en la figura 4.2.

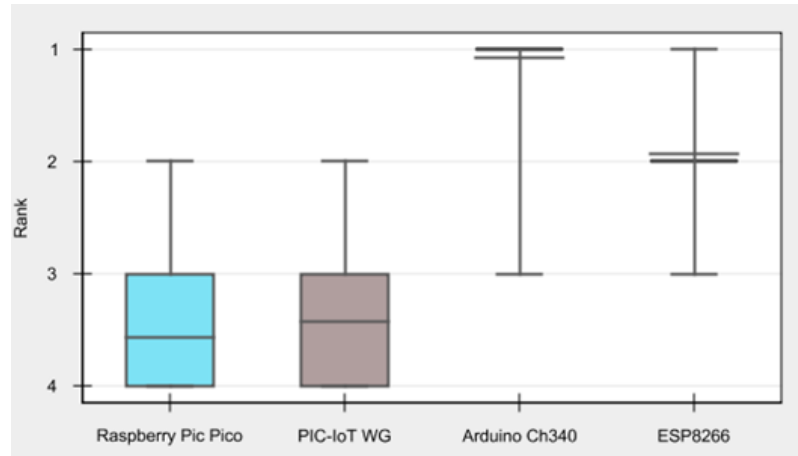


Figura 4.2. Resultado de la evaluación usando el modelo AHP

El resultado del método AHP nos define que la plataforma de desarrollo debe ser como primer alternativa el Arduino CH340 con un puntaje del 42 %. Para esta selección los parámetros tuvieron un peso, primero de los criterios soporte y documentación con un 57 %, adquisición con 29 % y capacidad técnica con un 14 %. La segunda alternativa es el ESP8266 con el 32 % con algunas ventajas técnicas como es tener una conectividad WiFi nativa, la placa de desarrollo es adecuada para ser adaptada a cualquier desarrollo y posee unas características técnicas muy interesantes manteniendo un bajo costo. En la línea de tiempo de proyección el sistema ESP8266 se convierte en la segunda alternativa adecuada a pesar de no ser la primera opción después del primer ciclo temporal.

4.2 | Reconocimiento de la emoción por imágenes de rostros (FER)

El desafío tecnológico de reconocer las emociones humanas implica navegar a través de condiciones fluctuantes y parámetros subjetivos. Este desafío se intensifica cuando se busca desarrollar un sistema que pueda establecer parámetros objetivos, sin ser intrusivo ni invasivo.

La capacidad de identificar las emociones en un entorno cerrado tiene aplicaciones prácticas significativas para mejorar la experiencia del usuario y aumentar la eficiencia en diversos contextos, como la publicidad, la psicología y la gestión de recursos humanos.

Las técnicas de programación que permiten la clasificación de las emociones humanas, como las redes neuronales y la inteligencia artificial, son cada vez más relevantes en el campo de la informática. El desarrollo

de estas redes neuronales y el uso de imágenes en tiempo real requieren sistemas computacionales de alto rendimiento capaces de procesar grandes volúmenes de información y ejecutar códigos con modelos de muchas características.

La implementación propuesta tiene como objetivo funcionar sobre un Sistema en un Chip (SoC) con capacidades limitadas. Un SoC es un sistema computacional completo, pero no es reconfigurable. Este permite el uso de una interfaz de usuario para visualizar y configurar de manera intuitiva el sistema, facilitando su uso por parte de personas sin necesidad de conocimientos avanzados en informática.

El objetivo de este desarrollo es la creación de un sistema integral capaz de analizar las emociones humanas a través de video, entregando un valor parametrizado tanto de manera local como en la nube. Dadas las restricciones que implica el uso de un SoC, se analiza inicialmente el tipo de algoritmo a utilizar, considerando especialmente el uso de redes neuronales.

En el proceso de análisis para la selección de la técnica de aprendizaje profundo más adecuada, se consideraron tanto las Redes Neuronales Recurrentes (RNN) como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN). Sin embargo, debido a la estructura bidimensional de las imágenes y a la naturaleza discreta de las capturas, se genera una invarianza temporal en la información. Esto significa que la información no cambia con el paso del tiempo, lo cual es una característica clave para las tareas de procesamiento de imágenes. Por estos motivos, se determinó que el uso de CNN sería más apropiado para este proyecto.

Dentro de las posibles arquitecturas de CNN, se analizó el uso de varias opciones populares y eficientes, incluyendo MobilNet, Inception-v3, RestNet-50 y VGG-19. Cada una de estas arquitecturas tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección entre ellas depende en gran medida de los requisitos específicos del proyecto.

MobilNet, por ejemplo, es reconocida en la comunidad de aprendizaje profundo por su notable eficiencia tanto en términos de velocidad de procesamiento como de tamaño del modelo (ver figura 4.3). Esta eficiencia se traduce en un menor consumo de recursos computacionales, lo que la convierte en una opción ideal para aplicaciones móviles y dispositivos con recursos limitados.

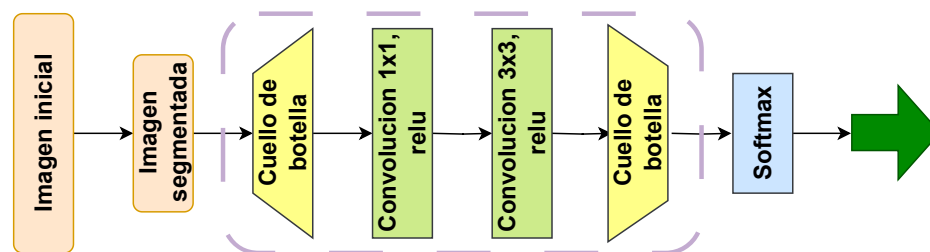


Figura 4.3. Modelo CNN MobilNet v2

La arquitectura de MobilNet se basa en el uso de convoluciones separables en profundidad, lo que reduce significativamente el número de parámetros del modelo sin sacrificar su rendimiento. Esto permite que MobilNet sea más ligera y rápida que muchas otras arquitecturas de redes neuronales, lo que la hace especialmente adecuada para dispositivos móviles y sistemas embebidos que pueden no tener la capacidad de procesamiento o la memoria para soportar modelos más grandes y pesados.

MobilNet puede ser ajustada para satisfacer requisitos específicos de rendimiento y eficiencia, permitiendo a los desarrolladores encontrar el equilibrio óptimo entre la precisión del modelo y el tamaño del mismo. Esto la

hace extremadamente flexible y adaptable a una amplia gama de aplicaciones y escenarios de uso.

Inception-v3, es ampliamente reconocida por su excepcional rendimiento en tareas de clasificación de imágenes (ver figura 4.4). Esta arquitectura de red neuronal profunda, desarrollada por Google, ha demostrado ser extremadamente eficaz en la identificación y categorización de imágenes en diversas clases.

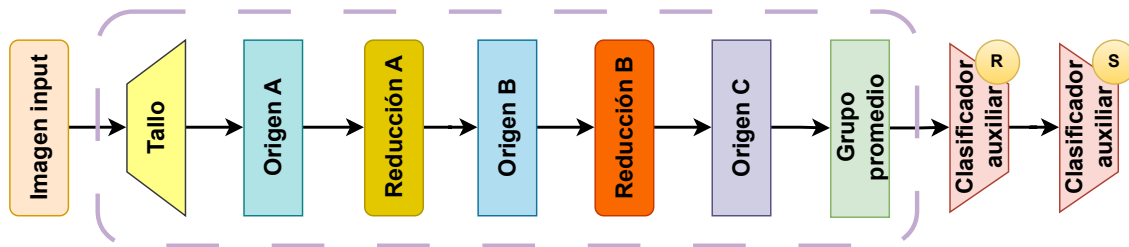


Figura 4.4. Modelo Inception v3

La arquitectura Inception-v3 se basa en una serie de módulos de ‘inception’ o ‘network-in-network’, que permiten a la red aprender representaciones a diferentes escalas y abstraer características de alto nivel de las imágenes. Estos módulos de inception, combinados con técnicas de regularización como la normalización de lotes y la deserción, permiten a la red evitar el sobreajuste y generalizar bien a nuevas imágenes.

Inception-v3 es notable por su eficiencia en términos de cálculos. A pesar de su profundidad y complejidad, la red es relativamente eficiente en términos de uso de memoria y cálculos, gracias a su diseño único que evita las conexiones densas y favorece las operaciones convolucionales de 1x1.

ResNet-50, una variante de la arquitectura de Redes Neuronales Residuales (ResNet), utiliza una innovadora estructura llamada bloques residuales para facilitar el entrenamiento de redes neuronales muy profundas (ver figura 4.5). Los bloques residuales son la piedra angular de la arquitectura ResNet.

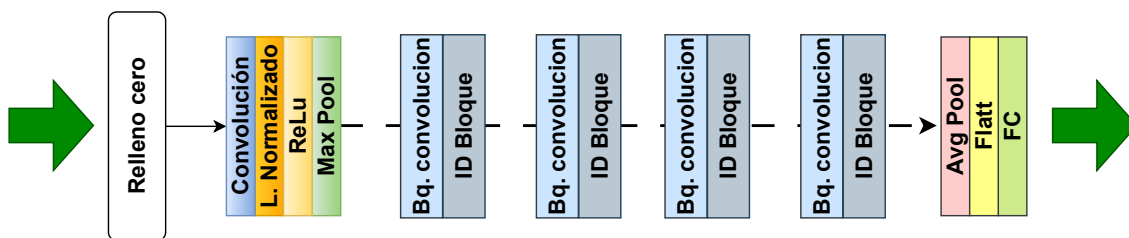


Figura 4.5. Modelo RestNet 50

Estos bloques permiten que las señales de gradiente fluyan directamente a través de las capas de la red durante el proceso de retropropagación. Esto se logra mediante la introducción de conexiones de “salto” o “shortcut”, que permiten que algunas señales de entrada se “salten” o se pasen directamente a capas posteriores.

Esta característica única de ResNet-50 resuelve eficazmente el problema del desvanecimiento del gradiente, un desafío común en el entrenamiento de redes neuronales profundas donde las actualizaciones de los pesos se vuelven insignificantes, lo que resulta en un aprendizaje ineficaz en las capas iniciales de la red.

ResNet-50 es capaz de aprender características de nivel superior y más abstractas a medida que se avanza en la profundidad de la red, lo que resulta en un rendimiento superior en tareas de clasificación y detección de imágenes.

VGG-19, una variante de la arquitectura de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) conocida como VGG (Visual Geometry Group), es ampliamente reconocida por su simplicidad estructural y su excepcional rendimiento en tareas de reconocimiento de objetos.

La arquitectura VGG-19 se caracteriza por su homogeneidad y profundidad, con una estructura de 19 capas compuesta casi en su totalidad por pequeñas convoluciones 3x3 y funciones de activación ReLU (ver figura 4.6). Esta simplicidad estructural facilita la comprensión, implementación y modificación de la red, lo que la hace muy accesible para los investigadores y desarrolladores.

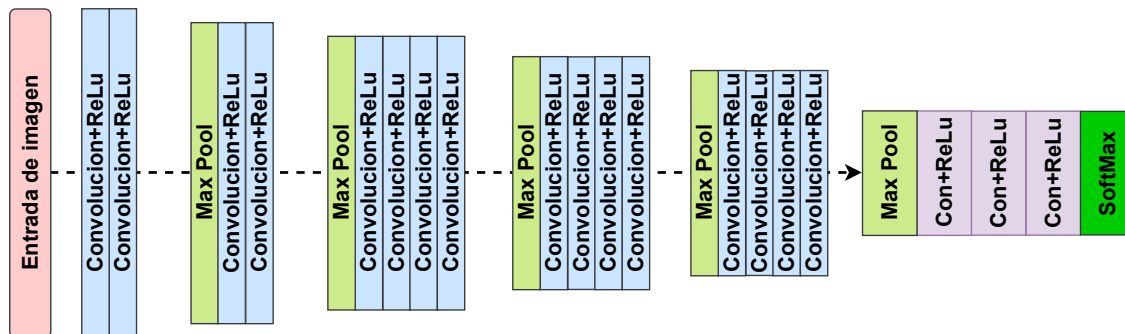


Figura 4.6. Modelo VGG 19

A pesar de su simplicidad, VGG-19 ha demostrado un rendimiento impresionante en tareas de reconocimiento de objetos. Gracias a su profundidad y al uso de pequeñas convoluciones, VGG-19 es capaz de aprender una jerarquía rica y detallada de características visuales, desde bordes y texturas simples hasta formas y patrones complejos.

Los modelos entrenados en VGG-19 han demostrado ser muy transferibles, lo que significa que las características aprendidas por la red en un conjunto de datos pueden ser útiles para tareas en conjuntos de datos completamente diferentes. Esto ha llevado a que VGG-19 sea ampliamente utilizada como punto de partida para muchas tareas de visión por computadora, desde el reconocimiento de objetos hasta la segmentación semántica y más allá.

El proceso de entrenamiento se llevó a cabo utilizando cuatro bases de datos abiertas dedicadas al Reconocimiento de Emociones Faciales (FER, por sus siglas en inglés). Estas bases de datos son ampliamente reconocidas y utilizadas para el desarrollo y evaluación de modelos FER.

Las bases de datos utilizadas para realizar el entrenamiento de las diferentes CNN se pueden clasificar en tres categorías basadas en la naturaleza de las imágenes que contienen. Dos de ellas, FER 2013 y AM-FED, contienen imágenes de expresiones faciales casuales o espontáneas. Estas bases de datos son particularmente valiosas porque capturan las emociones humanas en su estado más natural y auténtico, tal como se presentan en la vida cotidiana.

La tercera base de datos, RaFD, contiene imágenes de expresiones faciales posadas o actuadas. Aunque estas imágenes pueden no capturar las emociones humanas en su estado más auténtico, proporcionan una amplia gama de emociones claramente definidas y exageradas, lo que las hace útiles para entrenar modelos de FER.

La cuarta base de datos, conocida como FERF, se distingue por contener imágenes sintéticas de expresiones faciales. A pesar de que estas imágenes no corresponden a humanos reales, ofrecen una amplia gama

de variaciones y resultan valiosas para fortalecer la robustez de los modelos de reconocimiento de emociones faciales (FER).

Esta robustez es especialmente relevante en el contexto de los avances en el aprendizaje profundo. Los modelos de aprendizaje profundo han generado una revolución en la industria en su totalidad. Cada vez es más común encontrar sistemas capaces de analizar, identificar y predecir el funcionamiento de sistemas complejos. En el ámbito de las emociones humanas, se han desarrollado diversas técnicas que utilizan características biológicas distintivas. Así, la contribución de bases de datos como FERG es fundamental para el progreso en este campo.

4.2.1. Selección del modelo de red neuronal

Las CNN son altamente efectivas para procesar y analizar imágenes debido a su arquitectura especializada, que les permite detectar patrones y características específicas en las imágenes. Se han analizado varios modelos de CNN para identificar características en las imágenes, incluyendo:

- ResNet-50: un modelo de red neuronal profunda que utiliza capas residuales para mejorar la precisión de la clasificación de imágenes. ResNet-50 tiene una arquitectura de 50 capas que proporciona una mejor detección de características.
- Inception v3: un modelo CNN desarrollado por Google que emplea una arquitectura multi-ruta para mejorar la precisión de la clasificación de imágenes. Inception v3 utiliza filtros de convolución de varios tamaños para identificar entidades en las imágenes.
- MobileNet: un modelo de red neuronal profunda diseñado para aplicaciones móviles y de bajo consumo. MobileNet utiliza una arquitectura de red más sencilla que reduce el tamaño del modelo y mejora la velocidad de procesamiento sin comprometer la precisión.
- VGG19: una red neuronal convolucional profunda altamente eficiente para la clasificación de imágenes, popular debido a su arquitectura profunda, pequeños filtros de convolución y entrenamiento con grandes conjuntos de datos.

Usando las bases de datos y con las arquitecturas definidas para los cuatro modelos se realiza el proceso de entrenamiento de las redes neuronales. Los principales resultados se resumen en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 *Resumen del proceso de entrenamiento de los modelos CNN*

CNN	ResNet-50	Inception v3	MobileNet	VGG19
Precisión	76.7 %	81.4 %	76.1 %	83.7 %
Exactitud	75.2 %	80.1 %	73.7 %	82.4 %
Promedio macro	73.5 %	79.8 %	72.3 %	80.8 %
Peso promedio	74.6 %	80.3 %	73.5 %	79.7 %
Recuperación	74.9 %	80.6 %	74.4 %	80.2 %
Puntuación F1	76.1 %	80.9 %	75.2 %	81.6 %

Las CNN seleccionadas para el proceso de entrenamiento fueron elegidas por su capacidad para analizar y procesar imágenes, identificar patrones y extraer características. ResNet-50, en particular, puede extraer hasta 1000 características de las imágenes, y su arquitectura profunda es útil para las tareas de clasificación. Sin embargo, ResNet-50 es computacionalmente costoso de implementar. Sus capas avanzadas están diseñadas para

detectar entidades más complejas, que están menos extendidas a través de la imagen que las entidades extraídas por capas anteriores. Este modelo al tener valores residuales implica operaciones de cantidades pequeñas entre capas que el SOC no soporta por eso su precisión no es la esperada a pesar de que el peso del modelo es el de menor tamaño.

Los modelos de Inception v3 y MobileNet comparten estructuras similares, pero difieren en el número de capas intermedias y de salida, lo que resulta en un número reducido de características de clasificación. Sin embargo, para analizar imágenes en siete grupos distintos, estas características son suficientes. Intentar clasificar imágenes con resolución más allá de un cierto umbral puede imponer limitaciones en la capacidad de la red y limitar la eficiencia de los procesos de extracción y recuperación de características.

En el caso de MobileNet el ser usado en aparatos de procesamiento limitado era quizás uno de sus mayores atractivos. Es claro que es el modelo más liviano y de mayor expectativa. Pero ante las condiciones del diseño fue el que tuvo menor rendimiento y presentó resultados más pobres.

VGG19 muestra mejores resultados entre las CNN, posee las capacidades esenciales requeridas para el presente problema. Clasifica eficientemente las siete características y filtra eficazmente el ruido ambiental, como las variaciones en la iluminación y el posicionamiento facial.

Para el sistema desarrollado se implementa sobre una placa SoC, entre otras características cuenta con:

- Procesador: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
- Memoria: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Conectividad: LAN inalámbrica IEEE 802.11.b/g/n/ac de 2.4 GHz y 5 GHz, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet Gigabit a través de USB 2.0 (rendimiento máximo 300 Mbps)
- 4 interfaces USB 2.0
- 1 puerto HDMI de tamaño completo
- Puerto de visualización MIPI DSI
- Salida de estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- Soporte de tarjeta SD en formato Micro SD para cargar el sistema operativo y almacenar datos
- Alimentación: 5V/2.5A DC a través del conector micro USB, 5V DC a través del encabezado GPIO, capacidad de Power over Ethernet (PoE) (requiere un HAT PoE separado)

Para la toma de las imágenes se usa una cámara con soporte de imágenes hasta 4k, entre otras las características son:

- Resolución máxima de video: 3840 x 2160px x 30fps (4K Ultra HD)
- Interfaz: USB 3.0
- Micrófonos: Dos micrófonos omnidireccionales integrados con cancelación de ruido
- Iluminación: Ajuste automático de iluminación, alto rango dinámico (HDR) y RightLight™ 3

- Frecuencia de cuadro: Hasta 90 FPS
- Campos de visión: Tres campos de visión
- Dimensiones: Altura: 19 mm, Anchura: 36 mm

Con estas características de hardware se hace un prueba sobre el sistema usando los modelos de red neuronal directamente sobre ele sistema usando un banco de imágenes de prueba diferente a las imágenes de entrenamiento. En esta prueba de funcionamiento se puede ver el resultado del sistema (ver tabla 4.3).

Tabla 4.3 *Resumen de los resultados de las pruebas sobre el sistema*

CNN	Res-Net-50	Inception	MobileNet	VGG19
Precisión	86.0 %	74.3 %	67.1 %	84.6 %
Resolución	4k	2k	1k	4k
velocidad	1 fps	10 fps	30 fps	5 fps
Pre-entrenamiento	Y	N	N	Y

Mientras que ResNet-50 logra una precisión de 86.0 % y VGG19 logra 84.6 % (ambos trabajando a resolución 4K), la diferencia es marginal. Sin embargo, VGG19 supera a ResNet-50 en términos de velocidad de procesamiento de imágenes, operando aproximadamente cinco veces más rápido, a una velocidad de 5 fps en comparación con 1 fps.

En la prueba del sistema se determina el uso de VGG 19 que tiene como base del modelo CNN empleado en este estudio se remonta al influyente modelo VGG16 [32], que estableció su prominencia en el ámbito de la visión por computadora. A medida que avanzaban las capacidades computacionales, la arquitectura del modelo se expandió, lo que llevó al desarrollo del modelo VGG19 [63].

El proceso de entrenamiento consistió en categorizar las imágenes en siete emociones diferentes. El modelo final para la implementación, que incluye el cambio de tamaño de la imagen a 48×48 píxeles de la base de datos. El tamaño de la imagen se puede ajustar automáticamente en función de las necesidades del sistema. El resultado de las pruebas de validación dan como resultado de cada una de las clases como se ve en la tabla 4.4

Tabla 4.4 *Resumen de las diferentes emociones y el valor de identificación del modelo*

Emoción	Precisión	Recuperación	Puntuación F1	Soporte
Enojado	0.5700	0.5427	0.5560	521
Disgusto	0.7041	0.6216	0.6603	69
Miedo	0.5724	0.4312	0.4919	439
Felicidad	0.8465	0.8367	0.8416	1527
Neutro	0.5841	0.5855	0.5848	712
Tristeza	0.4675	0.5944	0.5234	677
Sorpresa	0.7819	0.8005	0.7911	638

La red neuronal resultante logró una precisión de la validación en cada una de las pruebas por cada categoría del 75.6 % y una precisión de validación del 67.4 %, que puede considerarse satisfactoria dada la clasificación de siete clases distintas. La probabilidad de error más alta, que contabiliza los falsos positivos y los errores de detección en todas las clases excepto en la identificada, se sitúa en el 5 %.

En particular, la emoción "Felicidad" muestra la mayor precisión, aproximadamente el 85 %, mientras que la precisión para la "Tristeza" es menor, alrededor del 47 %. Además, la emoción "Miedo" tiene el valor de recuerdo más bajo, lo que indica más probabilidad de falsos positivos que verdaderos positivos para esta emoción en particular.

Aunque el valor de recuento para “Miedo” es inferior al 50 %, el puntuación-F1 es superior al 49 %, lo que indica que la identificación de esta emoción es adecuada. Para las emociones restantes, los valores están por encima del 50 %, lo que hace que el modelo sea estadísticamente aceptable. Para entrenar el modelo, se utiliza el 80 % de los datos de la base de datos, mientras que el 20 % restante, que consta de 149.354 imágenes pertenecientes a 7 clases, se utilizan para las pruebas después de que los datos se cargan y estructuran. Debemos modificar nuestra red para que sea compatible con el modelo pre-entrenado y ajustarla al tamaño de la imagen [64]. La construcción del modelo incluye información sobre el número total de características extraídas que se incluirán en el sistema, que en nuestro caso es de 2.346.183 después de construir la CNN y ensamblar la configuración del modelo. El modelo se exporta en formato h5 y se puede actualizar en la base del sistema actualizando los archivos de la plataforma.

El sistema propuesto aborda cada una de estas características e intenta dar solución a un problema complejo permitiendo como resultado la identificación de 7 emociones con un valor máximo de precisión superior al 80 % y el mínimo por encima del 53 %. Una velocidad de identificación y reconocimiento para un grupo de 100 personas a 5 fps. El uso de una arquitectura con el mejor rendimiento en diseño como en implementación para el caso particular el uso de VGG-19.

La tecnología AIoB prioriza los métodos no invasivos y protege la privacidad como una característica fundamental. Para lograr esto el sistema utiliza cámaras de vídeo para detectar estados emocionales procesando la información dentro del propio sistema, es decir, en el borde. Solo se transmiten las categorías, lo que garantiza el anonimato de las personas en la sala. Este enfoque también ofrece una ventaja significativa en términos de consumo de recursos por que no se transmiten datos de vídeo. Esto conlleva a un uso más eficiente de los recursos computacionales y la generación de una base de datos categorial sin afectar la privacidad de las personas[65, 7].

El sensor de detección de emociones se implementa en una distribución Raspberry Pi Linux que ejecuta el entorno de escritorio gráfico Raspbian fácil de usar. Esta interfaz permite una supervisión perfecta de las operaciones del sistema tanto en línea como fuera de línea, lo que mejora la comodidad del usuario, como se ilustra en la Figura 4.7.

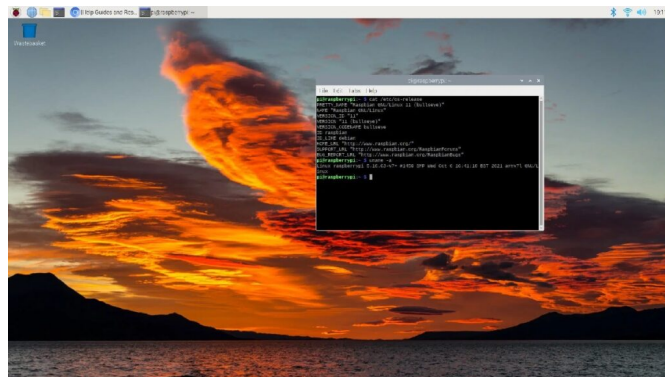


Figura 4.7. Interface de usuario en raspbian

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el monitoreo fuera de línea no es una necesidad para el sistema, ya que la transmisión de datos a la nube permite la consulta y el análisis en línea. Además, las emociones identificadas y los datos asociados se transmiten a una nube donde se puede acceder a ellos, sin transmitir imágenes o señales de video. Esto ofrece una capa adicional de privacidad y seguridad al sistema.

4.2.2. Prueba de validación real del modelo CNN

Se realiza una prueba piloto para validar el sensor de identificación de emoción en imágenes de rostro. Utilizando imágenes en tiempo real se realizó en un grupo de 20 personas. El objetivo de la prueba fue evaluar la capacidad del sistema para detectar las emociones de diferentes participantes.

El grupo de prueba utilizado en el concepto de prueba del sensor de emociones consistió en 20 personas (ver Tabla 4.5). Todos los participantes tenían entre 18 y 27 años. La selección de este grupo de edad se debió a que los jóvenes pueden ser más receptivos a las emociones y, por lo tanto, pueden mostrar una mayor variabilidad en sus expresiones emocionales. Este rango de edad también se eligió porque se esperaba que los participantes tuvieran una variedad de antecedentes culturales y étnicos.

Tabla 4.5 Descripción grupo de prueba

Age	Participantes	Mujeres	Hombres	Caucásicos	Indígenas	Mestizos	Afrodescendientes
18	3	1	2	2	0	1	0
19	3	2	1	0	2	1	0
20	4	1	3	2	0	2	0
21	3	0	3	3	0	0	0
22	2	0	2	1	0	0	1
23	2	1	1	0	1	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0
25	1	1	0	1	0	0	0
26	1	0	1	0	0	0	1
27	1	0	1	1	0	0	0
Total	20	6	14	10	3	4	3

Los participantes recibieron instrucciones de replicar la expresión facial representada en cada imagen, proporcionando al sensor una referencia para detectar la emoción. Cabe señalar que los participantes no tenían conocimiento previo de las emociones que se estaban probando, para evitar sesgos.

La prueba consistió en modificar solo las condiciones de iluminación en el entorno de prueba, manteniendo constante la temperatura y la humedad. Inicialmente, el nivel de luz se estableció en 20 % de la intensidad total de luz disponible. Posteriormente, la intensidad se incrementó gradualmente en un 20 % hasta alcanzar un máximo de 500 lúmenes.

El objetivo de esta prueba fue evaluar el rendimiento del sensor en diversas condiciones de iluminación, simulando escenarios del mundo real donde la iluminación puede variar significativamente. Los resultados de las pruebas se analizaron cuidadosamente y se utilizaron para optimizar el rendimiento del sensor en diferentes entornos de iluminación.

La figura 4.8 muestra los resultados de la prueba, lo que demuestra la capacidad del sensor para detectar la emoción predominante en un entorno grupal. La prueba se realizó con 20 participantes, y el sistema fue capaz de identificar con precisión un promedio de 17 a 18 individuos en la sala.

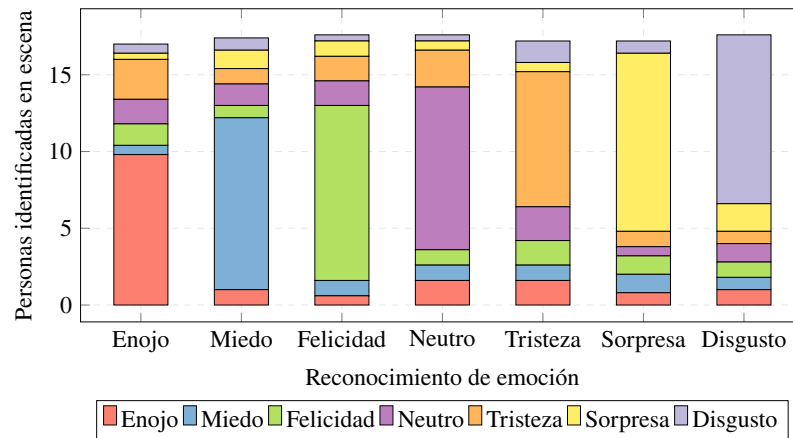


Figura 4.8. Reconocimiento de emociones en prueba realizada

Cada participante completó una sesión de prueba individual y grupal (ver Figura 4.9), durante la cual se les presentaron 35 imágenes seleccionadas al azar de una base de datos de imágenes emocionales. Las imágenes mostraban rostros con expresiones de ira, disgusto, miedo, felicidad, neutralidad, tristeza y sorpresa.

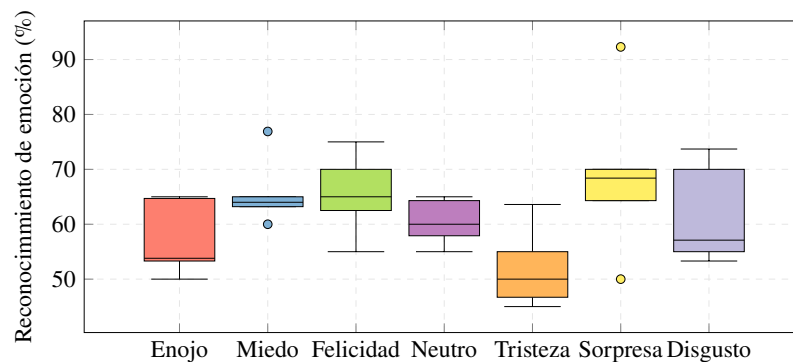


Figura 4.9. Variación del reconocimiento de las emociones en la prueba piloto

La consistencia es esencial para probar el rendimiento del sensor de emociones. Por lo tanto, durante cada sesión, la distancia entre el sensor y los participantes, así como la posición de las imágenes presentadas, se mantuvo constante. Para evaluar la capacidad del sensor para detectar y clasificar emociones bajo diferentes condiciones de iluminación, la iluminación se modificó en cada sesión, como se muestra en la Figura 4.10.

Los resultados de la prueba revelaron que el sensor de emociones detectó y clasificó con éxito las emociones en todas las condiciones de iluminación establecidas, incluida la condición más baja del 20 % a 100 lm. No obstante, la precisión del sensor mejora gradualmente con una luz más intensa, alcanzando finalmente su nivel de precisión más alto en 500 lm.

El sistema de identificación de emociones empleó sofisticadas técnicas de procesamiento de imágenes para analizar los rasgos faciales de los individuos en las imágenes, como la forma de su boca, ojos y cejas. En base a estas características, el sensor fue capaz de evaluar la intensidad de la emoción en cada imagen y asignarla a una de las siete categorías emocionales preestablecidas.

Como se ve en la Figura 4.9, los resultados de la prueba indican que el sensor de emoción alcanzó una

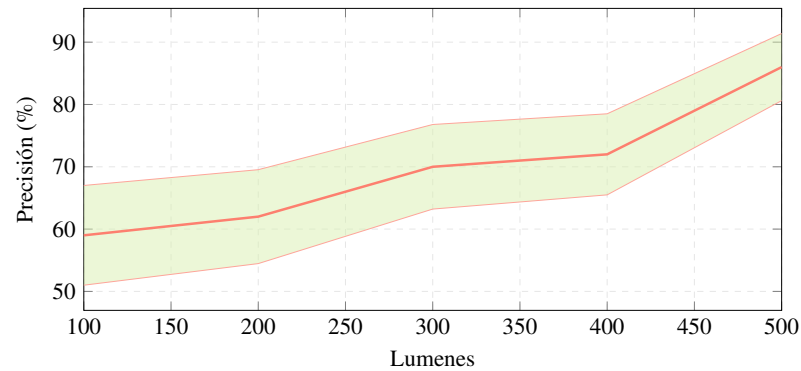


Figura 4.10. Consistencia entre los datos de los diferentes intensidades de iluminación

tasa de precisión máxima de 74 % para la medición de la emoción Felicidad. Los datos más precisos se registraron para la detección de la expresión de Sorpresa, con 92 %, aunque es un valor atípico.

La menor precisión se observó para la detección de Tristeza, con 42 %. Estos últimos datos pertenecen al valor más bajo, sin ser un valor atípico. Los resultados de los sistemas desarrollados y las pruebas de prueba de concepto muestran que las hipótesis relativas al sistema y los diferentes modelos obtenidos cumplen con los parámetros y establecen referencias similares a los requisitos de modelado.

4.3 | Sistema de instrumentación con tecnología AIoT

Un sistema de instrumentación electrónica es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos diseñados para medir, monitorear y controlar variables físicas en un entorno específico. Estos sistemas son ampliamente utilizados en una variedad de campos, como la industria, la medicina, la investigación científica, entre otros.

Para diseñar un sistema de instrumentación electrónica que lleve a la construcción de un ambiente adecuado con una intención de sugerir un estímulo adecuado se hace necesario el diseño de un sistema capaz de identificar de manera ágil y con suficiente información sobre las condiciones del entorno. Las variables que se consideran son los niveles de intensidad de sonido, nivel de iluminación, temperatura y humedad.

Se realiza un análisis de las condiciones de trabajo del sistema. En este paso, se identifican los límites de las variables físicas que se desean medir y se determina el tipo de sensores necesarios para realizar estas mediciones. Después se definen los estándares y protocolos que se seguirán durante el desarrollo del sistema. Estos incluyen el análisis del tipo de salida que tienen los sensores, requisitos de rendimiento y especificaciones técnicas.

Para diseñar el sistema de instrumentación electrónica usamos como placa de desarrollo tecnológico un Arduino CH340 y los sensores AM2305B, AS11-I2C y LTR 390.

El microcontrolador Arduino CH340, que es una placa de desarrollo con Wi-Fi y Bluetooth, y es compatible con una amplia gama de sensores y actuadores es consecuencia del análisis de las tecnologías IoT presentes.

Los sensores para la medición de temperatura y humedad con interfaz de 1 cable es el AM2305B. Es capaz de medir la temperatura con una resolución de 0.1°C y una precisión de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, y la humedad con una resolución

de 0.1 % HR y una precisión de ± 2 % HR2.

El AS11 es un sensor de presión acústica o intensidad de sonido. Este sensor utiliza el protocolo de comunicación I2C. El procesamiento de la información lo realiza dentro de la placa y transmite de manera digital los datos en un bloque de palabras. Tiene un alcance de potencia de 30dB con un rango de frecuencias desde los 20 Hz hasta los 20 KHz.

Para la medida de luz natural y radiación UV se utiliza el sensor LTR 390. Este sensor de luz UV (A-B) y luz ambiental con una interfaz I2C4.

Puede medir la luz UV con una respuesta espectral entre 300 y 400nm y luz natural entre los 400 y los 700nm.

El sistema concentra la información de los sensores a través del bus I2C. En la placa de desarrollo se centralizan los datos, se almacenan a manera de buffer circular y se establece la comunicación con la base de datos alojada en la nube como se puede observar en la figura 4.11.

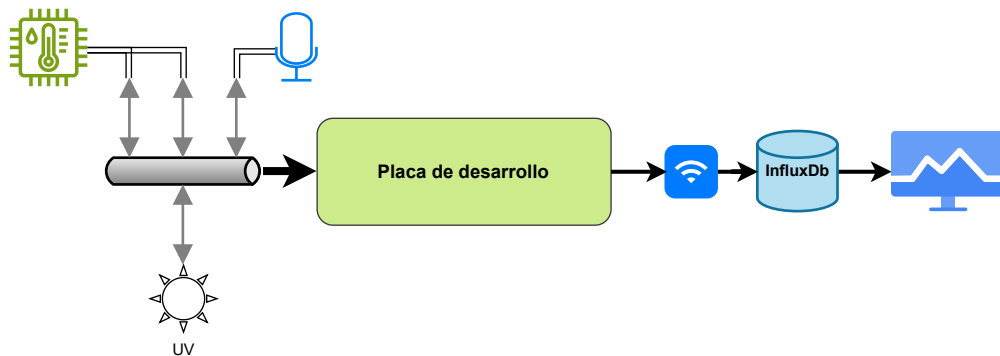


Figura 4.11. Diseño de sistema de instrumentación electrónica

Esto incluye la definición de los protocolos de comunicación entre los diferentes componentes del sistema, así como la forma en que se almacenarán, procesarán y presentarán los datos recogidos. En este caso, se utilizará el protocolo I2C para la comunicación entre el Arduino CH340 y los sensores.

Para el desarrollo del sistema se ubican los sensores de manera conjunta con una distancia mínima del cable de conexión y evitar errores por pérdida capacitiva. Se debe organizar el software dentro de la placa de desarrollo para leer los datos de los sensores, guardarlos en el dispositivo, procesarlos y enviarlos a la base de datos. La programación incluye la implementación de algoritmos de control, la configuración de las comunicaciones I2C, y la programación de las funciones de lectura y escritura de los sensores.

Por último, se debe realizar pruebas para verificar que el sistema de instrumentación esté funcionando correctamente. Se utilizan medidores de referencia para validar cada variable. Se verifica el funcionamiento en línea y fuera de línea y la visualización y registro de los datos.

La base de datos se construye sobre la placa base, con un método de buffer circular manteniendo los datos de las señales en función de la capacidad de conexión a la base de datos de la nube, usando como sistema de registro la base de datos InfluxDb. Este tipo de bases de datos permite el registro de datos en series de tiempo que permite analizar de manera temporal el funcionamiento del sistema y el comportamiento de las variables medioambientales.

El sistema valida la conexión a internet vía WiFi y transmite la base de datos de manera síncrona, actualizando los datos que se tienen en memoria. Una vez los datos son actualizados el sistema empieza transmitir en tiempo real los datos a la base de datos.

Cada registro lleva una etiqueta con el tipo de variable y la temporalidad tomado de la plataforma. De esta manera se puede hacer la consulta de los datos agrupados por el tiempo de funcionamiento y permitiendo exportar el registro como un archivo plano para su posterior análisis.

El panel de visualización, una herramienta poderosa y versátil, se conecta directamente a la base de datos, permitiendo una observación en tiempo real de la evolución de los datos. Esta visualización puede adoptar diversas formas, desde una representación textual hasta un diagrama de tramas de datos o un reloj indicador, entre otros.

La sincronización de los datos se realiza en tiempo real, lo que permite una visualización secuencial continua de la información. Esta característica es esencial para mantenerse al día con las tendencias emergentes y los cambios dinámicos en los datos. El sistema de instrumentación permite la visualización de datos, también ofrece la posibilidad de acceder a los registros en un archivo plano. Esto facilita el análisis de los datos en un sistema independiente, proporcionando una mayor flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades específicas del controlador y su influencia en el grupo.

4.4 | Sistema de estímulo visual controlando la iluminación artificial

La iluminación es un aspecto importante en la vida cotidiana, ya que afecta el comportamiento humano y la manera en como percibimos el entorno. Debido a esto y a la condición predominante en ambientes interiores de tener luz artificial en gran parte del día se pensó en un sistema que permita la interacción a través de la iluminación artificial.

Para generar este estímulo se diseñó e implementó un sistema de iluminación RGB basado en tecnología IoT como una solución innovadora para mejorar el comportamiento humano y reducir el consumo de energía. El sistema utiliza tecnología IoT para controlar la iluminación RGB y ajustarla automáticamente según las necesidades del usuario.

El sistema de control de iluminación RGB basado en tecnología AIoT es como un maestro de ceremonias invisible que ajusta las luces para crear el ambiente perfecto en cada momento. Este desarrollo forma parte de un conjunto que busca la creación de un ecosistema digital que incluyan los procesos de captura, discretización, almacenamiento y posterior análisis de las variables existentes en lugares cerrados que actualmente es posible gracias a los sistemas de instrumentación electrónica.

El impacto de los factores ambientales en las emociones de las personas y su repercusión en la respuesta conductual son dos aspectos para tener en cuenta. El sistema propuesto para un entorno social permite ajustar los principales parámetros de las condiciones de iluminación en un entorno cerrado como estímulo visual que contribuye a la producción de estados de activación o calma en el público objetivo. El sistema determina algunas condiciones medibles presentes en el ambiente y establece una señal de control.

A nivel funcional el sistema enlaza con la base de datos InfluxDB, que genera una etiqueta con la línea de tiempo en minutos con una precisión de tiempo Unix de 760.000 puntos, conservando la integridad de los datos recogidos de los sensores. Cada 30 segundos, el sistema registra el envío y la recepción de datos. Los datos se

procesan, y en función de la intención del estímulo necesario, los datos son recibidos por el microcontrolador, que luego ajusta la iluminación por su cuenta.

Gracias a la coherencia y repetibilidad de los datos, puede seguir funcionando incluso cuando se realizan pruebas de desconexión de la red utilizando la última conexión que se envió desde el cuadro de mandos. El sistema reacciona a los datos que se recogen de muchas fuentes sobre la posibilidad de que la iluminación actúe como estímulo para provocar sentimientos o producir condiciones de comportamiento en un entorno.

Las pruebas se realizan bajo la presunción de que los estudios psicológicos y el análisis de las respuestas se tienen como paradigma base y se hace la observación desde un punto de vista tecnológico, así como la posibilidad de que la interpretación de estas normas y la idoneidad para su uso en un entorno real.

Los resultados muestran que el sistema de control de iluminación RGB basado en tecnología IoT es efectivo para mejorar el comportamiento humano y reducir el consumo de energía. En particular, se encontró que el sistema es capaz de ajustar automáticamente la iluminación según las necesidades del usuario y reducir el consumo de energía en un 30 %.

Debido a la influencia directa del sistema ante el comportamiento se propone el término AloB (Artificial Intelligence of Behavior) que combina tecnología por y para las personas. Busca el control sugerido de condiciones de espacios cerrados entorno como la iluminación artificial y el sonido ambiente para hacer que los lugares se ajusten a las necesidades comportamiento de las personas[49] de acuerdo a una intención programable o automática.

El concepto AloB tiene sus orígenes en asistentes virtuales y el termino se separa del concepto Ambient Intelligence (Aml) ya que este es un paradigma de la informática y la inteligencia artificial que busca la creación de entornos inteligentes y autónomos que interactúen con las personas de manera natural y sin esfuerzo. Aml se centra en el diseño de sistemas que se adapten a los usuarios y a su entorno, y que sean capaces de anticipar y satisfacer sus necesidades de manera proactiva.

La principal diferencia entre Aml y AloB radica en su enfoque y alcance. Aml se centra en la creación de entornos autónomos e inteligentes que interactúan con las personas de manera natural y sin esfuerzo, utilizando sensores y sistemas de procesamiento de información para adaptarse a las necesidades y preferencias de los usuarios en tiempo real.

En cambio, AloB se centra en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para el análisis y la predicción del comportamiento humano. AloB utiliza técnicas de procesamiento de lenguaje natural, aprendizaje automático y análisis de datos para comprender y predecir el comportamiento de los usuarios, permitiendo así que los entornos sociales puedan tener una interacción con los usuarios desde una intención y personalización del espacio.

En un entorno que integra tecnología AloB los dispositivos y sistemas tecnológicos están integrados y son capaces de intercambiar información y comunicarse entre sí, creando un ambiente interactivo y autónomo. En específico un sistema de iluminación inteligente que se ajusta automáticamente a las necesidades y preferencias de los usuarios en función de la hora del día, la presencia de personas y los niveles de luz natural sería un claro ejemplo.

El objetivo de esta tecnología es crear entornos inteligentes que permitan a las personas vivir y trabajar de manera más segura, cómoda, eficiente y sostenible, mejorando así la calidad de vida y la productividad de los usuarios teniendo en cuenta la intención del comportamiento sugerido a través de los estímulos presentes en los ambientes.

El sistema aborda el uso de sensores de condiciones ambientales y cómo estos datos se utilizan para crear un estímulo visual para cambiar la iluminación artificial del espacio interior[66]. El sistema planteado se sitúa en la capa FROG de conexión y sirve como terminal de un entorno AloB [20].

Puede realizar todas sus operaciones de forma local utilizando el último conjunto de datos registrados de manera temporal. También permite su uso cuando hay una conexión con el servidor de forma remota a través de una conexión en la nube[67].

Se registra la humedad relativa, la temperatura, la presión acústica y la radiación UV como factores ambientales. Tres puntos de control como se ve en la figura 4.12 pueden ser una selección de condiciones ambientales que pueden ser gestionadas en el punto de conexión o de forma remota: activador, calmante y neutro[60].

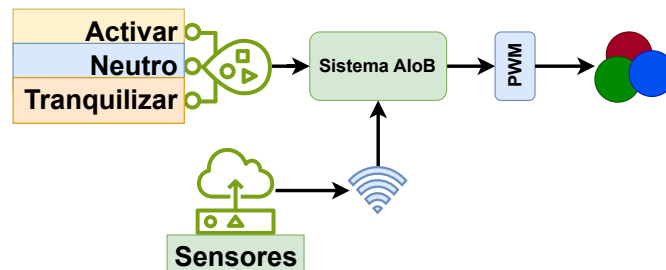


Figura 4.12. Sistema de control por sugerencia de estado al control de iluminación

Otro factor en el que se sitúa la propuesta es en el uso de la tecnología IoT (Internet of Things)[68], que ha permitido el procesamiento, almacenamiento[4], y transmisión de datos de forma local o remota[7], simplificando los diseños con elementos terminales de bajo coste y baja potencia de funcionamiento[29]. Permitiendo su ubicación en lugares remotos sin afectar al entorno y convirtiéndose en elementos no invasivos[1].

Los datos registrados permitieron el uso de sistemas de mayor complejidad para analizar la información y cuál es la conducta de esta información para poder hacer modelos [69], estimar, y predecir comportamientos futuros[70].

La IA permite el análisis de una cantidad enorme de datos y puede controlar sistemas con un modelo determinista, estático o dinámico. En el caso de sistemas con un gran número de grados de libertad, los métodos clásicos de análisis no funcionan. Este es el punto de combinar términos como IoT e IA para el uso de sistemas personales y sociales de intervención tecnológica[4].

En el campo de la iluminación artificial nos permite identificar las condiciones ambientales y sugerir una ayuda al estado emocional de las personas presentes en un espacio[71]. La estimulación visual de la retina produce un flujo de información a través del nervio óptico hacia el tálamo, donde las células visuales procesan la información y la transmiten a la corteza visual.

En la corteza visual, la información se procesa aún más y se generan las respuestas que se miden en el Potencial Positivo Tardío (PPT). El registro y análisis de estas señales pueden ser utilizados para estudiar cómo los estímulos visuales afectan el comportamiento humano. En particular, estas técnicas pueden ser utilizadas para investigar la atención selectiva y el procesamiento emocional de la información visual.

Los sistemas de iluminación artificial tienen un efecto calmante y puede afectar a cómo nos sentimos. A través de su color, intensidad o temperatura de color, la luz puede influir en el estado de ánimo[72]. Los colores

que tienden al rojo tienen un efecto energizante, las luces que tienden al tono azul tienen un efecto calmante, y la luz ámbar o blanca (luz natural) mantiene el estado de ánimo actual[73].

La disminución de la intensidad y la tendencia hacia un color de menor temperatura aumenta la sensación de relajación o calma, pero también de melancolía[5]. Sin embargo, un aumento de color e intensidad produce una mayor activación en nuestro organismo, aunque en exceso puede provocar ansiedad[74]. Debido a los cambios en las relaciones sociales, en Occidente las personas pasan una media del 90 % del día en interiores[75]. Los efectos de la falta de luz natural en el cuerpo humano requirieron un complejo estudio que condujo al descubrimiento en 2001 de receptores de luz adicionales, es decir, células sensibles a la luz artificial [63].

El cuerpo posee estos receptores, que envían señales al cerebro y actúan controlando el ritmo día/noche (ver figura 4.13). Esto es lo que conocemos como ritmo circadiano, y mediante el uso correcto de la luz artificial, podemos adaptar y mejorar este ciclo. Estos receptores provocan un efecto biológico al producir dos hormonas: la del sueño (Melatonina), y la de la actividad (Cortisol), que influyen ambas en la presión arterial, la vitalidad, el ritmo cardíaco y el estado de ánimo, entre otros [76][2][47].

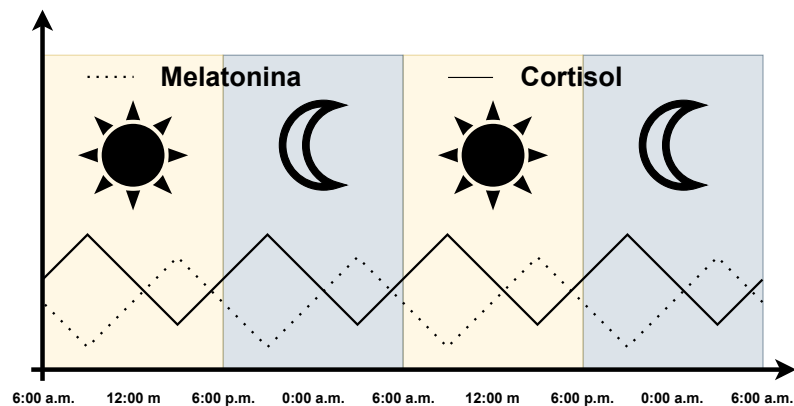


Figura 4.13. Ritmo circadiano

Un adecuado control de la iluminación artificial puede influir en las personas si además de considerar el efecto visual tiene en cuenta los aspectos biológicos, las condiciones ambientales y la sensación provocada contribuirán a que el estímulo tenga un mayor efecto [77].

Un modelo de lógica difusa es una representación matemática y computacional de un sistema o fenómeno que utiliza la teoría de conjuntos difusos para manejar la incertidumbre y la ambigüedad en los datos. La lógica difusa es una extensión de la lógica clásica que permite el razonamiento y la toma de decisiones en situaciones donde las variables pueden tener grados de verdad parciales o difusos en lugar de ser simplemente verdaderas o falsas.

En un modelo de lógica difusa, se definen variables de entrada, variables de salida y reglas difusas que establecen las relaciones entre las variables de entrada y la variable de salida. Cada variable se divide en conjuntos difusos, que son conjuntos de valores que describen el grado de pertenencia de los elementos a ese conjunto (ver tabla 4.6). Se utilizan funciones de membresía para asignar un grado de pertenencia a cada valor en el dominio de una variable.

Las reglas difusas expresan el conocimiento experto o las relaciones entre las variables. Estas reglas establecen cómo se combinarán los conjuntos difusos de entrada para obtener un conjunto difuso de salida. Las

Tabla 4.6 Conjuntos difusos con los parámetros del controlador lógico difuso

Estado	Temperatura	Humedad	índice UV	Nivel de sonido	Color RGB	Potencia
Activate	$t > 40$	$HR > 60$	1 -2	30 - 40 dB	0x001FFF	20 %
Activate	$20 > t < 40$	$40 > HR < 60$	3 -7	40 - 60 dB	0xFFFF00	40 %
Activate	$t < 20$	$HR < 40$	$UV > 8$	60 - 80 dB	0xFF1F00	80 %
Neutral	$t > 40$	$HR > 60$	1 -2	30 - 40 dB	0x00FFFF	40 %
Neutral	$20 > t < 40$	$40 > HR < 60$	3 -7	40 - 60 dB	0FFFFFFF	50 %
Neutral	$t < 20$	$HR < 40$	$UV > 8$	60 - 80 dB	0xFFFF00	60 %
Relax	$t > 40$	$HR > 60$	1 -2	30 - 40 dB	0x0000FF	80 %
Relax	$20 > t < 40$	$40 > HR < 60$	3 -7	40 - 60 dB	0x00FFFF	40 %
Relax	$t < 20$	$HR < 40$	$UV > 8$	60 - 80 dB	0xF1FF00	20 %

reglas difusas se definen utilizando una estructura de "si-entonces", donde se especifica la condición difusa en términos de los conjuntos difusos de las variables de entrada y la acción difusa en términos del conjunto difuso de la variable de salida.

Una vez definido el modelo de lógica difusa, se utilizan técnicas de inferencia difusa para calcular la salida difusa en función de las entradas y las reglas difusas. Luego, la salida difusa se puede convertir en una salida numérica o en una decisión mediante técnicas de defuzzificación. El uso de control lógico-difuso permite ser implementado en sistemas embebidos con capacidad limitada. Además, permite que los sistemas que tienen estados discretos de salida y múltiples entradas a través de las reglas y el motor de inferencias poder mantener las condiciones usando condiciones lingüistas.

Para establecer el modelo del sistema se considera aspectos de la iluminación artificial como luces de temperaturas cálidas o neutras entre 2700k y 4000k se aconsejan si las actividades requieren cierta contemplación y la intensidad puede oscilar entre 100 y 400 lúmenes. Cuando la iluminación es demasiado fuerte, puede causar miedo y cambiar el comportamiento de las personas[78].

El diseño del sistema le permite controlar la potencia, así como reproducir los colores de la paleta RGB a 8 bits. Los ajustes PWM para producir los colores se muestran en la tabla 4.6, donde la intensidad oscila entre el 20 % del ciclo útil y el 80 % de la potencia total del sistema[79].

La potencia de la iluminación es proporcional al volumen y a la distancia de la fuente, un índice importante a considerar es el Índice de Reproducción Cromática (IRC), este tiene una variación de 0 a 100 % considerando un valor inferior a 60 % como una iluminación defectuosa[80].

Esto hace que el sistema al utilizar la salida a transistor sea fácilmente adaptable a controladores de mayor potencia en caso necesario o modificaciones de la cantidad de iluminación adaptable a sistemas comerciales. Las combinaciones imaginables de todas las variantes se realizan en el programa teniendo en cuenta las referencias suministradas, como se muestra en la Tabla 4.6, para conseguir un impacto acorde con el estímulo previsto.

Estos valores se generan con el bloque de inferencia difusa que utiliza un motor para evaluar las reglas difusas y determinar el estado de comportamiento y los colores de iluminación correspondientes. El motor de inferencia calculará los grados de pertenencia de las variables ambientales a las funciones de membresía y aplicará las reglas difusas para obtener los resultados.

Estos valores se convierten en valores de potencia PWM RGB, se describen desde la salida del motor de inferencia para controlar las luces RGB. Ajusta los niveles de intensidad de cada color (rojo, verde y azul) de acuerdo con los colores asociados al estado de comportamiento determinado.

Se pueden obtener datos que permitan crear un sistema de iluminación que mejore el comportamiento previsto si además de los ajustes de iluminación se evalúan otros parámetros ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la presión acústica y la radiación UV.

Una vez conectado a la red, el sistema envía los datos a una base de datos InfluxDB, que está diseñada para almacenar datos de series temporales. Los datos registrados construyen una base de datos que además de tener los valores tiene la etiqueta temporal del registro. Esto permite el análisis de la información y la trazabilidad de la propuesta.

También se accede a la base de datos mediante el visor GRAFANA, además de permitir la visualización en diferentes escalas temporales, el sistema permite acceder a los datos visualizados como un fichero plano para su análisis desde cualquier aplicación[81]. Dentro del visor, se utiliza un dial para seleccionar el estado esperado del entorno. Estos datos se almacenan en la nube a través de la red y se utiliza un buffer circular en el dispositivo para almacenar los datos temporalmente en caso de que haya un problema de conexión a la red[18].

Este tipo de registro implica que los datos se almacenan durante un periodo de tiempo determinado, en caso de que el sistema no pueda volver a conectarse a la red, mantendrá los datos durante 12 días de registro[62]. Estos datos se almacenan en una memoria no volátil que incluso fallos en el suministro eléctrico pueden mantener los datos almacenados[62].

Gracias a la capacidad de almacenamiento y al diseño de la base de datos, se puede crear un conjunto de datos sobre el impacto de las condiciones de iluminación en el comportamiento, lo que también abre un nuevo campo de investigación para otras ramas de la ciencia.

La tecnología relativa a los sistemas AloB demuestra cómo los sistemas tecnológicos pueden acercarse y acompañar a las personas sin competir necesariamente con ellas; es un paradigma que sugiere un futuro en el que personas y máquinas coexistirán mediante una relación de construcción entre ciencia, tecnología y sociedad. Se realizó el acoplamiento de impedancias adecuado y la respuesta estable del sistema tanto en operaciones en línea como fuera de línea.

Al realizar la prueba piloto se obtuvieron datos usando un sensor ECG (ElectroCardioGramma), esto permite establecer parámetros que identifican la influencia de la iluminación artificial y el IRC sobre las reacciones de las personas.

Para la prueba piloto se uso una carta de colores establecida como se verá en los gráficos siguientes y de acuerdo a las condiciones medioambientales el sistema hace un ajuste suave de la iluminación. En la prueba piloto se hace el registro de las señales ECG de las personas.

La prueba se realizó con 125 voluntarios que usaron una manilla de registro ECG y se realiza la obtención de la base de datos. Se descartaron 25 valores atípicos y se obtuvieron 100 registros coherentes.

En la figura 4.14 se puede observar como los colores verde y fucsia tienen estadísticamente una mayor influencia en aumentar los latidos dentro de los datos del Q2.

El color amarillo es el que mayor influencia en latidos genera mantener los datos del Q4. Estos datos son durante el tiempo de exposición de las personas y son susceptibles a los cambios por condiciones externas como las emociones presentes, los pensamientos y las condiciones del contexto ajenas a las pruebas.

La influencia directa del sistema sobre la atención aumenta con una media cercana al 70 % independiente

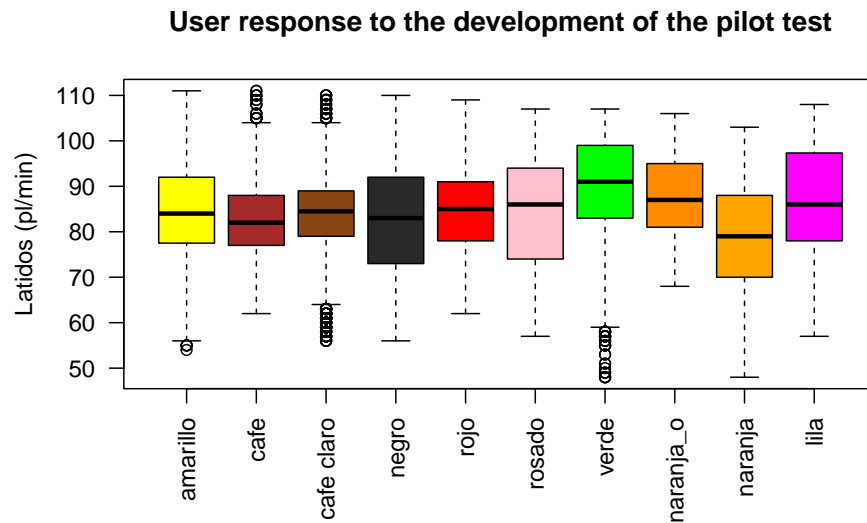


Figura 4.14. Variación de latidos en función del IRC y del color

del color usado para la iluminación como se puede observar en la figura 4.33.

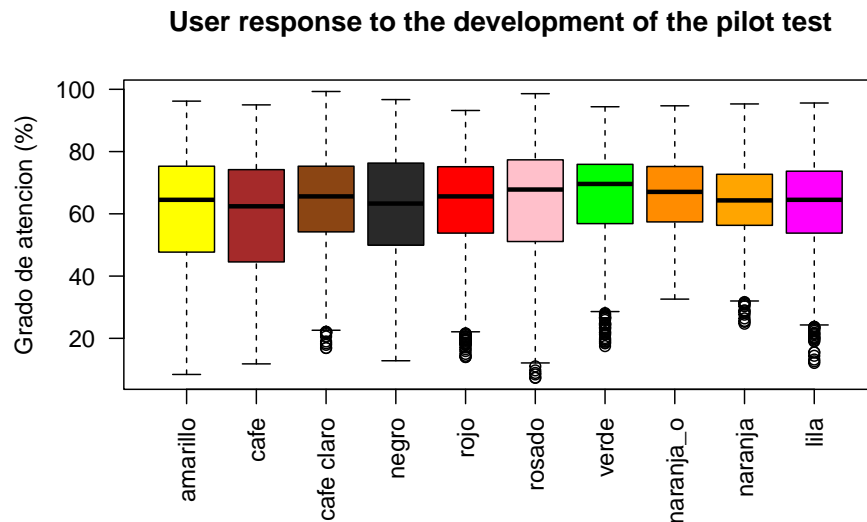


Figura 4.15. Variación del porcentaje de la atención en función del IRC y del color

En el nivel de presión (ver figura 4.32) la influencia permitió a las personas sentir un mayor nivel de tranquilidad dejando la media de la percepción por debajo del 42 %.

La percepción de la relajación en la prueba fue con una media del 55 % como se puede observar en la figura 4.34 haciendo visible el impacto que el sistema tiene sobre las condiciones de las personas en esta prueba piloto. Esto muestra una influencia directa de la iluminación artificial sobre la sensación de comodidad en el ambiente.

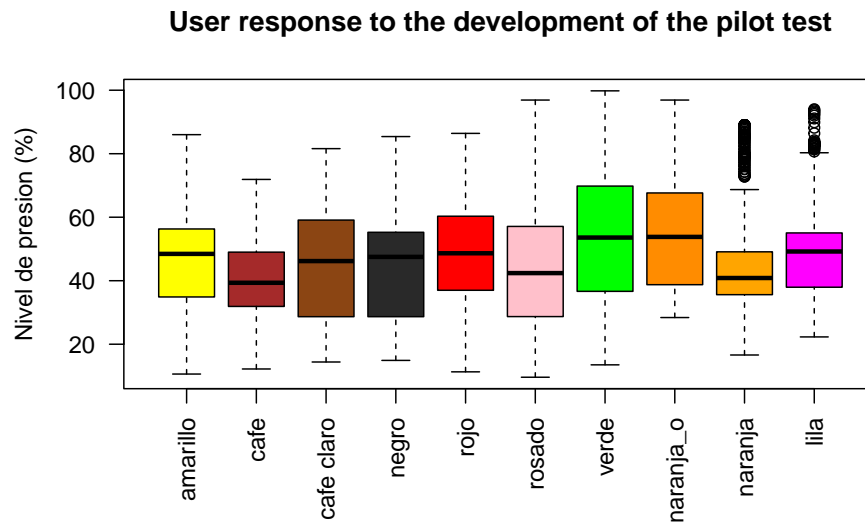


Figura 4.16. Variación del porcentaje de percepción de la presión en función del IRC y del color

4.5 | Sistema de interacción

La historia de la modificación de estímulos sensoriales se remonta a décadas atrás, con investigaciones pioneras que exploraron la relación entre la percepción humana y la estimulación controlada. Desde la creación de las primeras interfaces cerebro-computadora hasta la actualidad, hemos presenciado un avance exponencial en la comprensión de cómo el cerebro interpreta y responde a los estímulos visuales y auditivos.

A medida que la tecnología ha evolucionado, también lo han hecho los desafíos. La creación de un sistema de interacción para la modificación de estímulos sensoriales no es una tarea trivial. Se deben abordar desafíos tecnológicos, médicos y éticos para desarrollar una plataforma que sea efectiva, segura y ética.

Los avances recientes en la miniaturización de sensores y el procesamiento de datos en tiempo real han abierto nuevas oportunidades para explorar las complejidades de la percepción humana de una manera sin precedentes.

Esta tarea de la investigación busca abordar estos desafíos y aprovechar las oportunidades emergentes para diseñar un sistema de interacción integral que permita no solo la modificación de estímulos auditivos y visuales. También se desea la captura precisa de respuestas fisiológicas mediante la utilización de una diadema neuronal. El objetivo fundamental es explorar cómo la interacción entre los estímulos sensoriales modificados y las respuestas cerebrales puede arrojar luz sobre la selección de los estímulos adecuados para el sistema y sus aplicaciones potenciales para evocar un comportamiento y mejorar la percepción de comodidad en un ambiente interior.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para avanzar en la comprensión de cómo el cerebro humano interpreta y responde a los estímulos modificados, lo que puede tener aplicaciones significativas en el diseño de terapias personalizadas, la mejora del rendimiento cognitivo y el desarrollo de tecnologías más intuitivas y adaptables. Además, al abordar la ética y la privacidad en el diseño del sistema, se pretende establecer estándares para la implementación responsable de tecnologías de este tipo.

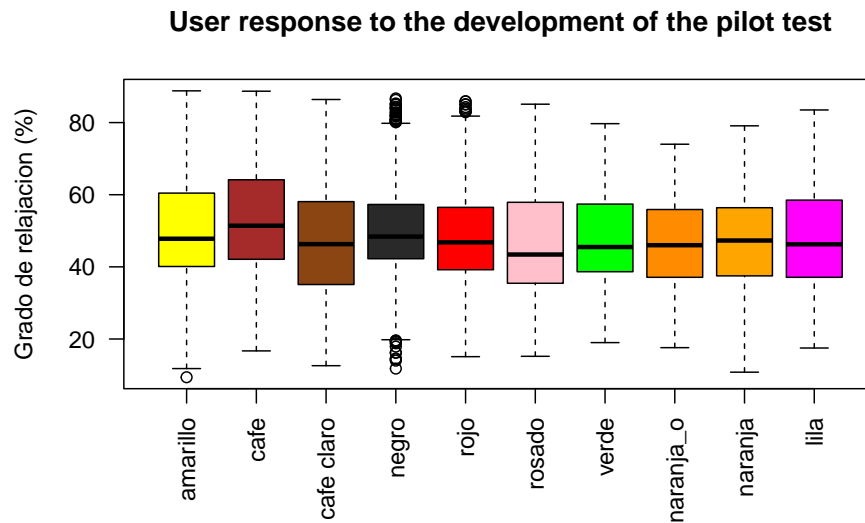


Figura 4.17. Variación del porcentaje de relajación de la presión en función del IRC y del color

Para evaluar la percepción y la capacidad del sistema debemos abordar desde 2 aristas la manera en como reconocemos la acción de los estímulos sobre las personas. Primero, debemos recoger la manera en que la gente percibe la acción de los sistema. Esta evaluación subjetiva la debemos organizar como una serie de tiempo de magnitud y debe tener una estructura de datos equiparable con otro tipo de medidas. Segundo, usamos una diadema de respuesta neuronal (EEG) de superficie con 5 puntos de contacto y coherencia cardiaca (ECG). Esta información toma un registro detallado de la manera en como nuestro cerebro percibe el entorno y las respuestas neuronales de la percepción del ambiente.

Evaluar la percepción es una tarea compleja que necesita de un sistema que permite identificar y reconocer la intención de acuerdo con la intención de las sensaciones presentes en el ambiente es un desafío como se ve en la figura 4.18. El desarrollo de este sistema de evaluación de percepción requiere como respuesta unos datos en series de tiempo de manera sincrónica en la complejidad inherente de capturar, analizar y comprender los procesos cognitivos y neurales que subyacen a la percepción humana en tiempo real.

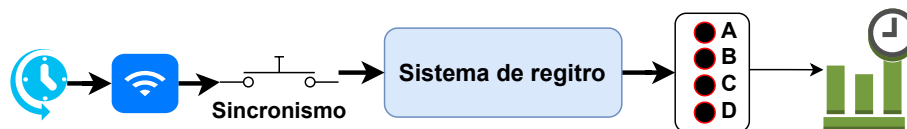


Figura 4.18. Sistema de registro de percepción de estímulos

El sistema se analiza teniendo en cuenta que la percepción de estímulos es un fenómeno altamente dinámico y multifacético. Los estímulos pueden variar en modalidad (visual, auditiva o multimedia), intensidad, duración y complejidad, lo que requiere un enfoque flexible y adaptable para su evaluación precisa. Además, la percepción no ocurre en un vacío, sino que está influenciada por una variedad de factores contextuales, como el estado emocional, la atención y las experiencias previas del individuo, lo que agrega una capa adicional de complejidad a su evaluación.

Otro parámetro que se considera es la naturaleza temporal de la percepción y la temporalidad de la respuesta cuando se presentan los estímulos. Las series de tiempo permiten examinar cómo evolucionan las respuestas perceptivas a lo largo del tiempo, lo que puede revelar patrones y procesos subyacentes. Sin embargo, la adquisición de datos en tiempo real y su análisis requieren tecnologías y métodos sofisticados, así como del diseño del aparato que registra estos valores.

La sincronización precisa entre la presentación de estímulos y la medición de respuestas es crucial para garantizar la validez de los resultados. Pequeños retrasos o inconsistencias en la sincronización pueden distorsionar los datos y llevar a interpretaciones erróneas. Por lo tanto, el diseño y la implementación del sistema de evaluación sincrónica deben abordar estos desafíos técnicos y logísticos.

La información debe tener un formato adecuado para su posterior análisis para que pueda ser interpretada y analizada en futuras investigaciones. La integración de múltiples niveles de análisis, desde la actividad neuronal hasta el comportamiento observable, es esencial para obtener una imagen completa de los procesos perceptivos en acción. Para el diseño de este sistema consideramos algunos elementos fundamentales:

1. Disposición cómoda y con la información suficiente para ser usado por cualquier usuario.
2. Autonomía energética para ser usado en diferentes condiciones y contextos.
3. Tener soporte de tiempo y almacenamiento de datos para realizar la configuración y estructura de los registros como archivos planos.
4. Sincronismo temporal en cada muestra para disminuir al mínimo el error producto de desfases de tiempo y falsa interpretación.

El sistema desarrollado tiene una pantalla de visualización, un botón de sincronismo, un reloj de tiempo real y un memoria SD que registra los datos del sistema. En la figura 4.19 se ve el panel frontal del sistema. Los cuatro botones permiten evaluar la percepción de los usuario frente a los estímulos planteados. Esta evaluación se sugiere voluntaria de manera libre puede pulsar cualquier botón según sea la sensación percibida.

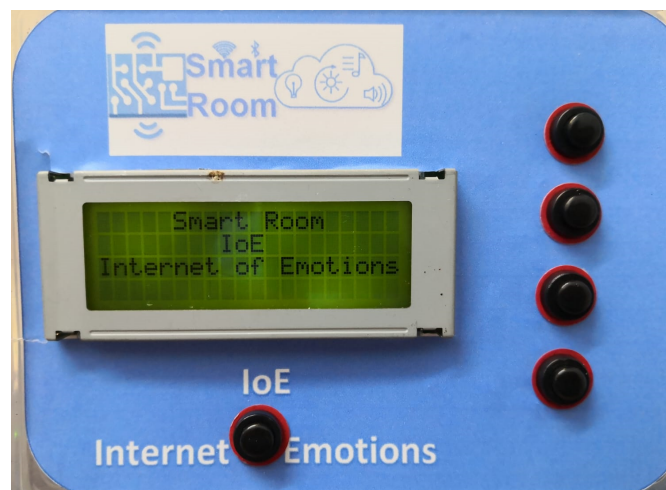


Figura 4.19. Sistema implementado en equipo físico

El sistema de evaluación de percepción ofrece mensajes guía para hacer un uso correcto de la experiencia de uso. En la figura 4.20 se da la información sobre la intención del sistema y como se hace el proceso de valoración. En la figura 4.21 se muestra el tiempo de la prueba y la opción de indicar la sensación percibida de acuerdo al estímulo presentado.

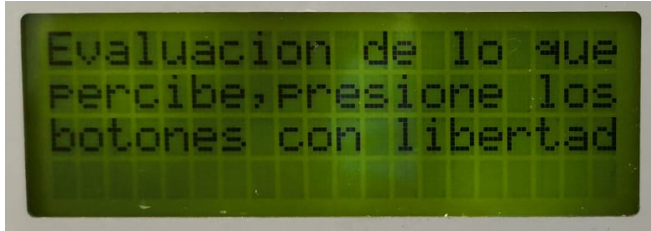


Figura 4.20. Información de intención de uso del sistema

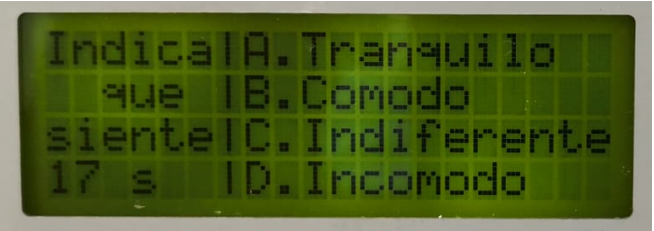


Figura 4.21. Pantalla de selección de sensación evocada

Una vez se termine la sección de la prueba piloto se presiona el botón IoE y el sistema finaliza el registro guardando los datos sobre la memoria SD generando un tiempo de la prueba y una etiqueta de tiempo para sobreponer la respuesta con los estímulos presentados.

Asimismo se trabajó de la mano con un sistema que permita registrar señales biológicas. Para esto se usa una diadema neuronal, este es un sensor avanzado para capturar señales cerebrales (EEG) y cardíacas (ECG). La conexión inalámbrica a través de Bluetooth, facilita la comunicación con el dispositivo terminal. Algunos de los componentes principales se detallan a continuación.

Algoritmos de procesamiento de señales estarán integrados en el sistema para filtrar y mejorar la calidad de las señales biológicas. Esto garantizará datos más precisos y confiables durante las pruebas.

Los datos recopilados se almacenan de forma segura en el dispositivo y podrán ser exportados para análisis posterior con una etiqueta de tiempo. El sistema no encripta los datos y no hay ningún registro de la persona que usa el dispositivo manteniendo la privacidad de las personas que usan el dispositivo. La capacidad de almacenamiento es suficiente para sesiones experimentales prolongadas.

Para evaluar el funcionamiento integral del sistema se hace un banco de estímulos que alimentan el sistema de interacción. Se hace necesario recopilar en una base de datos los estímulos que se van a trabajar auditivos, visuales y multimedia.

Crear una base de datos de estímulos auditivos de libre uso constituye una tarea esencial en el ámbito de la investigación, requiriendo una estructura cuidadosamente diseñada para su funcionamiento óptimo. Esta estructura se basa en categorías principales que abarcan una amplia gama de estímulos auditivos. En primer lugar, se definen categorías generales para abarcar las 3 intenciones del sistema: activar, tranquilizar o neutro.

Después se establecen unas subcategorías como "Sonidos de la Naturaleza", que incluyen ejemplos como bosque, playa, lluvia, entre otros, así como "Música por Género", que abarca desde música clásica hasta rock y electrónica.

Para este proceso es fundamental considerar aspectos técnicos para garantizar la eficacia y la accesibilidad de la base de datos. Esto incluye definir el formato de los archivos de audio en MP3. Además, proporcionar metadatos detallados que reconozcan el uso de la obra de sonido y que faciliten la búsqueda y la organización de

los estímulos auditivos.

Dentro de la plataforma centralizada se incluye la capacidad de mantener la base de datos actualizada con nuevos estímulos auditivos y música, asegurando su relevancia y utilidad continua.

Es fundamental garantizar un uso responsable, respetando todas las leyes de derechos de autor y proporcionando créditos adecuados a los artistas y creadores. Se incluye una clara declaración de las condiciones de uso para los usuarios, promoviendo así una utilización ética y legal de la base de datos.

Para el sistema de iluminación artificial usando variación tonal RGB es fundamental considerar una variedad de estímulos visuales para proporcionar una experiencia rica y diversa para los usuarios. Transiciones entre tonos más cálidos para la noche y tonos más fríos para el día. Aumento y disminución gradual de la intensidad de la luz de fondo. Animaciones que juegan con la simetría para atraer la atención del usuario. Patrones que se desplazan suavemente para mantener la estimulación visual.

La implementación de estímulos visuales con cambios sutiles en el color y la intensidad provocan sensaciones de ajuste al comportamiento que ayudan a las personas en su percepción de comodidad en un ambiente interior que varían según la aplicación, las condiciones ambientales y la respuesta individual y de grupo de los usuarios. De manera semejante los cambios suaves en el color del fondo y las animaciones tranquilas pueden inducir un estado de relajación y bienestar.

El tercer estímulo es multimedia, para ambientes que tienen sistemas de información como pantallas poder sobreponer a la información el estímulo y generar sensaciones adecuadas para las personas presentes.

Este estímulo debe ser una experiencia visual atractiva, para eso se realiza la combinación de colores atractivos, animaciones suaves y patrones geométricos que pueden resultar en una experiencia visualmente agradable.

En las pruebas piloto de evaluación del sistema integrado realizadas con 25 participantes se obtuvieron datos que permiten identificar la capacidad del sistema y su efecto directo. En la figura 4.22 se puede ver la variación de latidos del corazón en la prueba de concepto. Esta figura muestra la variación de latidos del corazón en la prueba de concepto. Se puede observar la consistencia de los datos y el mantenimiento de los latidos alrededor de las 80 pulsaciones (frecuencia media normal).

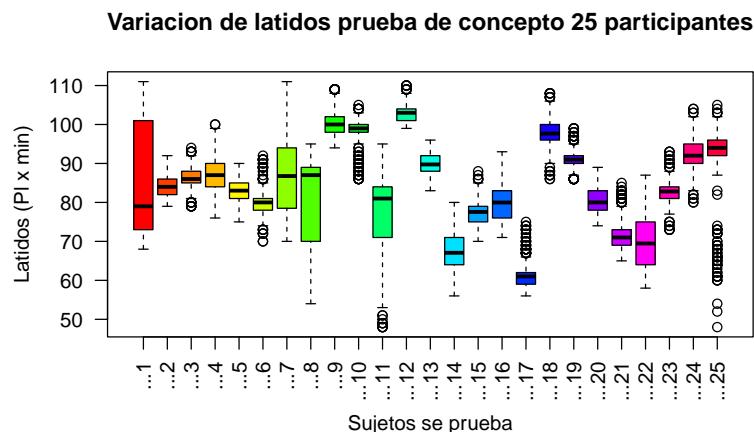


Figura 4.22. Variación de latidos en cada uno de los sujetos de prueba.

En la prueba de concepto también se analiza el índice de relajación teniendo una media superior al 50 % como se observa en la figura 4.23. La respuesta del sistema es capaz de ajustar las condiciones para que las personas se mantengan en una condición estable de índice de relajación en condiciones adecuadas para un ambiente interior de interacción social.

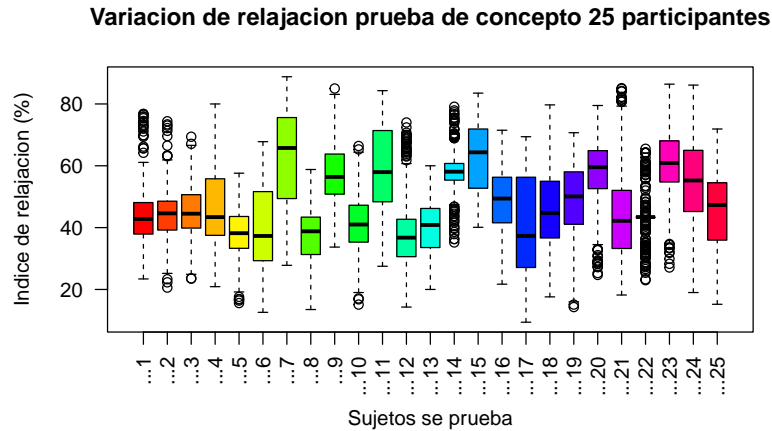


Figura 4.23. Variación de la relajación en cada uno de los sujetos de prueba.

Con la misma prueba de concepto se analiza la consistencia de los datos comparando la variación de los registros (ver figura 4.24). Esta validación se realiza con valores binarios de coherencia y se representan con números entre 0 y 1. Siendo numero 1 consistente durante toda la prueba. Las barras indican coherencia parcial de la prueba y los valores en cero muestran que no hay coherencia de los registros.

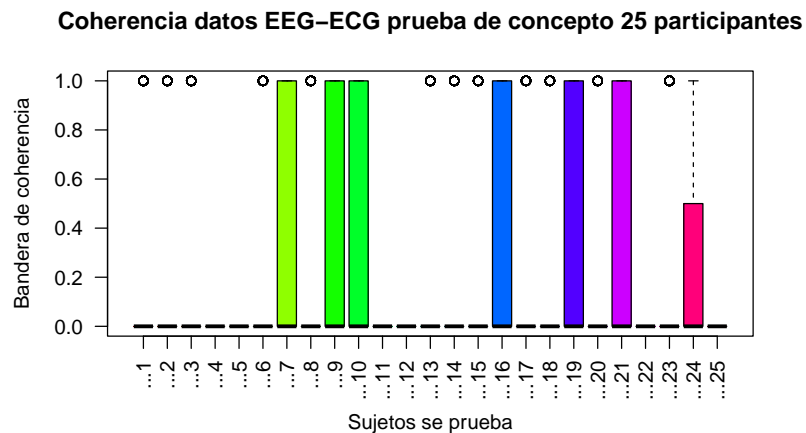


Figura 4.24. Coherencia del registro de datos en cada uno de los sujetos de prueba

De acuerdo con la figura 4.24 los sujetos 4, 5, 12, 22 y 25 tienen coherencia nula en las pruebas, esto indica una variación muy alta del registro que representan datos atípicos en mayor número.

Este tipo de estímulos busca mantener el interés del usuario, evitar la fatiga visual y de ser posible ser apoyo a los sistemas de información cuando hay demasiados datos para el usuario. El sistema es adaptable con

la autonomía de ajustar la intensidad, animaciones y colores que permite a los usuarios mejorar la experiencia según la intención del estímulo y la intención en el ambiente. Este tipo de estímulo se combina con las señales que provienen de los sensores para mantener un refuerzo positivo de los usuarios sobre la capacidad de adaptar el entorno y la animación a los requerimientos específicos del ambiente.

4.6 | Evaluación de estímulos en el comportamiento evocado

Para evaluar la capacidad de los estímulos se realizaron dos tipos de pruebas piloto buscando la interacción de los usuarios de manera directa con el ecosistema completo. Estas pruebas se hicieron de manera grupal y de manera individual.

Para la realización de las pruebas y validación de funcionamiento del sistema se diseñó la prueba de concepto del sistema. Para esta tarea primero se identifica los datos básicos de los usuarios para crear y guardar perfiles de experimentos, lo que permitirá una fácil replicación y comparación entre distintas sesiones.

La prueba piloto utiliza una programación aleatoria de secuencias de estímulos, determinando el orden, la duración y la variación de los estímulos a lo largo de la sesión. Esto permite disminuir un factor de influencia y permitir ver la variación y la condición sobrepuesta en cada uno de los estímulos.

Los estímulos son elementos tomados del ambiente natural y no representan ningún factor de cambio o riesgo sobre las personas. Pero para evitar agotamiento en el grupo de prueba se hace un sistema de temporización preciso que permita la sincronización adecuada entre la presentación de estímulos y la captura de señales, facilitando así el análisis posterior.

El sistema de presentación de estímulos realiza pruebas de verificación de conexión para garantizar que están interconectados de manera coherente, formando un sistema integral que permitirá la modificación controlada de estímulos sensoriales y la recopilación de datos fisiológicos para avanzar en la comprensión de la percepción

El sistema permite el registro de señales EEG y ECG durante 5 minutos en la interacción con tecnología AIoT para contribuir al comportamiento de una persona o un grupo. El enfoque se centra en identificar dentro del Potencial Positivo Tardío (PPT) y su relación con la actividad cerebral y cardíaca. Se destacan aplicaciones prácticas en la mejora del aprendizaje, el confort en espacios públicos y su potencial uso en los hogares.

Este sistema en su intención de ser no invasivo y de no recopilar información personal almacena los datos con etiquetas de tiempo anteponiendo las implicaciones éticas y de privacidad. Se señalan desafíos como la variabilidad individual, las condiciones sociales y la necesidad de un trabajo posterior con una validación clínica. Las sugerencias para futuras investigaciones incluyen la optimización de algoritmos, la interoperabilidad y la aplicación específica en salud mental.

La integración de señales biométricas con tecnología AIoT promete desde una mirada del individuo de manera personal y como parte de un grupo la posibilidad de la tecnología teniendo “empatía”, pero se enfatiza la importancia de abordar de manera ética y efectiva los desafíos asociados con este avance.

Las señales EEG representan la actividad eléctrica del cerebro y proporcionan información valiosa sobre los procesos cognitivos y emocionales, mientras que las señales ECG reflejan la actividad eléctrica del corazón y están relacionadas con el estado emocional y la respuesta al estrés.

En particular, el PPT, un componente de las señales EEG, se ha asociado con la evaluación de recompensas y la toma de decisiones. Exploraremos cómo estas señales se integran en un sistema AIoT para regular el comportamiento, y cómo el análisis conjunto de EEG y ECG puede proporcionar información única y valiosa sobre la regulación del comportamiento humano.

En la figura 4.25 se muestra el experimento para evaluar en conjunto los diferentes estímulos, la persona está con la diadema neuronal y se hace el registro por 5 minutos, donde de manera aleatoria se muestran los estímulos y se modifican cada 30 segundos. La diadema registra las señales EEG y ECG dejando un reporte de las señales biológicas.

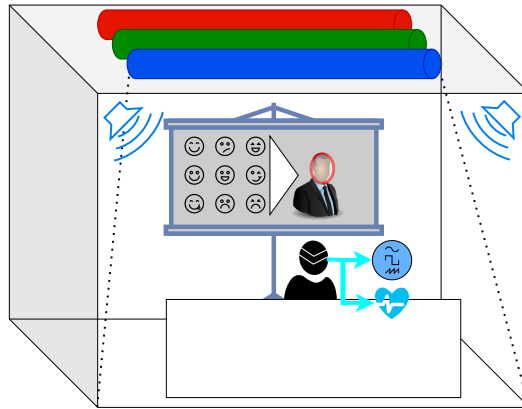


Figura 4.25. Diseño de la prueba piloto para evaluar estímulos de manera individual.

En la figura 4.26 se muestra el experimento para evaluar en conjunto los estímulos para un grupo de personas, a través de un registro de percepción. Este ejercicio es para validar la acción de los estímulos frente a unas condiciones grupales. La prueba piloto se hace finalizando las pruebas individuales. Esto se hace con un voluntario portando la diadema y 4 personas más en el espacio.

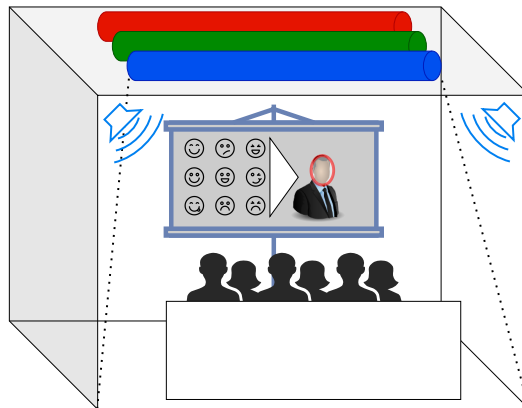


Figura 4.26. Diseño de la prueba piloto para evaluar estímulos de manera grupal.

Las señales EEG son conocidas por ser altamente sensibles a cambios en la actividad cerebral. Se utilizan en una variedad de aplicaciones, que incluyen la investigación del sueño, la detección de epilepsia, el estudio de trastornos neuropsiquiátricos, la evaluación de la atención y la concentración, y la medición de la respuesta a estímulos visuales y auditivos. El EEG proporciona una ventana en tiempo real a la actividad cerebral y es esencial para comprender cómo se relaciona la actividad cerebral con el comportamiento y las emociones.

Las señales ECG son fundamentales para la evaluación de la salud cardiovascular. Se utilizan en la detección y diagnóstico de arritmias cardíacas, isquemia, infarto de miocardio y otros trastornos cardíacos. Además, el ECG puede proporcionar información sobre la respuesta del sistema cardiovascular al estrés, la ansiedad y otros estados emocionales. Esto es especialmente relevante en la investigación del comportamiento, ya que el estado emocional puede afectar significativamente la actividad cardíaca.

La interacción entre el cerebro y el corazón desempeña un papel central en la regulación del comportamiento. Las señales EEG y ECG permiten observar de cerca cómo los procesos mentales y emocionales se reflejan en la actividad eléctrica del cerebro y del corazón. La investigación del comportamiento se beneficia enormemente de estas señales, ya que proporcionan información objetiva y cuantitativa sobre el estado emocional, la toma de decisiones, la percepción de estímulos y la respuesta a estímulos ambientales. Combinar las señales EEG y ECG permiten realizar ajustes de particularidades y ayuda a correlacionar en caso de caer en fronteras de señales o en ambigüedades de algoritmos. Con las señales ECG se valida la integridad de los datos de las señales EEG.

La recopilación de muestras de señales EEG y ECG y su posterior análisis son fundamentales para valorar el funcionamiento del sistema. Se realiza una aplicación que genera estímulos auditivos, visuales y combinados de manera aleatoria para ajustar las condiciones y mantener una referencia. Los resultados de la prueba de concepto muestran el comportamiento adecuado alrededor de una frecuencia de referencia. El criterio de idoneidad de las muestras se logra a través de la correlación de los datos. En las figuras 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 se pueden observar las diferentes bandas de frecuencia de la señal EEG. Los cuadros azul oscuro representan la relación directa entre diferentes usuarios y se pueden observar la independencia de las muestras para cada onda cerebral.

La integración de métodos de recopilación de datos meticulosos y precisos, junto con la aplicación de herramientas y algoritmos de análisis pertinentes y sofisticados, es fundamental para identificar y comprender el PPT y otros eventos cerebrales y cardíacos que están intrínsecamente relacionados con la regulación del comportamiento en el sistema AIoT.

Estos eventos, que son cruciales para el funcionamiento y la eficacia del sistema AIoT, pueden ser monitoreados y analizados de manera efectiva a través de este enfoque integrado. La eficacia de este enfoque se evidencia en los resultados obtenidos a través de la prueba de concepto, que proporciona una visión clara y detallada de las respuestas a los principales estímulos.

En el caso específico del nivel de presión, se ha observado que el estímulo que genera la mayor respuesta es la velocidad de la animación. Esta observación se basa en los datos recopilados durante la prueba de concepto, que muestran una variación significativa en las respuestas de los participantes en función del rango de los estímulos.

La figura 4.32 ilustra claramente esta variación, proporcionando una representación visual de cómo las respuestas de los participantes cambian en relación con los diferentes rangos de estímulos. Este hallazgo es particularmente relevante, ya que destaca la importancia de considerar la velocidad de la animación al diseñar y optimizar el sistema AIoT para la regulación del comportamiento.

En este estudio, se observa que la animación más lenta, específicamente a 5 fotogramas por segundo (fps), tiene un efecto calmante más pronunciado en los datos atípicos bajos. Este hallazgo sugiere que una velocidad de animación más lenta puede ser más efectiva para inducir un estado de calma, especialmente en aquellos individuos cuyas respuestas iniciales se encuentran en el extremo inferior del espectro.

Por otro lado, a una velocidad de animación de 130 fps, se observa una variación significativa en los datos que se encuentran fuera de los cuartiles. Este resultado indica que a velocidades de animación más altas, las

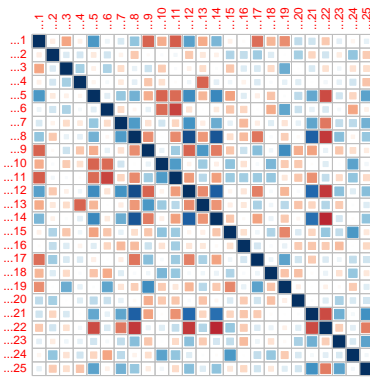


Figura 4.27. Ondas Alpha

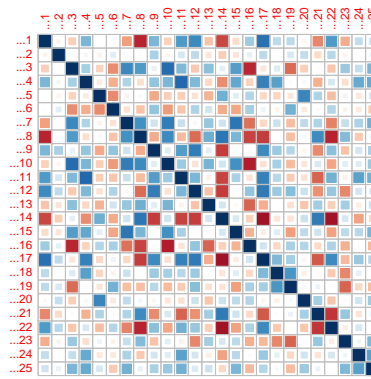


Figura 4.28. Ondas Beta

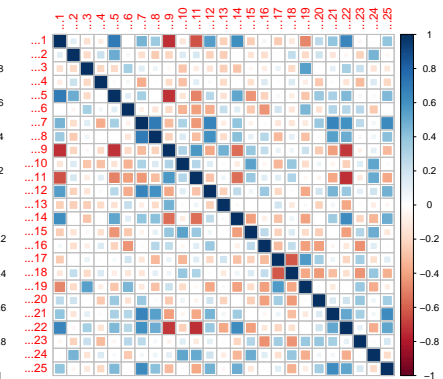


Figura 4.29. Ondas Theta

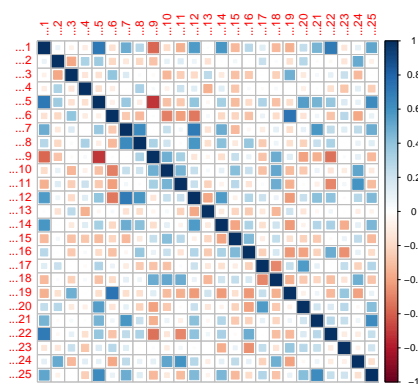


Figura 4.30. Ondas Delta

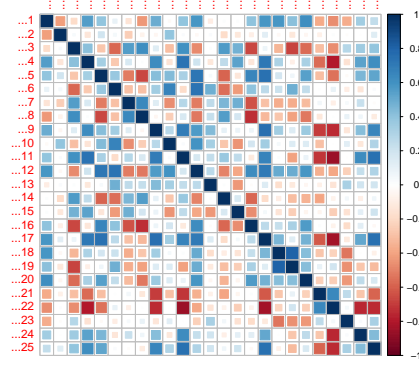


Figura 4.31. Ondas Gamma

respuestas pueden ser más variables y menos predecibles, lo que podría tener implicaciones importantes para la eficacia de la animación como herramienta de calma. Los resultados del estudio demuestran la capacidad de ajuste del sistema para mantener a las personas alrededor de un nivel de referencia para cada uno de los estímulos. Esto sugiere que el sistema puede ser eficaz para regular las respuestas emocionales y comportamentales de los individuos, manteniéndolas dentro de un rango deseado en respuesta a diferentes estímulos.

El color de la iluminación artificial tiene un impacto significativo y poderoso en la atención humana. Este fenómeno puede atribuirse a la capacidad del color para evocar emociones, influir en el estado de ánimo y captar la atención, lo que a su vez puede afectar la forma en que procesamos y respondemos a la información visual.

La figura 4.33 proporciona una representación visual clara de este fenómeno, mostrando la variación en las respuestas de los individuos frente a la presentación de diferentes colores de iluminación artificial. Esta variación puede ser el resultado de diferencias individuales en la percepción del color, así como de la influencia de factores contextuales y culturales.

Es importante destacar que la influencia del color de la iluminación artificial en la atención no es uniforme para todos los colores. Algunos colores pueden ser más eficaces para captar la atención que otros, y la eficacia

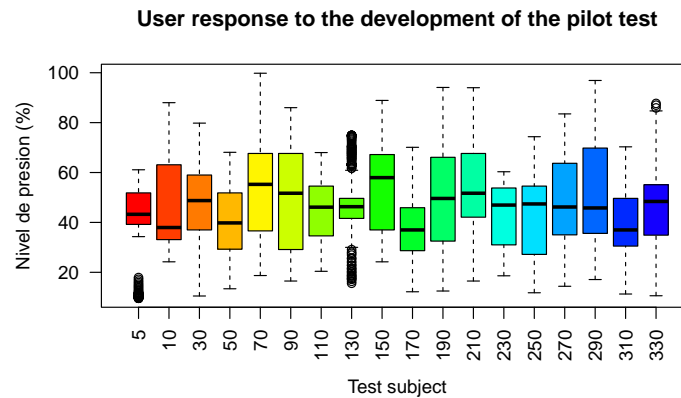


Figura 4.32. Grado de relajación porcentual en función de la animación.

de un color en particular puede variar en función del contexto en el que se presenta.

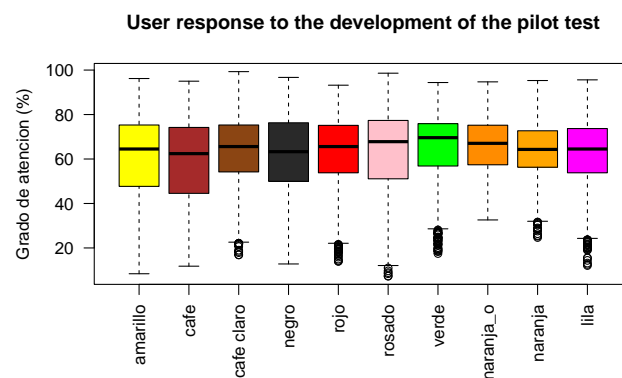


Figura 4.33. Grado de atención porcentual en función del color.

En el caso del estímulo de color, se observa una contribución significativa a la atención. Los datos muestran que la atención promedio se mantiene por encima del 60 %, lo que indica una respuesta robusta a este estímulo. Es notable que en algunos casos, la atención alcanza valores cercanos al 100 %. Este hallazgo sugiere que el color puede ser un estímulo particularmente potente para captar y mantener la atención.

Estos resultados respaldan la idea de que el color es un factor crítico en la regulación de la atención y subrayan la necesidad de considerar el color en el diseño de entornos y materiales que buscan captar y mantener la atención. Estos hallazgos pueden tener implicaciones importantes para una variedad de campos, desde la psicología cognitiva hasta el diseño de interfaces de usuario y la publicidad. En todos estos campos, la capacidad de captar y mantener la atención es crucial, y el color puede ser una herramienta valiosa para lograr este objetivo.

La respuesta al estímulo musical, como se puede observar en la figura 4.34, ofrece una visión fascinante de cómo la música puede influir en la relajación. El primer estímulo musical, en particular, parece tener una influencia considerable en la inducción de un estado de relajación, con una media cercana al 70

Este hallazgo sugiere que ciertos tipos de música, o ciertos elementos musicales, pueden ser particularmen-

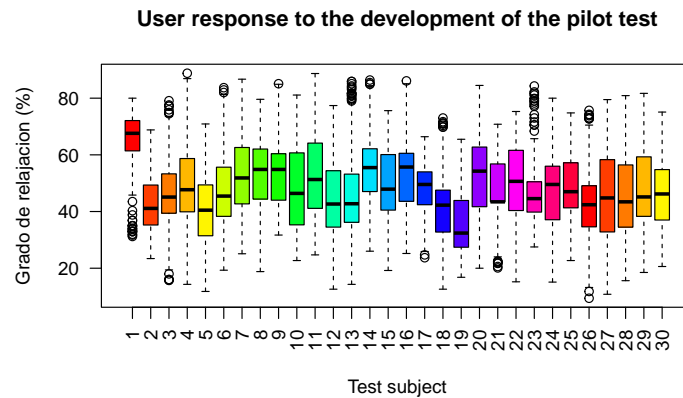


Figura 4.34. Grado de relajación porcentual en función del estímulo auditivo.

te eficaces para promover la relajación. Esto podría deberse a una variedad de factores, incluyendo la melodía, el ritmo, la armonía, la textura y la estructura de la música, así como la respuesta emocional y fisiológica del individuo a estos elementos. Este resultado subraya el potencial de la música como herramienta terapéutica. La capacidad de la música para inducir la relajación puede tener aplicaciones importantes en una variedad de contextos, desde la terapia de relajación y la reducción del estrés hasta la mejora del rendimiento cognitivo y la promoción del bienestar general.

Conclusiones

La detección de emociones, un campo en constante evolución, tiene aplicaciones prácticas en múltiples dominios, incluyendo seguridad, entretenimiento, salud y servicio al cliente. Este proyecto doctoral ha realizado un análisis riguroso de las condiciones tecnológicas actuales, lo que ha permitido el desarrollo de una propuesta innovadora en los materiales que componen el sistema y en su interconexión.

La implementación de hardware de detección de emociones en un SoC ha demostrado ser eficiente en términos de energía, adaptable a diversos entornos, fácilmente personalizable y escalable. Aunque el modelo VGG19 puede tener un rendimiento inferior a otros modelos, su uso ha resultado en un módulo de detección de emociones factible que se puede adaptar al sistema computacional implementado.

Se ha diseñado un sistema de instrumentación avanzado con tecnología IoT que permite la medición precisa de variables como los niveles de intensidad de sonido, nivel de iluminación, temperatura y humedad. Además, el sensor FER permite identificar las emociones generando un refuerzo positivo al sistema desde la gestión emocional. En conjunto cada uno de los elementos hace parte de un ecosistema que registra los datos, también permite acceder a ellos en tiempo real, facilitando el monitoreo continuo y la regulación eficaz del comportamiento.

En cuanto a los desafíos futuros que se derivan del proceso de investigación, se presentan los siguientes:

1. Mejorar la precisión de la detección de emociones: Aunque los resultados de nuestro estudio indican que el sensor de emociones tiene un potencial prometedor para detectar y clasificar las emociones a través de imágenes, se necesitan más pruebas y ajustes a la tecnología para mejorar la precisión en la detección de ciertas emociones, como la tristeza.
2. Explorar la integración de más estímulos sensoriales: Se podría investigar la integración de estímulos sensoriales adicionales, como olores o texturas, para mejorar la eficacia del sistema en la regulación del comportamiento.
3. Desarrollar algoritmos de aprendizaje automático más eficientes: Aunque el modelo VGG19 ha demostrado ser efectivo, se podrían explorar otros modelos de aprendizaje profundo que podrían ofrecer un rendimiento superior.
4. Investigar la personalización del sistema: Se podría investigar cómo el sistema podría adaptarse a las preferencias individuales de los usuarios para maximizar su eficacia.
5. Evaluar el sistema en diferentes contextos: Sería útil realizar estudios adicionales para evaluar la eficacia del sistema en diferentes contextos y con diferentes grupos de usuarios.

6. Hacer ensayos clínicos que permitan mejorar los resultados del sistema y la posible implementación en asistentes o auxiliares para la salud mental.

Estas propuestas podrían abrir nuevas vías para futuras investigaciones en el campo de la tecnología AIOB y la regulación del comportamiento. Estos hallazgos subrayan la importancia de la integración de la tecnología en la regulación del comportamiento y sugieren que esta área de investigación tiene un gran potencial para futuros avances.

Referencias

- [1] Abdulsalam Yassine, Shailendra Singh, M. Shamim Hossain, and Ghulam Muhammad. IoT big data analytics for smart homes with fog and cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 91:563–573, 2019.
- [2] Karl A. McCreddie, Damien H. Coyle, and Girijesh Prasad. Sensorimotor learning with stereo auditory feedback for a brain-computer interface. 51(3):285–293, 2013.
- [3] Pietro Danzi, Anders E. Kalor, Rene B. Sorensen, Alexander K. Hagelskjaer, Lam D. Nguyen, Cedomir Stefanovic, and Petar Popovski. Communication Aspects of the Integration of Wireless IoT Devices with Distributed Ledger Technology. *IEEE Network*, 34(1):47–53, 2020.
- [4] Muhammad Farhan, Sohail Jabbar, Muhammad Aslam, Mohammad Hammoudeh, Mudassar Ahmad, Shehzad Khalid, Murad Khan, and Kijun Han. IoT-based students interaction framework using attention-scoring assessment in eLearning. 79:909–919, 2018.
- [5] Harshit Kaushik, Tarun Kumar, and Kriti Bhalla. iSecureHome: A deep fusion framework for surveillance of smart homes using real-time emotion recognition. 122:108788, 2022.
- [6] Hiep Xuan Huynh, Nghia Duong-Trung, Tran Nam Quoc Nguyen, Bao Hoai Le, and Tam Hung Le. Maneuverable Autonomy of a Six-legged Walking Robot: Design and Implementation using Deep Neural Networks and Hexapod Locomotion. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6), 2021.
- [7] Prahlad Kumar, Harnoor Bagga, Bhuneshwar Singh Netam, and Venkanna Uduthalapally. SAD-IoT: Security Analysis of DDoS Attacks in IoT Networks. 2021.
- [8] Carlos J. García-Orellana, Miguel Macías-Macías, Horacio M. González-Velasco, Antonio García-Manso, and Ramón Gallardo-Caballero. Low-Power and Low-Cost Environmental IoT Electronic Nose Using Initial Action Period Measurements. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(14), 2019.
- [9] Yilin Yang, Haocong Wang, Ruizhe Jiang, Xiaonan Guo, Jerry Cheng, and Yingying Chen. A Review of IoT-Enabled Mobile Healthcare: Technologies, Challenges, and Future Trends. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(12):9478–9502, 2022.
- [10] Ryuto Yashiro, Hiromi Sato, and Isamu Motoyoshi. Prospective decision making for randomly moving visual stimuli. *Scientific reports*, 9(1):3809, 2019.
- [11] Ralph Adolphs and Michael Spezio. Role of the amygdala in processing visual social stimuli. *Progress in brain research*, 156:363–378, 2006.
- [12] Xin Li, Ning Zhao, Rui Jin, Shaomin Liu, Xiaomin Sun, Xuefa Wen, Dongxiu Wu, Yan Zhou, Jianwen Guo, Shiping Chen, Ziwei Xu, Mingguo Ma, Tianming Wang, Yonghua Qu, Xinwei Wang, Fangming Wu, and Yuke Zhou. Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring. *Science bulletin*, 64(17):1234–1245, 2019.

- [13] Diantha Soemantri, Cristian Herrera, and Arnaldo Riquelme. Measuring the educational environment in health professions studies: a systematic review. *32(12):947–952*, 2010.
- [14] Lucas Rodrigo-Salazar, Israel González-Carrasco, and Alejandro Rafael Garcia-Ramirez. An IoT-based contribution to improve mobility of the visually impaired in Smart Cities. *Computing*, 103(6):1233–1254, 2021.
- [15] Kok Tong Lee and Hou Kit Mun. Real-time power monitoring using field-programmable gate array with IoT technology. *IET Science, Measurement & Technology*, 13(6):931–935, 2019.
- [16] Syeda Manjia Tahsien, Hadis Karimipour, and Petros Spachos. Machine learning based solutions for security of Internet of Things (IoT): A survey. 161:102630, 2020.
- [17] Alberto Lizcano-Portilla, Luis Mendoza, and Zulmary Nieto-Sánchez. Procesamiento de señales cerebrales provenientes de estímulos visuales y auditivos utilizando análisis wavelet y redes neuronales artificiales. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2):119–125, 2020.
- [18] Judith Domínguez-Borràs, Sebastian Walter Rieger, Corrado Corradi-Dell’Acqua, Rémi Neveu, and Patrik Vuilleumier. Fear Spreading Across Senses: Visual Emotional Events Alter Cortical Responses to Touch, Audition, and Vision. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 27(1):68–82, 2017.
- [19] Shannon M. Kehle-Forbes, Melissa A. Polusny, Christopher R. Erbes, and Heather Gerould. Acceptability of prolonged exposure therapy among U.S. Iraq war veterans with PTSD symptomology. *Journal of traumatic stress*, 27(4):483–487, 2014.
- [20] Christopher C. Berger and H. Henrik Ehrsson. The Content of Imagined Sounds Changes Visual Motion Perception in the Cross-Bounce Illusion. *Scientific reports*, 7:40123, 2017.
- [21] Christopher G. Brennan-Jones, Ann Thomas, Derek J. Hoare, and Magdalena Sereda. Cochrane corner: Sound therapy (using amplification devices and/or sound generators) for tinnitus. *International journal of audiology*, 59(3):161–165, 2020.
- [22] Sami Mnasri, Nejah Nasri, Adrien van den Bossche, and Thierry Val. A new multi-agent particle swarm algorithm based on birds accents for the 3D indoor deployment problem. *ISA Transactions*, 91:262–280, 2019.
- [23] Shahrzad Shiranibidabadi and Amirhooshang Mehryar. Music therapy as an adjunct to standard treatment for obsessive compulsive disorder and co-morbid anxiety and depression: A randomized clinical trial. *Journal of affective disorders*, 184:13–17, 2015.
- [24] Riku Asaoka and Jiro Gyoba. Sounds Modulate the Perceived Duration of Visual Stimuli via Crossmodal Integration. *Multisensory research*, 29(4-5):319–335, 2016.
- [25] Darin R. Brown and James F. Cavanagh. The sound and the fury: Late positive potential is sensitive to sound affect. *54(12):1812–1825*, 2017.
- [26] Candela Castro, Veronika Diaz Abrahan, and Nadia Justel. Modulación del estado de ánimo a través de estímulos musicales activantes. *Interdisciplinaria Revista de Psicología y Ciencias Afines*, 38(1):41–51, 2021.
- [27] Cheol Soh and Jan R. Wessel. Unexpected Sounds Nonselectively Inhibit Active Visual Stimulus Representations. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 31(3):1632–1646, 2021.
- [28] Gaurav Mohindru, Koushik Mondal, and Haider Banka. Different hybrid machine intelligence techniques for handling IoT-based imbalanced data. 2021.

- [29] Chang-Shing Lee, Mei-Hui Wang, Wen-Kai Kuan, Sheng-Hui Huang, Yi-Lin Tsai, Zong-Han Ciou, Chen-Kang Yang, and Naoyuki Kubota. BCI-based hit-loop agent for human and AI robot co-learning with AloT application. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2021.
- [30] Mussab Alaa, A. A. Zaidan, B. B. Zaidan, Mohammed Talal, and M.L.M. Kiah. A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 97:48–65, 2017.
- [31] Kyudae Shim, Eduardo Berrettini, and Yong-Gyun Park. Smart Water Solutions for the Operation and Management of a Water Supply System in Aracatuba, Brazil. *Water*, 14(23):3965, 2022.
- [32] Walaa N. Ismail, Mohammad Mehedi Hassan, Hessah A. Alsalamah, and Giancarlo Fortino. CNN-Based Health Model for Regular Health Factors Analysis in Internet-of-Medical Things Environment. *IEEE Access*, 8:52541–52549, 2020.
- [33] P. Indhiradevi, P. Saravanakumar, R. Varsha, S. Shahithya, and S. Naveen Prabhu. A Review on Smart Traffic Management System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1145(1):012090, 2021.
- [34] M. Collotta and G. Pau. Bluetooth for Internet of Things: A fuzzy approach to improve power management in smart homes. *Computers & Electrical Engineering*, 44:137–152, 2015.
- [35] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martin, R. Gil, G. Diaz, A. Colmenar, J. Peire, M. Castro, K. Nilsson, J. Zackrisson, L. Hkansson, and I. Gustavsson. Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) for Remote Wiring and Measurement of Electronic Circuits on Breadboard. *IEEE Transactions on Learning Technologies % This file was created with Citavi 6.8.0.0*, 6(1):60–72, 2013.
- [36] Seunghwan Myeong, Jaehyun Park, and Minhyung Lee. Research Models and Methodologies on the Smart City: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 14(3):1687, 2022.
- [37] Unai Hernandez-Jayo and Javier Garcia-Zubia. Remote measurement and instrumentation laboratory for training in real analog electronic experiments. *Measurement*, 82:123–134, 2016.
- [38] G. Rainer and E. K. Miller. Effects of visual experience on the representation of objects in the prefrontal cortex. *Neuron*, 27(1):179–189, 2000.
- [39] Lisa Putzar, Kirsten Hötting, and Brigitte Röder. Early visual deprivation affects the development of face recognition and of audio-visual speech perception. *Restorative neurology and neuroscience*, 28(2):251–257, 2010.
- [40] Lauren L. Emberson. How does learning and memory shape perceptual development in infancy? In *Knowledge and Vision*, volume 70 of *Psychology of Learning and Motivation*, pages 129–160. Elsevier, 2019.
- [41] Achille Pasqualotto and Michael J. Proulx. The role of visual experience for the neural basis of spatial cognition. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 36(4):1179–1187, 2012.
- [42] Pedro F. S. Rodrigues and Josefa N. S. Pandeirada. When visual stimulation of the surrounding environment affects children’s cognitive performance. *Journal of experimental child psychology*, 176:140–149, 2018.
- [43] Gewnhi Park and Julian F. Thayer. From the heart to the mind: cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Frontiers in psychology*, 5:278, 2014.
- [44] Ólafía Sigurjónsdóttir, Andri S. Björnsson, Inga D. Wessmann, and Árni Kristjánsson. Measuring Biases of Visual Attention: A Comparison of Four Tasks. *Behavioral sciences (Basel, Switzerland)*, 10(1), 2020.

- [45] Matthew S. Creamer, Omer Mano, Ryosuke Tanaka, and Damon A. Clark. A flexible geometry for panoramic visual and optogenetic stimulation during behavior and physiology. *Journal of neuroscience methods*, 323:48–55, 2019.
- [46] E. E. Ortiz-Cruz. *PercepFiguras: programa computarizado de estimulación visual para evaluar conductual y electrofisiológicamente la percepción multiestable*. 2018.
- [47] L. S. Petro, A. T. Paton, and L. Muckli. Contextual modulation of primary visual cortex by auditory signals. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 372(1714), 2017.
- [48] Hitoshi Sasaki. *Dual processing model of visual information: Cortical and subcortical processing*. Neuroscience research progress. Nova Science Publishers, New York, 2010.
- [49] Icek Ajzen. The theory of planned behavior: Frequently asked questions. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2(4):314–324, 2020.
- [50] Icek Ajzen. The theory of planned behaviour: reactions and reflections. *Psychology & health*, 26(9):1113–1127, 2011.
- [51] Icek Ajzen. The theory of planned behaviour is alive and well, and not ready to retire: a commentary on Sniehotta, Presseau, and Araújo-Soares. *Health psychology review*, 9(2):131–137, 2015.
- [52] Yuli Christina and Ni Nyoman Kerti Yasa. Application of theory of planned behavior to study online booking behavior. pages 331–340, 2021.
- [53] Deborah A. Clayton and Christopher J. Griffith. Efficacy of an extended theory of planned behaviour model for predicting caterers' hand hygiene practices. *International journal of environmental health research*, 18(2):83–98, 2008.
- [54] Ronald C. Plotnikoff, David R. Lubans, Sarah A. Costigan, Linda Trinh, John C. Spence, Shauna Downs, and Linda McCargar. A test of the theory of planned behavior to explain physical activity in a large population sample of adolescents from Alberta, Canada. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 49(5):547–549, 2011.
- [55] Sara Sjoberg, Kyungwon Kim, and Marla Reicks. Applying the theory of planned behavior to fruit and vegetable consumption by older adults. *Journal of nutrition for the elderly*, 23(4):35–46, 2004.
- [56] Wilma Strydom. Applying the Theory of Planned Behavior to Recycling Behavior in South Africa. *Recycling*, 3(3):43, 2018.
- [57] Caitlin Liddelow, Barbara Mullan, and Elizaveta Novorodovskaya. Exploring Medication Adherence Amongst Australian Adults Using an Extended Theory of Planned Behaviour. *International journal of behavioral medicine*, 27(4):389–399, 2020.
- [58] Farrukh Hafeez, Usman Ullah Sheikh, Abdullahi Abubakar Mas'ud, Saud Al-Shammari, Muhammad Hamid, and Ameer Azhar. Application of the Theory of Planned Behavior in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction. *Applied Sciences*, 12(5):2574, 2022.
- [59] Sergey Ablameyko. *Neural networks for instrumentation, measurement and related industrial applications*, volume v. 185 of *NATO science series. Series III, Computer and systems sciences*. IOS and EBSCO Industries, Inc, Amsterdam [u.a.] and Birmingham, AL, USA, 2003.

- [60] Sergio Márquez-Sánchez, Israel Campero-Jurado, Daniel Robles-Camarillo, Sara Rodríguez, and Juan M. Corchado-Rodríguez. BeSafe B2.0 Smart Multisensory Platform for Safety in Workplaces. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(10), 2021.
- [61] Inna Sosunova and Jari Porras. IoT-Enabled Smart Waste Management Systems for Smart Cities: A Systematic Review. *IEEE Access*, 10:73326–73363, 2022.
- [62] Wei-Hua Tang, Wen-Hsien Ho, and Yenming J. Chen. Data assimilation and multisource decision-making in systems biology based on unobtrusive Internet-of-Things devices. 17(Suppl 2):147, 2018.
- [63] Guolu Cao, Yuliang Ma, Xiaofei Meng, Yunyuan Gao, and Ming Meng. Emotion Recognition Based On CNN. In *2019 Chinese Control Conference (CCC)*, pages 8627–8630. IEEE, 72019.
- [64] Rohit Pathar, Abhishek Adivarekar, Arti Mishra, and Anushree Deshmukh. Human Emotion Recognition using Convolutional Neural Network in Real Time. In *2019 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT)*, pages 1–7. IEEE, 42019.
- [65] Salcedo Marco and Cendrós Jesús. USO DEL MINICOMPUTADOR DE BAJO COSTO “RASPERRY PI” EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS. 15(1):61–83, 2016.
- [66] Marek Bekisz, Wojciech Bogdan, Anaida Ghazaryan, Wioletta J. Waleszczyk, Ewa Kublik, and Andrzej Wróbel. The Primary Visual Cortex Is Differentially Modulated by Stimulus-Driven and Top-Down Attention. *PLoS one*, 11(1):e0145379, 2016.
- [67] Satoshi Nakakoga, Kengo Shimizu, Junya Muramatsu, Takashi Kitagawa, Shigeki Nakauchi, and Tetsuto Minami. Pupillary response reflects attentional modulation to sound after emotional arousal. 11(1):17264, 2021.
- [68] Joseph Azar, Abdallah Makhoul, Mahmoud Barhamgi, and Raphaël Couturier. An energy efficient IoT data compression approach for edge machine learning. 96:168–175, 2019.
- [69] R. Channing Moore, Tyler Lee, and Frédéric E. Theunissen. Noise-invariant neurons in the avian auditory cortex: hearing the song in noise. *PLoS computational biology*, 9(3):e1002942, 2013.
- [70] Mohammad H. Pakravan and Nordica MacCarty. An Agent-Based Model for Adoption of Clean Technology Using the Theory of Planned Behavior. *Journal of Mechanical Design*, 143(2), 2021.
- [71] Usman Ali, Haifang Li, Rong Yao, Qianshan Wang, Waqar Hussain, Syed Badar, Muhammad Amjad, and Bilal Ahmed. EEG Emotion Signal of Artificial Neural Network by using Capsule Network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(1), 2020.
- [72] Yongmin Cho, Seung-Hun Ryu, Byeol Ri Lee, Kyung Hee Kim, Eunil Lee, and Jaewook Choi. Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiol Int*, 32(9):1294–1310, September 2015.
- [73] Leena Tähkämö, Timo Partonen, and Anu-Katriina Pesonen. Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiol Int*, 36(2):151–170, October 2018.
- [74] Yasuhiro Takeshima and Jiro Gyoba. Changing Pitch of Sounds Alters Perceived Visual Motion Trajectory. 26(4):317–332, 2013.
- [75] Nonna Kulishova. Emotion recognition using sigma-pi neural network. In *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, pages 327–331. IEEE, 82016.

- [76] Dirk T. Hettich, Elaina Bolinger, Tamara Matuz, Niels Birbaumer, Wolfgang Rosenstiel, and Martin Spüler. EEG Responses to Auditory Stimuli for Automatic Affect Recognition. 10:244, 2016.
- [77] Francisco González-Hernández, Ramon Zatarain-Cabada, Maria Lucia Barrón-Estrada, and Hector Rodríguez-Rangel. Recognition of learning-centered emotions using a convolutional neural network. 34(5):3325–3336, 2018.
- [78] Chotiga Pattamadilok and Marc Sato. How are visemes and graphemes integrated with speech sounds during spoken word recognition? ERP evidence for supra-additive responses during audiovisual compared to auditory speech processing. 225:105058, 2022.
- [79] Diego Pizzagalli, Thomas Koenig, Marianne Regard, and Dietrich Lehmann. Affective attitudes to face images associated with intracerebral EEG source location before face viewing. *Cognitive Brain Research*, 7(3):371–377, 1999.
- [80] Katja N. Spreckelmeyer, Marta Kutas, Thomas P. Urbach, Eckart Altenmüller, and Thomas F. Münte. Combined perception of emotion in pictures and musical sounds. 1070(1):160–170, 2006.
- [81] Yunbin Kim, Jaewon Sa, Yongwha Chung, Daihee Park, and Sungju Lee. Resource-Efficient Pet Dog Sound Events Classification Using LSTM-FCN Based on Time-Series Data. 18(11):4019, 2018.

Resultado de las pruebas piloto

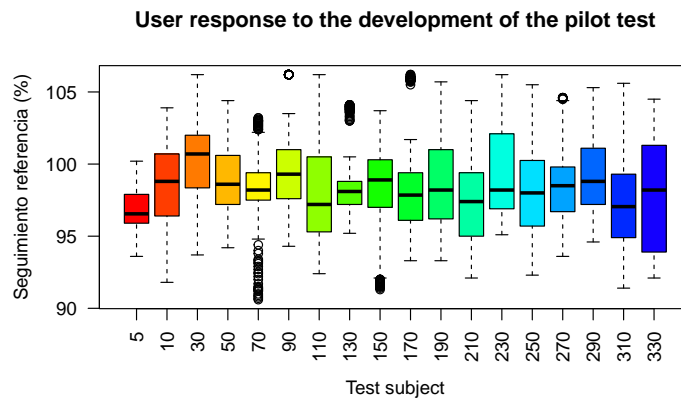


Figura A.1. Variación de referencia señales alpha con estímulo de animación.

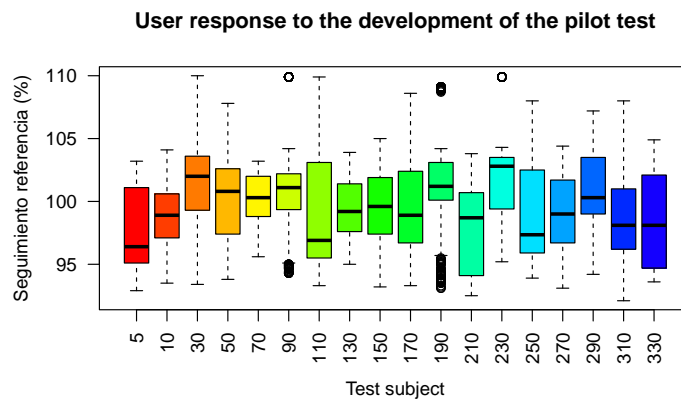


Figura A.2. Variación de referencia señales beta con estímulo de animación.

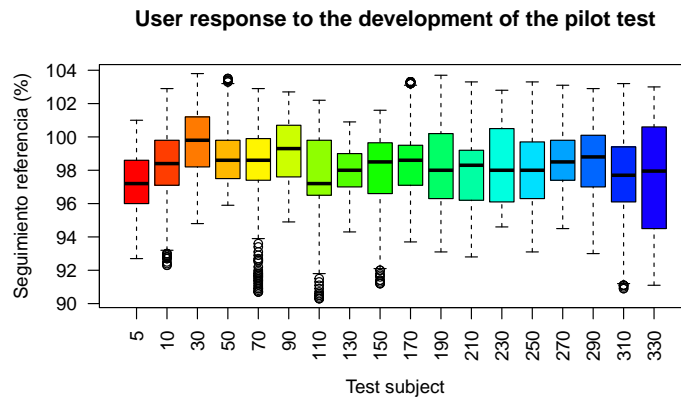


Figura A.3. Variación de referencia señales theta con estímulo de animación.

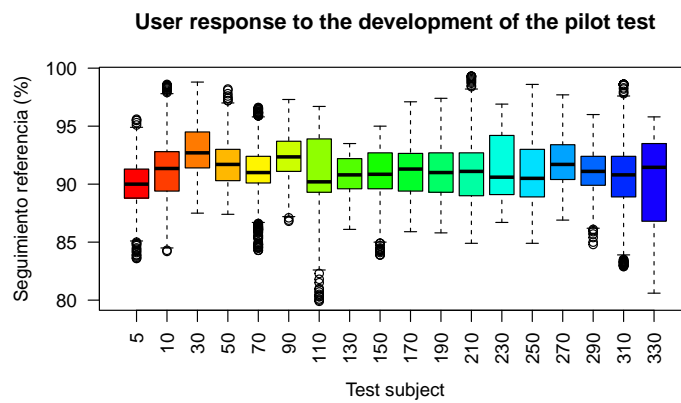


Figura A.4. Variación de referencia señales delta con estímulo de animación.

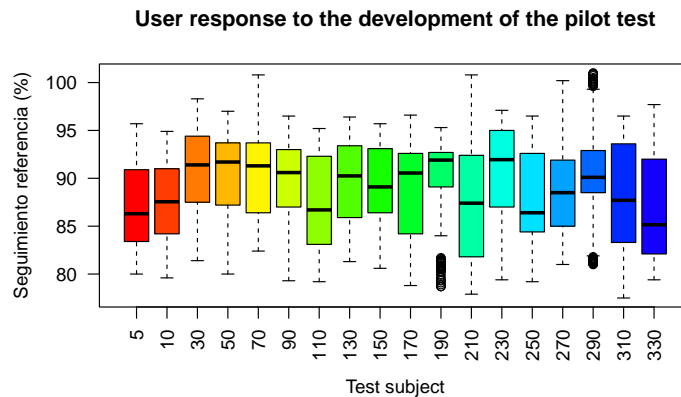


Figura A.5. Variación de referencia señales gamma con estímulo de animación.

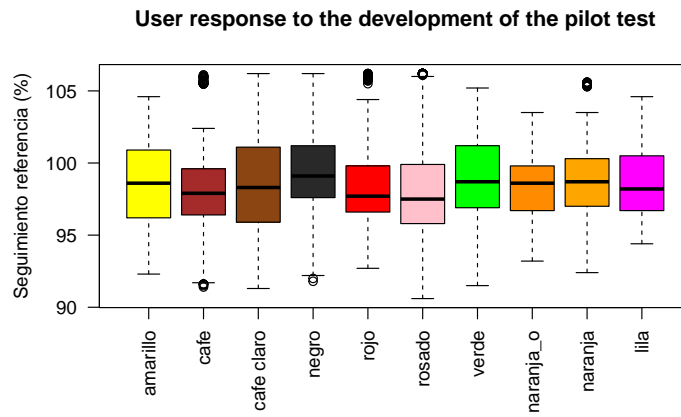


Figura A.6. Variación de referencia señales alpha con estímulo de color de iluminación artificial.

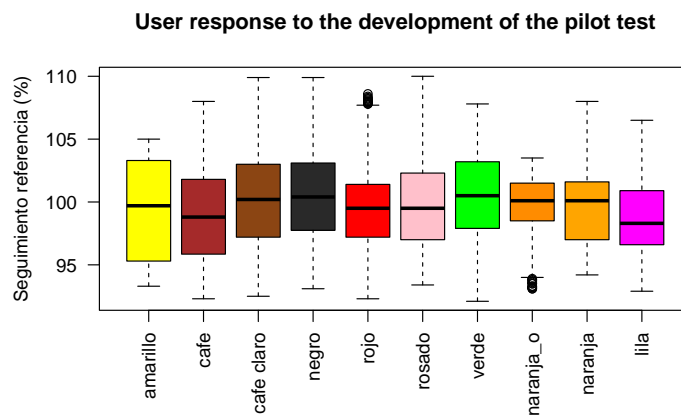


Figura A.7. Variación de referencia señales beta con estímulo de color de iluminación artificial.

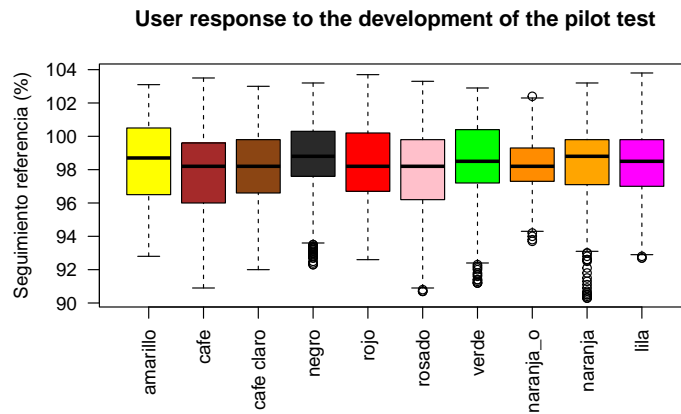


Figura A.8. Variación de referencia señales theta con estímulo de color de iluminación artificial.

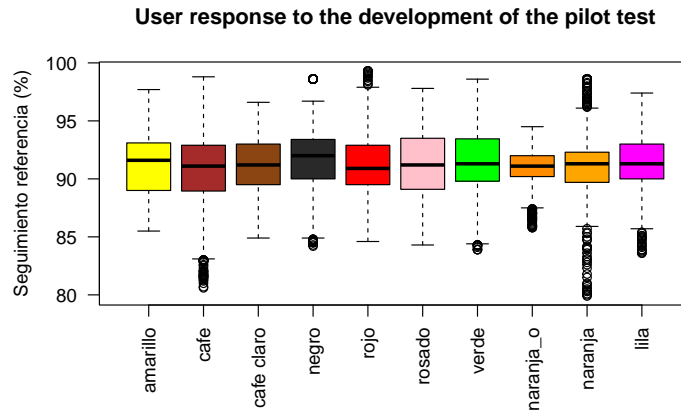


Figura A.9. Variación de referencia señales delta con estímulo de color de iluminación artificial.

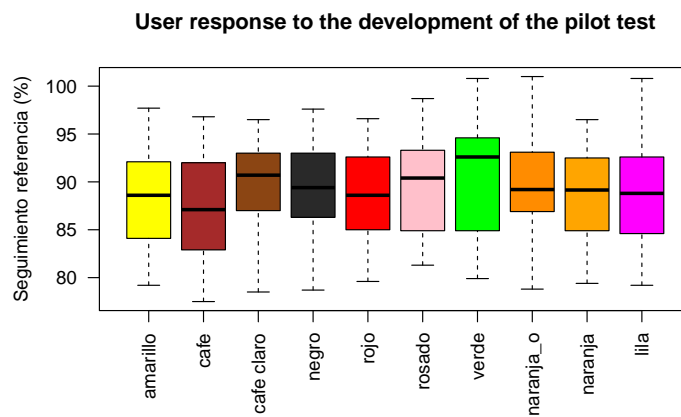


Figura A.10. Variación de referencia señales gamma con estímulo de color de iluminación artificial.

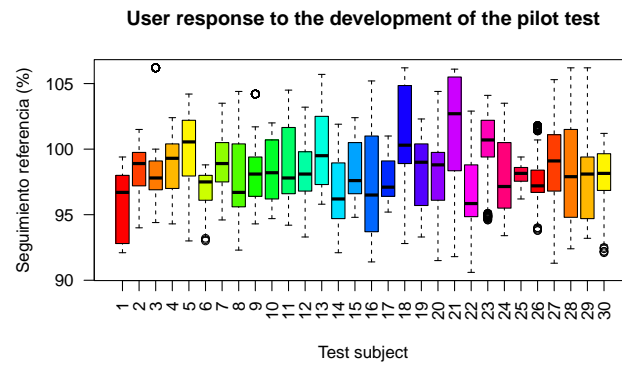


Figura A.11. Variación de referencia señales alpha con estímulo de audio.

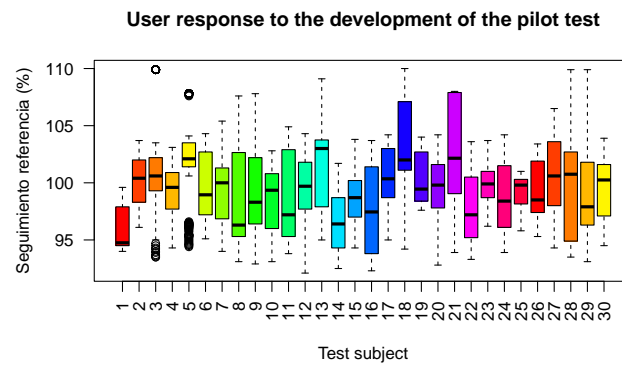


Figura A.12. Variación de referencia señales beta con estímulo de audio.

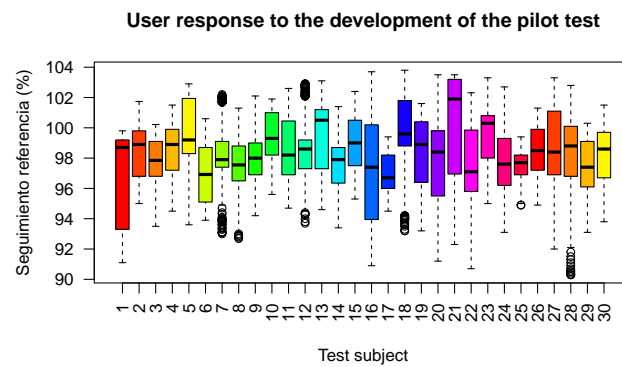


Figura A.13. Variación de referencia señales theta con estímulo de audio.

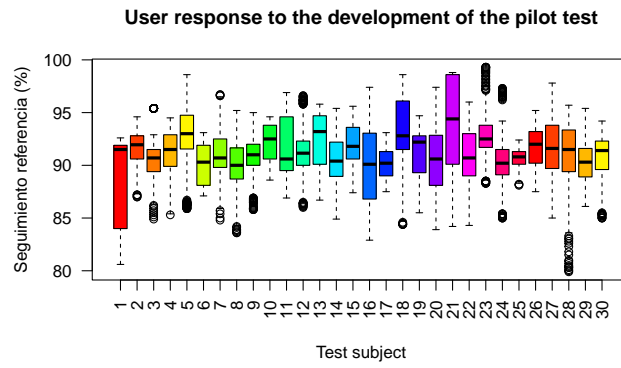


Figura A.14. Variación de referencia señales delta con estímulo de audio.

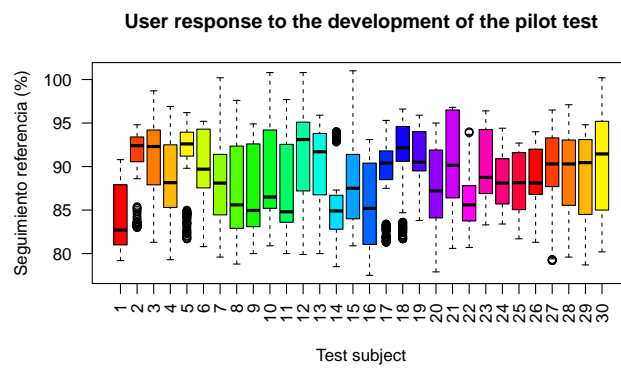


Figura A.15. Variación de referencia señales gamma con estímulo de audio.

Modelo de marco lógico de proyecto

Título del proyecto:

Sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología IoT para regular el comportamiento

Fecha de comienzo:

01/04/2021

Gerente del proyecto:

Gonzalo Alberto Alvarez Garcia

Fecha de fin:

01/04/2023

Fecha del Marco lógico:

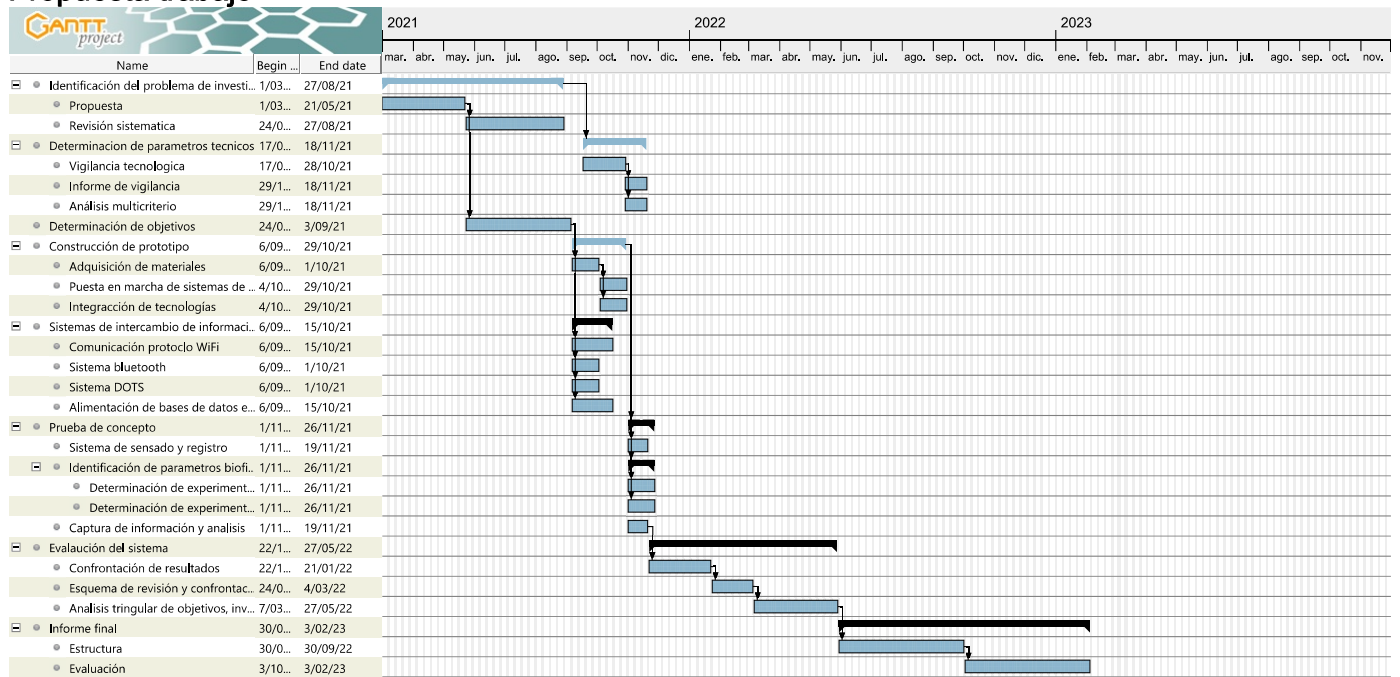
10/09/2021

Resumen Narrativo	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos/Condiciones críticas/Riesgos
Fin (objetivo global): Construir un sistema de instrumentación y control de estimulación auditivo y visual con tecnología IoT para regular el comportamiento	Tener un sistema que integre las 3 variables establecidas ajustadas a las condiciones del entorno usando tecnología IoT. Construcción del 100% de un sistema de estimulación auditivo y visual. Identificación de 50 estímulos auditivos y 50 visuales para la regulación del comportamiento	Lista de verificación. Prueba de concepto. Métodos objetivos (parámetros fisiológicos de los sujetos de estudio). Métodos subjetivos (estadísticas de encuestas diseñadas para tal fin).	El sistema cumple las condiciones propuestas/ Los estímulos contribuyan de manera significativa al comportamiento/ Falta de integración de los parámetros
Objetivos: Analizar las condiciones tecnológicas actuales para el desarrollo de una propuesta innovadora en los materiales que la componen y en la interconexión de los mismos. Evaluar las condiciones de funcionamiento del sistema	Identificar 5 tecnologías emergentes en los sistemas de instrumentación y control usando IoT. Establecer mínimo una metodología de transferencia de manera alámbrica y una inalámbrica. Establecer un instrumento de validación con 10 parámetros técnicos de funcionamiento para la verificación del sistema.	Informe de vigilancia tecnológica de la tecnología IoT usada en sistemas de instrumentación y control. Enumeración de sistemas que usan métodos alámbricos y métodos inalámbricos. Consecución del instrumento de validación.	Crecimiento exponencial de la tecnología/ La tecnología usada tenga trazabilidad/ La tecnología sea obsoleta al finalizar el periodo del proyecto
Principales productos entregables (salidas) Diseñar un sistema de instrumentación con tecnología IoT Desarrollar un sistema de interacción auditivo y visual con el público objetivo	Aplicación del 100% de los puntos de procesamiento local (Gateway) que usan tecnología IoT. Desarrollo de un sistema de estímulo visual y un sistema de estímulo auditivo.	Validar una ruta de funcionamiento para el sistema on-line y off-line. Evaluar el sistema cambiando las condiciones del contexto y analizar los resultados de la prueba.	Diseño y desarrollo ajustado a las necesidades presentes/ Capacidad suficiente para el procesamiento de los datos/ El sistema solo funcione con un solo método on u off line
Recursos: Sistema de interconexión alámbrica e inalámbrica que permita el monitoreo de las variables medidas y generar un estímulo auditivo y visual usando elementos IoT	Uso de materiales que respondan al 100% de las condiciones establecidas.	Calificar la relación directa de cumplimiento de la necesidad y condición del material a utilizar.	Condiciones previas Los materiales están disponibles durante el tiempo de desarrollo del proyecto/ Disponibilidad de herramientas On-line/ Entornos Web usados que cambien sus políticas o financiación.

Metodología.
Diagrama de Gantt.

Gantt Chart

Propuesta trabajo



Análisis modal de fallos y efectos



AMFE - Análisis modal de fallos y efectos

Ver. 1.0.0

Alcance : Organisation : Equipos o departamento :		Fechas de Inicio : 2021-05-21 Última revisión: 2023-02-23 Iniciado por: Gonzalo Alberto Álvarez García Última modificación por : Gonzalo Alberto Álvarez García						Valor de severidad inicial		Nota: Si la severidad es superior al límite crítico > 16, se debe crear un plan de atenuación				Valor corregido de la severidad			
#	Etapas del proceso	Funcion	Modo de fallo potencial	Causa(s) potencial(es) de error	Efectos potenciales del fallo	Metodos de control o detección actuales	I	P	D	Severidad	Plan de atenuación Sólo los puntos resaltados son en curso Los puntos en caracteres rojos se están implementando	Responsable	Fecha limite	I	P	D	Severidad
1	Desarrollo de la solución propuesta	Prueba de concepto	Falta de integración de los parámetros	Sistemas incompatibles o reuso del protocolo	Errores en las medidas y falsos positivos en la decisión asistida	Realización de pruebas individuales y de integración parcial y total.	3	2	4	24	Revisión en el sistema de manera individual y realización de un panel de expertos para la validación de la integridad de la información reportada en cada parte de los subsistemas.	Tutores - Administrador de proyecto y responsable de la parte	22/11/2022	2	2	2	8
2	Implementación del modelo final	Base tecnológica para el sistema propuesto	La tecnología sea obsoleta al finalizar el periodo del proyecto	Problemas con el reporte de la vigilancia tecnológica	Tener diseñador de sistemas no implementables	Revisión permanente de información técnica, registro de patentes y de reportes de ventas en sitios especializados.	4	1	3	12							0
3	Integración de las soluciones	Recopilar la información y toma de decisiones	El sistema solo funcione con un solo método on line u off line	No hay generación o conexión con las bases de datos	Error de interconectividad del sistema	Ejecutar robots de monitoreo controlados y revisar reportes de LOG's.	1	2	2	4							0
4	Monitoreo, visualización y control	Visualización y control	Entornos Web usados que cambien sus políticas o financiación.	Cambios en proveedores externos de servicios de alojamiento de terceros	El sistema no funciona, se pierde la información de las bases de datos	Contratar sistemas con terceros a largo plazo, en un termino no inferior al desarrollo del proyecto.	2	3	4	24	Construir un sistema en un servidor propio que permita la construcción de los algoritmos necesarios y los servicios web para no depender de terceros	Administrador de proyecto - Experto en el campo	31/01/2023	2	1	1	2

Impacto sobre la producción	Probabilidad de fallo	Detección preventiva de fallos
4 = Muy alta	4 = Cierto	4 - Indetectable
3 = Alta	3 = Muy probable	3 - Difícil de detectar (por ejemplo, sólo detección sensorial)
2 = Media	2 = Probable	2 - Detectable (por ejemplo, presencia de cable)
1 = Baja	1 = Poco probable	1 - Detección automatizada (por ejemplo, presencia de sensor y medidor)