



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

# ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL CROMATISMO DEL AULA EN LAS FUNCIONES COGNITIVAS DE LOS ALUMNOS UNIVERSITARIOS MEDIANTE NEUROARQUITECTURA

MÁSTER EN EDIFICACIÓN, ESPECIALIDAD GESTIÓN

CURSO 2019 - 2020

AUTORA:

Carrión Villalta, Viviana

Tutora Académica

Llinares Millán, M<sup>a</sup> Carmen

Cotutor Académico

Higuera Trujillo, Juan Luís

## RESUMEN

El diseño cromático dentro de un espacio arquitectónico puede influir en el estado de ánimo de las personas, en la concentración, motivación y activación, factores que influyen en el aprendizaje. El color es un poderoso elemento de diseño que produce profundas reacciones psicológicas y fisiológicas.

El objeto de este trabajo es analizar la influencia que el color del aula tiene en la atención y memoria de los estudiantes, atendiendo a la respuesta psicológica y neurofisiológica de los mismos.

Mediante la realidad virtual se generan escenarios de un aula en la que se modifican los colores de las paredes. A partir de la visualización de dichos escenarios virtuales se analiza la reacción del alumno mediante cuestionarios y pruebas neurofisiológicas (electroencefalograma).

Los resultados obtenidos pueden ser de interés para obtener parámetros de diseño cromático en espacios docentes.

Este trabajo ha sido elaborado en el grupo de Neuroarquitectura del Instituto de Investigación i3B de la Universitat Politècnica de València en el marco de un proyecto de investigación estatal de carácter competitivo.

**PALABRAS CLAVE:** Color, Aula, Realidad Virtual, Neuro-arquitectura.

## RESUM

El disseny cromàtic dins d'un espai arquitectònic pot influir en l'estat d'ànim de les persones, en la concentració, motivació i activació, factors que influïxen en l'aprenentatge. El color és un poderós element de disseny que produïx profundes reaccions psicològiques i fisiològiques.

L'objecte d'este treball és analitzar la influència que el color de l'aula té en l'atenció i memòria dels estudiants, atenent a la resposta psicològica i neurofisiològica dels mateixos.

Per mitjà de la realitat virtual es generen escenaris d'una aula en què es modifiquen els colors de les parets. A partir de la visualització dels dits escenaris virtuals s'analitza la reacció de l'alumne per mitjà de qüestionaris i proves neurofisiològiques (electroencefalograma).

Els resultats obtinguts poden ser d'interés per a obtindre paràmetres de disseny cromàtic en espais docents.

Este treball ha sigut elaborat en el grup de Neuroarquitectura de l'Institut d'Investigació i3B de la Universitat Politècnica de València en el marc d'un projecte d'investigació estatal de caràcter competitiu.

**PARAULES CLAU:** Color, Aula, Realitat Virtual, \*Neuro-arquitectura.

## ABSTRACT

Chromatic design within an architectural space can influence people's mood, concentration, motivation and activation, factors that influence learning. This is because color is a powerful design element that produces profound psychological and physiological reactions.

The purpose of this work is to analyze the influence that the color of the classroom has on the students, attending to their psychological and physiological response.

Through the use of virtual reality, several scenarios are projected whose variable is the color of the wall. There we analyze the student's reaction through questionnaires and physiological tests (electroencephalogram).

The results may be of interest to obtain color design parameters in teaching spaces.

This work has been prepared in the Neuroarchitecture group of the i3B Research Institute of the Universitat Politècnica de València within the framework of a competitive state research Project.

**KEY WORDS:** Color, Classroom, Virtual Reality, Neuro-architecture.

## AGRADECIMIENTOS

A M<sup>a</sup> Carmen Llinares Millán, por permitirme colaborar en el proyecto, por su energía y ánimo.

A Juan Luis Higuera Trujillo, por su tiempo dedicado, su enseñanza y apoyo.

A todo el equipo del Laboratorio Europeo de Neurotecnologías Inmersivas (LENI) del Instituto i3B de la Universitat Politècnica de Valencia.

A mis amigos y compañeros del máster, por los momentos compartidos y los que quedan por vivir.

A mi madre por apoyarme desde la distancia, por llamarme cada día por su amor incondicional.

A Luis y Verónica gracias, hermanos.

## ACRÓNIMOS

- **ECG.** Electrocardiograma
- **EDA.** Actividad Electodérmica
- **ETSIE.** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación
- **HDM.** Head-Mounted Displays (dispositivo tipo casco)
- **HF.** Banda de Alta Frecuencia (en inglés High Frequency) del HRV
- **i3B.** Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería de la Universitat Politècnica de València
- **LENI.** Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas
- **LF.** Banda de Baja Frecuencia (en inglés Low Frequency) del HRV
- **RV.** Realidad Virtual
- **VFC/HRV.** Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca / Heart Rate Variability
- **3D.** 3 Dimensiones

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1 ANTECEDENTES: .....	8
1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO: .....	11
<b>2. OBJETIVOS: .....</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>3. REVISIÓN TEÓRICA. ....</b>	<b>13</b>
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO EN AULAS. ....	13
3.1.1 LA PERCEPCIÓN DEL COLOR EN LOS ESPACIOS. ....	13
3.1.2 LA INFLUENCIA DEL COLOR EN EL DISEÑO DE ESPACIOS DOCENTES.....	18
3.1.3 ELEMENTOS DE DISEÑO, QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE.....	20
3.2 LA RESPUESTA PSICOFISIOLÓGICA DE LOS INDIVIDUOS EN UN ENTORNO Y SU MEDICIÓN.....	22
La Realidad Virtual como técnica de visualización de estímulos. ....	25
3.3.....	25
<b>4. METODOLOGÍA GENERAL Y RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Fase I.....	27
4.1.1 28	
Materiales y métodos. ....	28
4.1.2 33	
RESULTADOS FASE I.....	33
4.2 FASE II.....	39
4.2.1 Material y Métodos.....	40
4.2.3 Resultados Fase II.....	51
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>7. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>8. ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>69</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

Durante nuestra vida estudiantil, transitamos por varias aulas. Podemos decir, que son varias las sensaciones que nos han transmitido estos entornos. Por ejemplo, en algunos nos hemos sentido más cómodos y seguros, en otros más creativos y en otros hemos logrado estar más concentrados.

El aprendizaje es multifactorial y complejo. El entorno donde se impartan clases debe reunir condiciones ambientales mínimas para que el estudiante pueda estar a gusto y desarrollar su actividad lo mejor posible. Así, los estudios relacionados con el diseño de edificios docentes han demostrado que el entorno físico tiene un gran impacto en el aprendizaje y motivación de los estudiantes, para participar activamente en actividades académicas (Asiyai, 2014)

En este contexto el color es sin duda un elemento de diseño que produce reacciones psicológicas y fisiológicas en los individuos. De ahí su importancia para realizar un análisis de cómo potenciar el uso adecuado de la cromática en los espacios docentes.

## 1.1 ANTECEDENTES:

Un alumno universitario pasa dentro de un aula entre 4 a 5 horas diarias, durante al menos 4 o 5 años de su vida. En el interior de este espacio interactúa a diario con profesores y compañeros. Pero poco se sabe sobre cómo el entorno arquitectónico influye en la atención, memoria y aprendizaje de los individuos que habitan dichos objetos arquitectónicos.

La infraestructura educacional se considera crucial para lograr una educación de calidad (Higgins, Hall, Wall, Woolner, & McCaughey, 2005). La arquitectura de los espacios docentes presenta una uniformidad formal que se basa en condiciones constructivas caducas con escasas referencias a los cambios sociales y particularmente funcionales.

Es por ello por lo que se plantea una nueva perspectiva arquitectónica, acorde al avance científico, tecnológico, e ideológico actual, que contribuya al desarrollo de la disciplina arquitectónica.

Esta perspectiva parte de la idea, "*para poder entender cualquier fenómeno humano deberíamos entender los procesos cerebrales. Ello debido, a que, en el cerebro subyacen todas las acciones y cogniciones humanas, por lo tanto, algunos fenómenos humanos incluyendo los arquitectónicos podrían ser resueltos a través de dicho conocimiento*" (Tlapalamatl Toscuento, 2019).

La Neurociencia tiene como objeto conocer el funcionamiento del sistema nervioso, tanto a nivel funcional como estructural. La neurociencia cognitiva relaciona el cerebro con conductas y capacidades cognitivas como la memoria, lenguaje o atención. Dentro de un contexto arquitectónico, la neurociencia busca entender, cómo el entorno influye en la manera que se interactúa con el medio y como la arquitectura al comprender esto, puede ayudar a respaldar la mente, el cuerpo y la evolución sociocultural del ser humano (Rosenfield, 2012).

La neuro-arquitectura, es una ciencia amable y reciente que busca entender, a través de la neurociencia, cómo el espacio afecta a la mente humana (Sanchís, 2016).

La neurociencia y arquitectura son dos disciplinas que se relacionan entre sí, donde la neurociencia entiende las implicaciones mentales de la construcción y la arquitectura es el ente materializador del espacio mental. Las dos disciplinas, toman lugar en las mismas áreas del cerebro, al igual que los procesos de percepción e imaginación (Arbib M, Mallgrave H, & Pallasmaa J, 2013).

Entre los factores que se pueden analizar dentro de este tema relacionado con los espacios docentes se encuentran variables como la iluminación, la forma, el color, la temperatura o la calidad de aire, entre otros.

Tanto forma como dimensión son parámetros de diseño que se toman en cuenta a la hora de proyectar un espacio. Pero escasa vez, se toma en consideración otros elementos como el color y su uso como factor determinante para el confort del alumno. Los estudios han demostrado una relación entre las preferencias de color, las emociones y el rendimiento académico de los estudiantes (Boyatzis & Varghese, 1993)

De aquí surge la necesidad de demostrar que estos parámetros de diseño pueden contribuir en el desarrollo de nuevos espacios docentes. El estudio denominado "*The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects*" realizado en 2017 por la Universidad de Salford en Reino Unido, determinó que el rendimiento de un estudiante mejora hasta en un 25% al crear variaciones en parámetros de diseño del aula (Barrett, Davies, Zhang, & Barrett, 2017).

El estudio de parámetros de diseño como el color es sin duda un desafío. Conlleva realizar un minucioso análisis de las reacciones fisiológicas y psicológicas que pueda tener un sujeto en un espacio y medirlo; para poder realizar comparativas que permitan determinar resultados concluyentes.

Para esto es necesario contar con un sistema capaz de generar variaciones de un mismo espacio con el fin de obtener suficiente muestra para realizar dicha comparativa.

Es por ello que este estudio se realiza con la aplicación de la Realidad Virtual (RV). Esta tecnología permite reproducir imágenes en 3D y situar al sujeto en un escenario realista. Una de las mayores ventajas que proporciona la RV es lo fácil que resulta modificar un escenario con las variables analizadas.

Este estudio ha sido posible gracias a la colaboración del equipo de Neuroarquitectura del Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería (i3B) de la Universitat Politècnica de València, pioneros en la integración de la RV en la Ingeniería Emocional.

Este estudio forma parte de una experiencia de mayor tamaño y con un objetivo más amplio, en el que se analizan parámetros de forma, iluminación y color.

## 1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO:

La estructura de este trabajo está organizada con apartados ordenados de forma secuencial conforme se fue elaborando.



## 2. OBJETIVOS:

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la respuesta psicológica y neurofisiológica de los estudiantes (funciones cognitivas de atención y memoria) ante la modificación de color en un espacio docente.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer uso de la realidad virtual para generar espacios en los que se controle de manera adecuada el conjunto de variables.
- Analizar las respuestas psicológicas de los estudiantes ante las modificaciones cromáticas del espacio, mediante el desarrollo de tareas capaces de medir el nivel de atención y memoria del alumno.
- Analizar la respuesta neurofisiológica de los estudiantes ante los cambios cromáticos en el aula virtual, mediante medición de la actividad cerebral (electroencefalograma).

## 3. REVISIÓN TEÓRICA.

En este apartado se reúne la información de casos previos de estudio y de conceptos básicos que engloban este trabajo de fin de máster.

### 3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO EN AULAS.

#### 3.1.1 LA PERCEPCIÓN DEL COLOR EN LOS ESPACIOS.

Los estudios acerca del color y la respuesta del usuario son abundantes desde hace décadas en muy variadas disciplinas centrado sus objetivos principalmente en tres aspectos; preferencias, respuesta afectivo-emocional y respuesta fisiológica (Valdez & Mehrabian, 1994)

Según (Jalil, Yunus, & Said, 2012) el color en la arquitectura tiene especial relevancia ya que es una de las maneras más fáciles y económicas de alterar la apariencia de un entorno y, por tanto, la respuesta del usuario.

El color es un elemento de mejora visual que contribuye al proceso de aprendizaje, se cree que influye en el comportamiento positivo o negativo de los alumnos y afecta al rendimiento y estimula los sentidos (Nurlelawati , Rodzyah, & Yunusb, 2012). Así, Clabaugh (Clabaugh, 2004) indica que los sistemas de colores monótonos aumentan la tasa de ausentismo de los estudiantes, mientras que los colores claros y brillantes hacen que las personas se sientan alegres y elevadas. (Ocvirk, Stinson, Wigg, & Bone, 2009)

El color también mejora la capacidad de atención, desarrolla habilidades cognitivas y refresca la percepción. Sin embargo, encontrar el color apropiado para el entorno de aprendizaje es complicado ya que incide en la preferencia humana, percepción y aspectos emocionales (Nurlelawati , Rodzyah, & Yunusb, 2012)

Por ejemplo, el color preferido por niños y ancianos para un ambiente interior es el rojo, mientras que los adultos prefieren el azul al igual que los estudiantes varones y los trabajadores de una oficina (Nurlelawati , Rodzyah, & Yunusb, 2012).

Según Pally (Pally, Old, & Solms, 2001) las reacciones de los individuos dentro de un entorno se producen en función de la percepción que se forma por emoción, memoria

y motivación. Sin embargo, mucho del conocimiento existente es inconsistente al no especificar o codificar inequívocamente los estímulos empleados o al no utilizar medidas suficientemente fiables y válidas para recoger la respuesta a dichos estímulos (Gelineau, 1981)

Durante el proceso de diseño arquitectónico se trabaja desde un punto de vista perceptivo. La percepción de color que tenga el usuario de este espacio se basa en otros variables perceptivas o psicométricas del color: tono, luminosidad y saturación (Wise & Wise, 1998). Estas características han permitido que el color usualmente se agrupe en tonos cálidos (amarillo, rojo) y tonos fríos (azul o verde).

El tono es el atributo que diferencia el color y por el cual designamos los colores. Depende de la longitud de onda de la radiación lumínica (entre 400 y 700 nanómetros) y nos hace percibir los objetos desde rojos y naranjas hasta azules y violetas, pasando por todo el espectro visible (Lopez-Tarruella Maldonado, 2017).

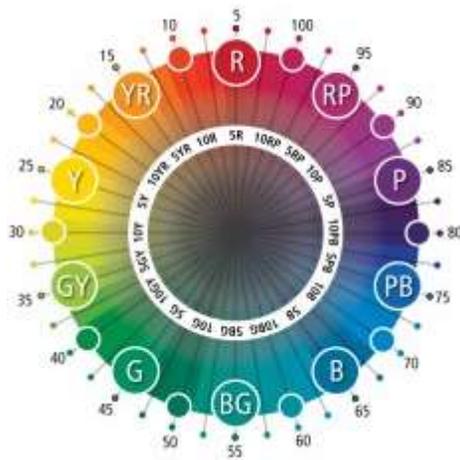
La Luminosidad es la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación.

La saturación se puede definir como la cantidad de luz que posee un color, es la claridad u oscuridad que pueda tener un color.

Para elegir el color que se va a emplear en un espacio, un proyectista se basa en un atlas de color, que corresponde a una serie de cartillas que agrupa y estandariza los parámetros descritos anteriormente. El más usado es el atlas de Munsell y NCS (Natural Color System) por su criterio de ordenación más científico y fácil de manejar.

## **ATLAS DE MUSELL**

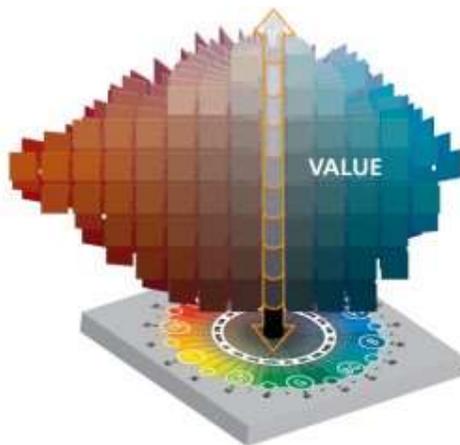
El Munsell Book of Color data de comienzos del siglo XX y fué inventado por el pintor y profesor de arte Albert Munsell. Este sistema de notación del color distingue 3 atributos:



### Tono (Hue)

Se distribuye alrededor de un círculo cromático a intervalos iguales según su ángulo, el valor del color en el eje vertical y el cromatismo en dirección perpendicular al eje vertical. Consta de 5 tonos: R, Y, G, B, P, que corresponde a los colores el Rojo, Amarillo, Verde, Azul y Violeta.

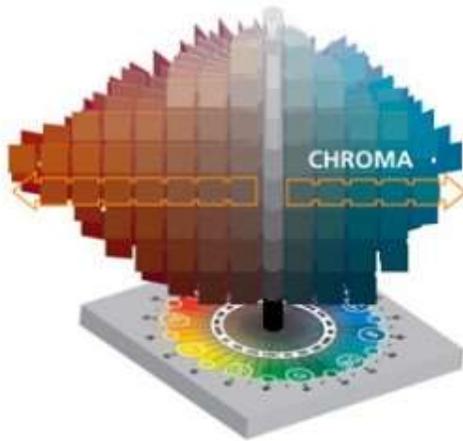
**Ilustración 1.** Munsell Hue. Fuente: <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-hue/>



### Valor (Value)

Indica la claridad de un color o cantidad de luz relativa de las muestras. La escala de valores varía de 0 (negro) a 10 (blanco). A estos colores se les denomina neutros y no tienen matiz. A los colores que tiene un tono se les denomina colores cromáticos. La escala de valores aplica para colores cromáticos y neutros.

**Ilustración 2.** Munsell Value. Fuente: <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-value/>

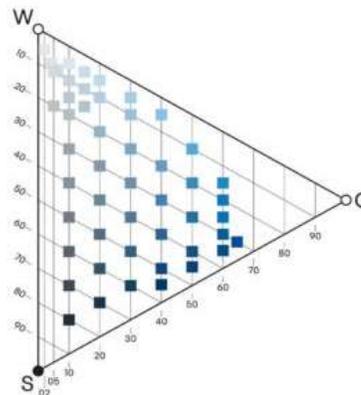
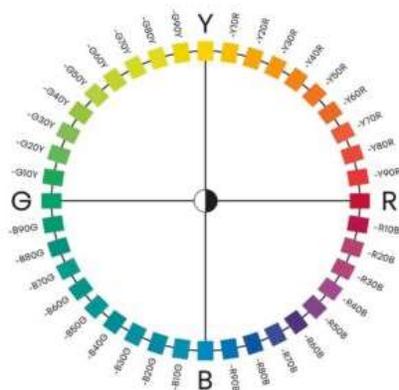


### Croma (Chroma)

Está relacionada con la saturación de las muestras. Las muestras neutras (grises) se sitúan cerca del eje del sólido de color y las cromáticas en el borde exterior. Los valores de la escala van desde el 0 (grises) hasta el 26 (máxima saturación).

**Ilustración 3.** Munsell Chroma. Fuente: <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-chroma/>

### NCS (Natural Color System)



**Ilustración 4.** Circulo Cromático NCS (derecha) y Triangulo NCS (izquierda). Fuente: <https://ncscolor.com/ncs/>

Este sistema se desarrolló en Suecia en 1979, por el psicólogo alemán Ewald Hering. Se basa en la oposición de tres parejas de colores: verde-rojo, azul-amarillo y negro-blanco.

La organización de este círculo cromático tiene similitud con la de Munsell y se basa en tres atributos perceptivos:

### Tono (Hue)

El tono se describe como la relación con uno o dos de los cuatro colores cromáticos elementales en el círculo de color: amarillo, rojo, azul y verde. Se denotan por sus iniciales en inglés Y, R, B y G.

### Negrura (Blackness)

Se relaciona con lo cerca que un color está respecto a un negro puro. Se representa en el eje vertical del sólido NCS con dos valores extremos: 0 (mínima negrura o blanco) y 100 (máxima negrura). Hay que señalar que los colores con igual negrura se representan no en líneas horizontales sino inclinadas.

### Cromaticidad (Chromaticness)

Se relaciona en cierta manera con la saturación del color, y se representa en sentido horizontal con dos valores extremos: 0 (mínima saturación o color gris) y 100 (máxima saturación). Los colores con 0% de cromaticidad, también llamados neutros o grises, se encuentran situados en el eje vertical del sólido y se denotan con la letra N.

### Notación NCS

Hay dos términos más que conviene conocer respecto a la notación NCS:

**Matiz.** - Son los cuatro primeros términos de un color denotado en NCS, representan su negrura y cromaticidad.

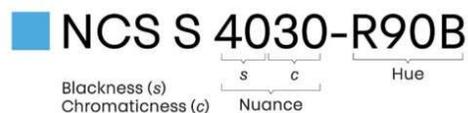
**Blancura.** - Que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Blancura} = 100 - (\text{negrura} + \text{cromaticidad})$$

Por ejemplo:

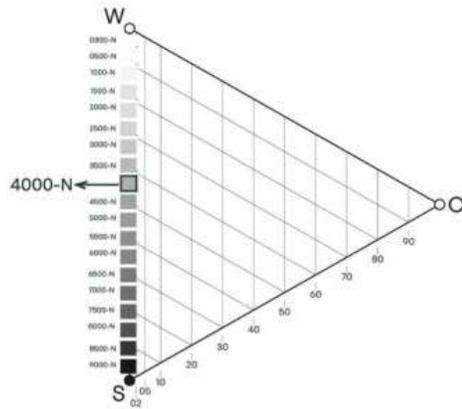
El color NCS S 4030-R90B tiene el matiz 4030, es decir, 40% en negrura y 30% en cromaticidad.

La blancura es entonces:  $100\% - (40\% + 30\%) = 30\%$



**Ilustración 5.** Notación NCS. Fuente: <https://ncscolour.com/ncs/>

### Colores Neutros NCS



Los colores neutros o grises puros no tienen un matiz y sólo reciben anotaciones de matices seguidas de - N para neutros.

Por ejemplo:

El color 4000-N tiene 40% de negrura y 0% de cromaticidad.

La blancura es entonces:

$$100\% - 40\% = 60\%$$

**Ilustración 6.** Colores Neutros NCS.  
Fuente: <https://ncscolor.com/ncs/>

### 3.1.2 LA INFLUENCIA DEL COLOR EN EL DISEÑO DE ESPACIOS DOCENTES.

El color es un factor esencial en el entorno de aprendizaje físico. Es uno de los elementos más importantes en el diseño de interiores. Soporta la luz y mejora el impacto de la iluminación en los usuarios. El color hace que la luz se perciba más brillante u oscura de lo normal (Daggett, Cobble, & Gertel, 2008)

El uso adecuado del color en el diseño de aulas influye directamente en la motivación de los alumnos, reduce el cansancio y la pasividad. También afecta al rendimiento de los estudiantes, así como a la eficiencia de los maestros y personal (Daggett, Cobble, & Gertel, 2008)

Variables físicas en las aulas como: el ruido, la luz, la temperatura y el color tienen efecto en el rendimiento académico y en el comportamiento de los estudiantes (Higgins, Hall, Wall, Woolner, & McCaughey, 2005)

Los colores cálidos (rojo y el naranja) y los colores fríos (azul y verde) tienen significados psicológicos diferentes e influyen en el estado emocional de las personas. Varias investigaciones demuestran que los trabajadores son propensos a cometer más errores en oficinas con paredes blancas que en las que tienen color (Bellizzi, Crowley, & Hasty, 1983)

Según (Nuhfer, 2007) los colores más apropiados para un aula incluyen amarillo – naranja claro, beige, verde claro o azul verdoso. Sin embargo (Thompson, 2003)

señala que el uso de color en un aula debe ser planteado de acuerdo con la edad de la población estudiantil y la función del aula o laboratorio.

Las personas reaccionan ante los estímulos de color y luz de manera diferente. Los interiores azules para tiendas orientadas a la moda están asociados a evaluaciones positivas, las hacen más atractivas que los interiores naranjas. Sin embargo, el resultado puede variar dependiendo del nivel de iluminación del espacio, debido a que el sujeto percibe el color de forma diferente. Por ejemplo, aplicación de luces suaves con un interior naranja generalmente elimina los efectos nocivos que produce el color naranja ( Babin, Hardesty, & Suter, 2003).

El estudio HEAD (Evidencia holística y diseño) que presenta como objetivo: "*Explorar si existe evidencia de los impactos demostrables del diseño del edificio escolar en las tasas de aprendizaje de los alumnos en escuelas primarias*". Confirmo la utilidad del modelo conceptual de naturalidad, individualidad y estimulación (SIN) como un vehículo para la organización y estudio de los impactos sensoriales experimentados por un sujeto en un espacio determinado. En este caso observo, que el principio de diseño de naturalidad (luz, temperatura y calidad de aire) influye hasta en un 50% en el aprendizaje y los otros dos principios: individualidad (propiedad y flexibilidad) y estimulación (complejidad y color) representan un 25% cada uno (Barret , Davie, Zhang, & Barrett, 2015)

Dentro de este estudio se identificó siete parámetros de diseño clave que juntos explican un 16% de la variación en el progreso académico, estos son: luz, temperatura, calidad del aire, propiedad, flexibilidad, complejidad y color (Barret , Davie, Zhang, & Barrett, 2015).

Este estudio también observo que factores como, por ejemplo, tamaño, recorridos, instalaciones especializadas o juegos no parecen ser tan importantes como el diseño de las aulas individuales.

Este estudio fue realizado en Reino Unido, donde se evaluaron 153 aulas en 27 escuelas con el propósito de identificar las características físicas del aula sobre el progreso académico de los alumnos.

En los entornos educativos, el color se puede denotar como una cuestión de preferencia. Los niños pequeños prefieren los colores saturados (Heinrich 1980, 1993).

Un enfoque funcional se centra en usar color para lograr un resultado final. Como una mayor capacidad de atención y niveles más bajos de fatiga ocular. Los elementos

cromáticos se evaluaron con colores con poca viveza (blanco / pálido) en un extremo de la escala. Y, colores con mucha viveza (rojo / naranja) en el otro. Cuando se ve como un factor funcional que impacta en el aprendizaje, se encontró que la estimulación del uso del color era curvilínea, de forma óptima en un nivel medio.

Este estudio concluyó respecto a la variable color lo siguiente:

- Color y área de la pared: Este aspecto central es curvilíneo. Las áreas grandes y de colores vivos tienen mala calificación al igual que las paredes blancas con pocos elementos de color. Los casos intermedios con paredes ligeras, más una característica con un color más saturado se encontró que es más efectivo para fomentar el aprendizaje.
- Contra este telón de fondo relativamente tranquilo: se recomienda agregar elementos de color en el aula que jueguen un papel complementario y estimulante. Por ejemplo, colores relativamente vivos en el suelo, persianas, escritorio o sillas. También se podría agregar puntos destacados adicionales y destellos de color.

En el estudio que realizó Dagget (Daggett, Cobble, & Gertel, 2008) en Estados Unidos, argumenta que el color funcional da prioridad a los resultados educativos, antes que a la estética. Se centra en el aprendizaje, mediante la reducción de la tensión ocular y el aumento de capacidad de atención.

El uso inadecuado del color en las interfaces educativas puede obstruir el aprendizaje. Los educadores necesitan explorar y considerar el papel del color en la educación. Particularmente en las interfaces educativas diseñadas con la intención de ayudar a los estudiantes a potenciar su desempeño en el salón de clases. (López, 2011)

### **3.1.3 ELEMENTOS DE DISEÑO, QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE**

El estudio realizado por Bingler (Bingler S. , 1995) sugiere que la comunidad educativa deje de considerar los edificios como meros contenedores. Estos espacios y sus instalaciones, debe ser considerados verdaderos instrumentos educativos.

Según los neuroarquitectos Tanner, Ebehard, Barrett, Zhang (2015) es importante realizar un análisis del impacto del medio sobre las actividades de enseñanza-

aprendizaje a través de una interpretación holística de los entornos educativos. Se debe considerar denominadores comunes entre medio físico, rendimiento escolar y estado emocional (Tanner C. , 2014)

Diversos estudios afirman que las condiciones físicas y emocionales pueden influir de manera decisiva. Cheryan, Ziegler, Plaut, y Meltzoff (2014) identifican dos elementos significativos:

- a) Las condiciones de iluminación, ruido, calidad del aire y calefacciones deficientes pueden socavar el aprendizaje en un aula.
- b) Objetos simbólicos y decoraciones en las aulas ayudan a reforzar su sentido de pertenencia y por tanto de bienestar.

De forma equivalente, los trabajos de Marchanda, Nardia, Reynoldsb, Pamoukovb (2014) demuestran que las condiciones acústicas y de temperaturas fuera de los límites del confort, afectan negativamente el desarrollo de los aprendizajes. Según (Kuller, Mikellides, & Janssens , 2009) el color tiene también un efecto en las emociones y en la fisiología. Además, produce cambios de humor que pueden tener un impacto en el rendimiento.

En el estudio realizado por Eberhard (Eberhard, 2009), se concluye que los profesionales de la arquitectura podrían minimizar los efectos fisiológicos, cognitivos y emocionales negativos si son capaces de entender los principios de la neurociencia, relacionados con la percepción y la orientación espacial. Categorizamos cuatro elementos esenciales que la Neuro-arquitectura propone como de mayor relevancia a la hora de crear entornos de aprendizaje:

### **1. El sentido emocional del entorno.**

Se refiere a los vínculos positivos o negativos con los entornos arquitectónicos, a través del sentido de la pertenencia. Sternberg y Wilson (2006) sugieren que los espacios que facilitan los recuerdos consolidan las reacciones positivas del cerebro y refuerzan el sentido de la pertenencia, estos conceptos coinciden con el estudio de Cheryan, Ziegler, Plaut y Meltzoff (2014).

### **2. Las proporciones del espacio**

En el estudio realizado por (Zhu & Meyers-Levy, 2009) sé concluyo que los techos altos animan a tener un pensamiento con más libertad contribuyendo a formular relaciones abstractas mientras que los techos bajos producen sensación de confinamiento produciendo en los alumnos un pensamiento minucioso y estadístico.

### **3. La iluminación.**

En el estudio realizado por Tanner (Tanner C. , 2014) se determinó que tener aulas con iluminación diurna mejora los resultados académicos de los alumnos: un 20% en matemáticas y un 26% en las habilidades lectoras.

Stenberg (Sternberg & Wilson, 2006) afirma que la iluminación de los entornos educativos es crítica porque inspira seguridad; los usuarios experimentan sensaciones de ansiedad y estrés cuando esta es deficiente.

### **4. La ubicación y la relación con el exterior.**

Habitualmente se considera que desviar la vista al exterior es una distracción. Sin embargo, el estudio realizado por Bernan (Berman, Jonides, & Kaplan, 2008) demuestran que la naturaleza aumenta la agudeza mental y reduce la carga de atención al ejercer una labor de restauración al concentrar el mínimo de estímulos.

Kenneth Tanner (2014) afirma que la neurociencia interpreta positivamente la reacción involuntaria del cerebro. Entre los beneficios que encontró son la relajación de la vista que permite al cerebro recuperar su capacidad de concentración, mejora las habilidades de lectura, arte y matemáticas (Tanner K. , 2014).

## **3.2 LA RESPUESTA PSICOFISIOLÓGICA DE LOS INDIVIDUOS EN UN ENTORNO Y SU MEDICIÓN.**

Tanto el modelo de Küller<sup>1</sup> y el de Mehrabian – Russell<sup>2</sup> analizan la respuesta psicológica a través de escalas validadas que miden la respuesta emocional.

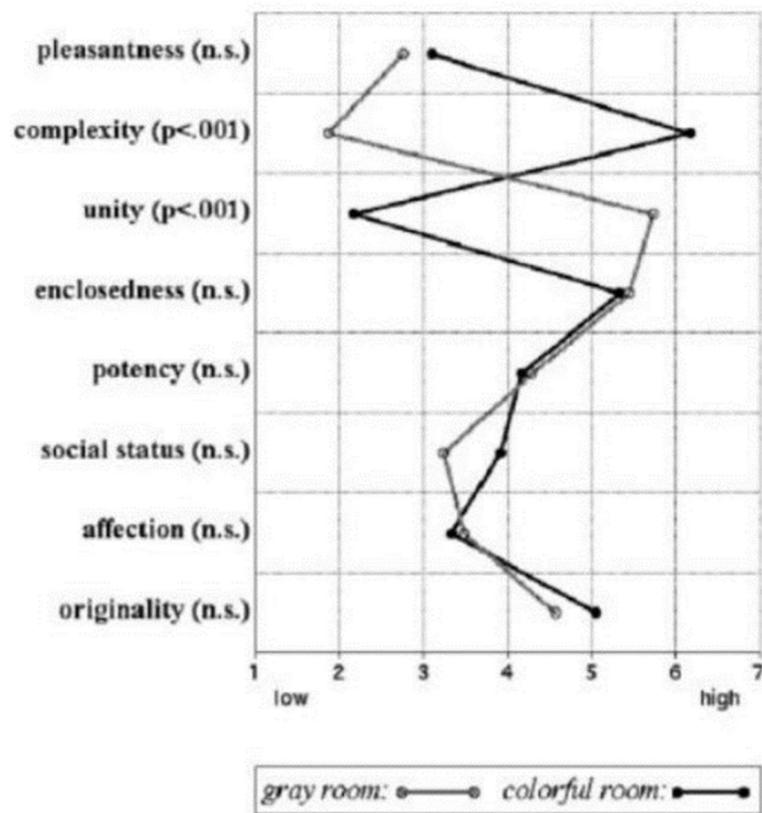
La SMB (Semantisk Milodeskribering) (Kuller R. , 1975) es una escala de análisis semántico de la percepción de los entornos (Acking & Kuller, 1976) que parte de la semántica diferencial (Osgood, 1952).

La escala de Kuller como se muestra en la ilustración 7, propone ocho conceptos: Agrado, Complejidad, Unidad, Demarcación Espacial, Potencia, Status Social, Familiaridad y Originalidad.

---

<sup>1</sup> Kuller, R., (1975). "Semantisk milobeskriving (SMB)". in Semantic Descriptions of Environments.

<sup>2</sup> Russell, J.A. y Mehrabian, A., (1977). "Evidence for a three-factor theory of emotions". In Journal of Research in Personality, vol.11 issue3, p.273-294.

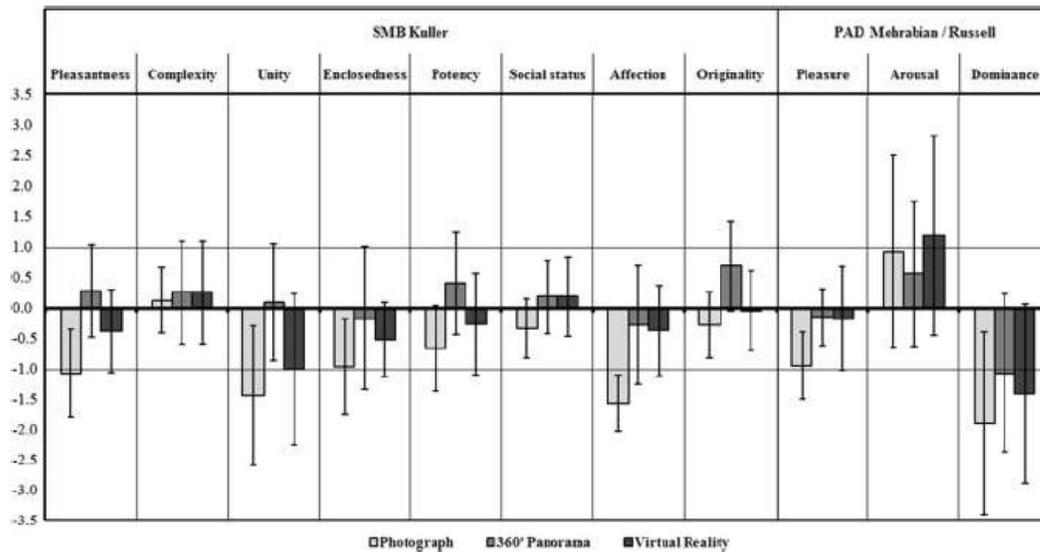


**Ilustración 7.** Modelo de Küller, donde se compara la interacción de un individuo al encontrarse en una habitación colorida frente a una en escala de grises, 2008. Fuente: Color, Arousal, and Performance. A Comparison of Three Experiments, Oxford Brookes.

En el modelo PAD (modelo de estado emocional) de Mehrabian – Russell, utiliza tres dimensiones numéricas: Placer, Activación y Dominancia son los más significativos a la hora de evaluar la relación individuo – espacio (Russell & Mehrabian, 1977) .

Esos parten del modelo de Osgood, Suci y Tannenburn, donde proponían la Evaluación (bueno/malo), la Potencia (fuerte/débil) y la Actividad (activo/ pasivo), como las 3 dimensiones básicas para la descripción de los entornos (Osgood, 1952).

En la ilustración 8, se muestra la aplicación del uso de las escalas de Küller y Mehrabian – Russell en la evaluación de espacios.



**Ilustración 8.** Ejemplo de valoración mediante las dimensiones emocionales de Küller y Mehrabian-Russell. Fuente: Higuera-Trujillo et al., 2017.

Para medir el grado de presencia del individuo durante la evaluación a menudo se ha utilizado la aplicación de encuestas y cuestionarios que ha permitido determinar este factor. El uso de este método es totalmente válido y se ha comprobado su efectividad, es un método también fácil de aplicar y económico.

Esta medición psicológica no es suficiente, ya que, puede haber un sesgo por la propia intervención del encuestado. Una medición completa implica recoger la respuesta inconsciente o involuntaria del sujeto y eso es lo que precisamente aporta la neurociencia en estos casos de estudio.

La respuesta cognitiva - emocional en un individuo es producida por la actividad cerebral; a través, del sistema nervioso autónomo, que produce ciertos cambios corporales a nivel electroquímico. Estos cambios fisiológicos como: la variación de la actividad cardiaca, respiración, sudoración y activación muscular, pueden ser registrados con el uso de instrumentos adecuados (Kreibig, 2010)

La respuesta fisiológica del ser humano se registra mediante técnicas que recubren el sistema nervioso central autónomo y somático. Por ejemplo, la medición de actividad electrotérmica (EDA) y electrocardiograma (ECG).

Sobre estos sistemas Juan Luis Higuera, Antoni Montañana y Carmen Llinares sugieren su empleabilidad para el registro de mediciones. Mediante, el uso de instrumental portátil y mínimamente invasivos, para la obtención de datos de la actividad del sistema nervioso simpático y parasimpático, relacionados con los

estados de activación – motivación. (Higuera-Trujillo, Llinares Milán, Montañana i Aviño, & Rojas, 2019).

El EDA cuantifica la variación de las propiedades electro-dérmicas resultantes de la exudación (Boucsein, 2012) relacionada con la actividad simpática. Su análisis permite que se clasifique en dos tipos de actividades:

- a) **Actividad tónica de lenta variación.** – que analiza al nivel basal de conductancia.
- b) **Actividad fásica de rápida variación.** – que se refiere a las respuestas a los estímulos.

El ECG registra gráficamente la actividad eléctrica del corazón (Goldman, 1976). En el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) se puede diferenciar: la banda baja (LF 0,04-0,15 Hz) indicador de la actividad simpática que se relaciona con el aumento de arousal y la banda alta (HF 0,15-0,4 Hz), indicador de la actividad parasimpática relacionada con la disminución o descenso del arousal; y la ratio entre ambas (LFHF) (Malliani, 1999).

### 3.3 La Realidad Virtual como técnica de visualización de estímulos.

El artista e investigador Myron Krueger en 1991, definía que en una realidad artificial se percibe las acciones del participante en términos de la relación de su cuerpo con un mundo gráfico y genera respuestas que mantienen la ilusión que sus acciones se están desarrollando dentro de este mundo.

La RV es capaz de producir reacciones similares a las que se producirían en un espacio real (Rohrmann & Bishop, 2002) y por ello se utiliza para estudiar los efectos de los parámetros de diseño del espacio en el usuario (Sheppard & Salter, 2004). Además, responde a la dificultad de recrear todas las variables manejadas en un estudio de este tipo en la realidad.

La mayor parte de estudios realizados hasta el momento eran en base de la utilización de videos, fotografías, ilustraciones, maquetas. Con el fin, de situar al sujeto en el espacio y realizar una evaluación. Este método presenta valores inexactos, al presentar limitaciones como ausencia de visión estereoscópica e interactividad que hoy en día podemos visualizarlas en un espacio de trabajo virtual y obtener mejores resultados.

La Realidad Virtual ofrece la posibilidad de generar representaciones arquitectónicas que generan la sensación de “estar ahí” (Steuer, 1992). Mediante el uso de dispositivos de presentación, como cascos de realidad virtual. Esta tecnología muestra de forma inmersiva, interactiva y subjetiva un entorno tridimensional realista, permite al usuario su inmersión y manipulación directa (Fuchs & Bishop et al., 1992)

La principal vía de introducción de la RV al mercado ha sido en el sector de los videojuegos. Pero también está siendo ampliamente utilizado en la industria de la edificación, que permite visualizar un edificio no construido. Así mismo, el área médica donde se emplean simuladores para operaciones quirúrgicas.

La simulación ambiental tiene dos funciones principales: investigar la percepción humana y expresar aspectos de diseño. La primera ha encontrado afinidad en la psicología ambiental, y la segunda en el diseño en general y a la arquitectura en particular. Por ello, resulta una herramienta indispensable cuya utilidad debe estudiarse adecuadamente (Higuera-Trujillo, López-Tralluela, Llinares Milán, & Iñarra Abad, 2017).

Para la presentación de los estímulos es importante elegir el tipo de nivel de presentación que puede ser:

- **Nivel de soporte de presentación.** - para ello se han desarrollado dispositivos como: desktop displays, head-mounted displays (HMD) y projection displays.
- **A nivel de formato.** – en la presentación de espacios arquitectónicos lo que ha destacado el uso de los gráficos (Sheppard, 1989). Ya en la década de los 60 se popularizó el uso de la fotografía (Stamps, 1990); posteriormente se incorpora el uso del video (Bateson & Hui, 1992), estas herramientas presentan limitaciones, al no poder transmitir la sensación de presencia. (Taboada, 2011). Los formatos más recientes son los renders y fotografías panorámicas de 360°.
- **A nivel de validez.** - Una simulación tiene por objetivo representar un espacio virtual lo más realista posible. Para ello es necesario realizar un contraste de los resultados obtenidos en los diferentes medios de representación respecto de la realidad. No existen muchos estudios que hagan una comparativa entre un entorno virtual y un espacio real (Kuliga, Thrash,, Dalton, & Hölscher, 2015)

## 4. METODOLOGÍA GENERAL Y RESULTADOS

Este estudio forma parte de una experiencia de mayor tamaño y con un objetivo más amplio, en el que se analizan parámetros de forma, iluminación y color. Dicho estudio forma parte de un proyecto de investigación de carácter competitivo de título "*El diseño de aula para potenciar los procesos cognitivos del alumnado: una propuesta metodológica para evaluar las variables luz, color y forma*" (BIA2017-86157-R, Ministerio de Economía y Competitividad, España).

Estos factores de diseño (color, iluminación y forma) se analizaron en simultáneo, con el fin de evitar que los sujetos pudieran concentrar su atención en un determinado parámetro.

La metodología que se aplicó en este estudio se basa en dos fases. Una primera fase instrumental, en la que se selecciona y virtualiza el aula objeto de estudio y una segunda fase experimental en la que se recoge la respuesta de los sujetos para el posterior análisis y obtención de resultados.

### 4.1 Fase I

En esta etapa se elige el aula que será objeto de estudio. Posteriormente será convertida en un escenario virtual al que se podrá modificar sus condiciones físicas y en los cuales basaremos los experimentos.

Una vez seleccionada el aula, se diseña una matriz con los posibles escenarios virtuales mediante todas las combinaciones que se consiga realizar entre los parámetros de color seleccionados.

Una vez seleccionada el aula se realiza la digitalización en 3D en AutoCad y renderizado con Autodesk 3ds Max v2015 y Vray v3.00.08.

Las simulaciones se validaron a través cuestionarios capaces de valorar la sensación de presencia de los sujetos en los entornos virtuales.

### 4.1.1 Materiales y métodos.

#### AULA

El aula en el que se basa el estudio es espacio real, que pertenece a la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y que está ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación (ETSIE).

Las condicionantes que debía cumplir el aula para que se pudiera realizar el estudio son dos:

- Ser un aula representativa de las aulas universitarias.
- Que fuera viable su modificación.

#### SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS VARIABLE COLOR.

Para el estudio se seleccionaron los siguientes 10 tonos de color del Atlas de Munsell bajo los siguientes parámetros:



- El color de los tonos es proporcional entre colores cálidos y fríos.
- El valor medio de tonos es igual a 5.
- Se elige siempre un tono con mayor saturación y otro tono que esté tres muestras por debajo, con el fin de mantener constante la diferencia de saturación entre dos colores seleccionados de un mismo tono, en 6 puntos de croma.

Los colores que se obtuvieron fueron los siguientes:



**Ilustración 9.** Paleta de colores seleccionada para las aulas. Fuente: <http://pteromys.melonisland.net/munsell/?#>. Elaboración Propia

Con el uso de la herramienta Adobe Photoshop se traducen las muestras seleccionadas a la nomenclatura HSV. Estos son los colores que se introducen en el programa de renderización Autodesk 3ds Max y se obtienen las imágenes digitales, en las que se puede presentar alguna variabilidad de color. De ser el caso, se realiza una postproducción y se minimizan las diferencias.

Posteriormente se procede a tomar una muestra de la región de la pared con una iluminación intermedia y se obtiene el color en nomenclatura RGB.

Con este valor se traduce a nomenclatura NCS y así obtenemos la paleta de color que se utilizó en el aula.

MUNSELL	NCS
5BG 5/4	NCS S 4040-B30G
5BG 5/10	NCS S 3040-B50G
5PB 5/8	NCS S 3040-R80B
5PB 5/14	NCS S 2060-R90B
5P 5/6	NCS S 3030-R60B
5P 5/12	NCS S 2050-R60B
5RP 5/8	NCS S 3030-R30B
5RP 5/14	NCS S 1060-R30B
5R 5/10	NCS S 2050-Y90R
5R 5/16	NCS S 1070-R
5YR 5/4	NCS S 4010-Y30R
5YR 5/10	NCS S 3050-Y30R
5Y 5/2	NCS S 5005-G80Y
5Y 5/8	NCS S 3560-Y
5GY 5/4	NCS S 4020-G30Y
5GY 5/10	NCS S 3060-G50Y
5G 5/4	NCS S 4020-B70G
5G 5/10	NCS S 3050-G
5B 5/4	NCS S 3030-B
5B 5/10	NCS S 3030-B

**Ilustración 10.** Paleta de colores utilizada, equivalencia entre Munsell y NCS. Elaboración propia. Fuente: <https://www.idecolor.com/academy/conversor-de-color-ncs/>

Este proceso pretende validar los requisitos marcados en la selección de tono de color, con el fin de que si existieran variaciones se mantenga una relación entre sí.

**Tabla 1.** Matriz de combinaciones de los parámetros de color. Fuente: i3B

SERIE COLOR			
Código	Tono	Saturación	Nomenclatura Completa
ETSIE			
110	5BG	4	5BG 5/4
112	5BG	10	5BG 5/10
114	5BG	4 + 10	5BG 5/4 + 5BG 5/10
116	5PB	8	5PB 5/8
118	5PB	14	5PB 5/14
120	5PB	8 + 14	5PB 5/8 + 5PB 5/14
122	5P	6	5P 5/6
124	5P	12	5P 5/12
126	5P	6 + 12	5P 5/12
128	5RP	8	5RP 5/8
130	5RP	14	5RP 5/14
132	5RP	8 + 14	5RP 5/8 + 5RP 5/14
134	5R	10	5R 5/10
136	5R	16	5R 5/16
138	5R	10 + 16	5R 5/10 + 5R 5/16
140	5YR	4	5YR 5/4
142	5YR	10	5YR 5/10
144	5YR	4 + 10	5YR 5/4 + 5YR 5/10
146	5Y	2	5Y 5/2
148	5Y	8	5Y 5/8
150	5Y	2 + 8	5Y 5/2 + 5Y 5/8
152	5GY	4	5GY 5/4
154	5GY	10	5GY 5/10
155	5GY	4 + 10	5GY 5/10
28	-	0	

## GENERACIÓN DE ESPACIOS VIRTUALES

Los escenarios virtuales creados son modificados respecto al real con el fin de conseguir que el sujeto se adapte al espacio generado y perciba los estímulos de forma adecuada.

Al espacio real se le denomina "aula real", mientras que al espacio virtual modificado se le denomina "aula base". Como estímulo base se tomó la réplica virtual inmersiva de un aula física representativa. Concretamente, un aula de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación (ETSIE) de la Universitat Politècnica de València, con unas dimensiones de 16.5 por 8.5 metros y capacidad para 88 estudiantes.

En el espacio renderizado se ha establecido un punto específico donde se sitúa el punto de vista del sujeto, desde la altura del pupitre y apoyado en su mesa, permitiéndole observar directamente la pizarra y la mesa del profesor. Esto permite garantizar una visión lo más aproximada a la realidad.

La ilustración 11 muestra el aula base, en donde se configuraron las distintas modificaciones de color en las paredes



**Ilustración 11.** Aula base, panorámica 360°. Fuente: i3B

### 4.1.2 RESULTADOS FASE I

Como resultado de la Fase Instrumental se obtiene la paleta de colores que se aplicará en el aula, para la creación de escenarios virtuales con imágenes en formato JPG resolución 6000 x 3000 píxeles con una configuración panorámica de 360°.

**Tabla 2.** Escenarios aula ETSIE. Fuente i3B

MUNSELL	AULA	PANORÁMICA 360°
5BG 5/4	110	
5BG 5/10	112	
5BG 5/4	114	
5BG 5/10		

5PB 5/8	116	
5PB 5/14	118	
5PB 5/8	120	
5PB 5/14		
5P 5/6	122	

5P 5/12

124



5P 5/6

126



5P 5/12

5RP 5/8

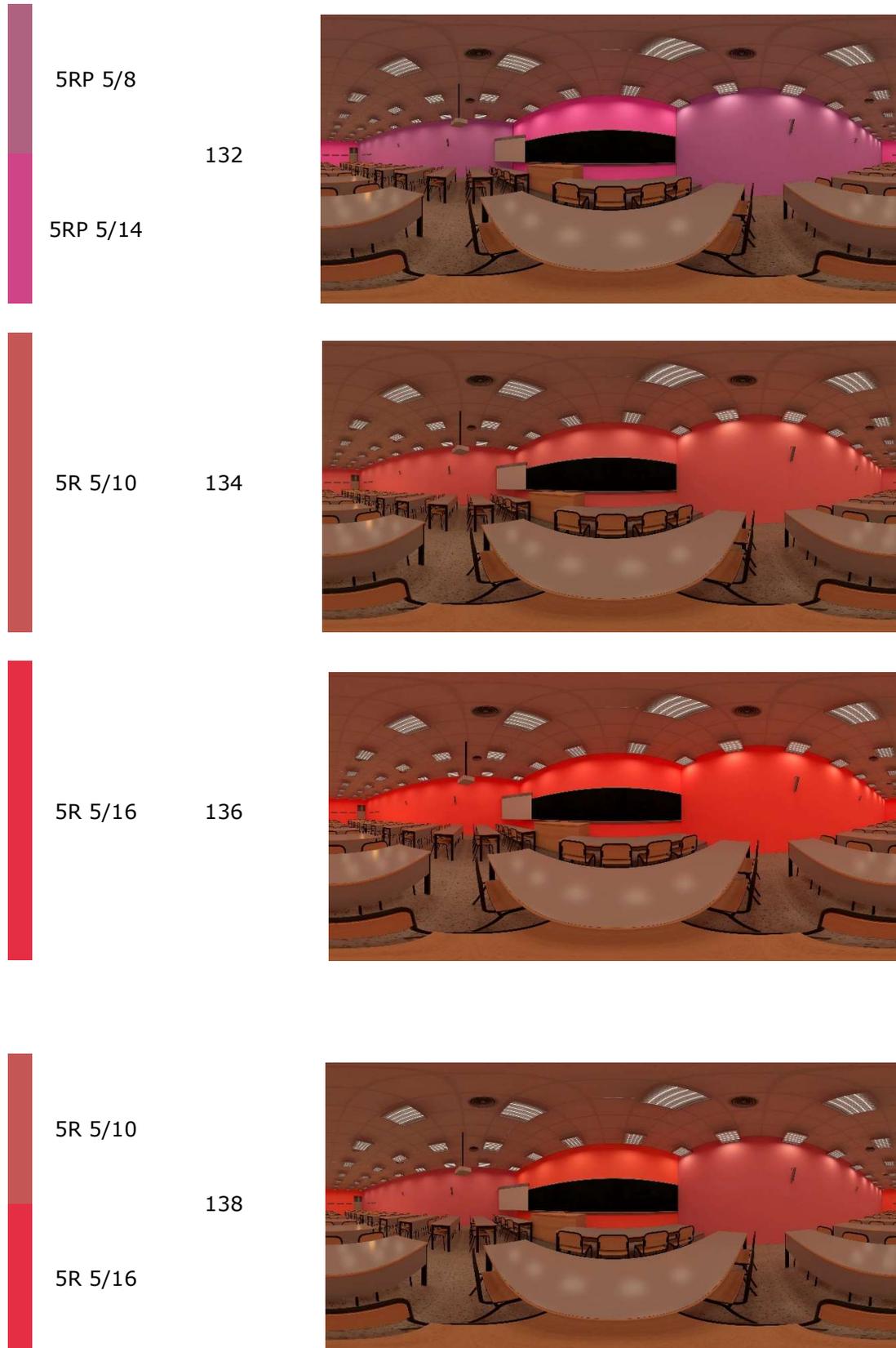
128

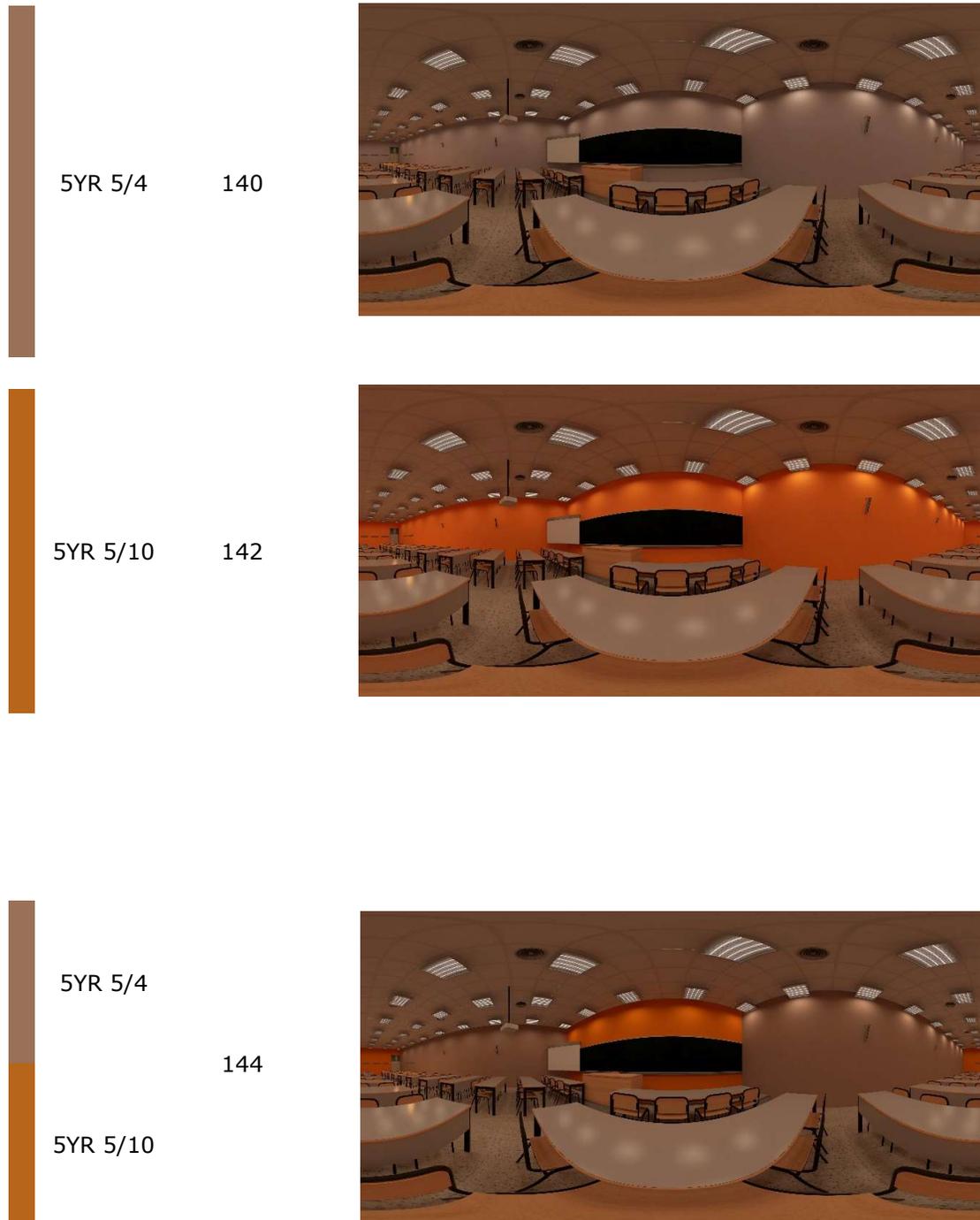


5RP 5/14

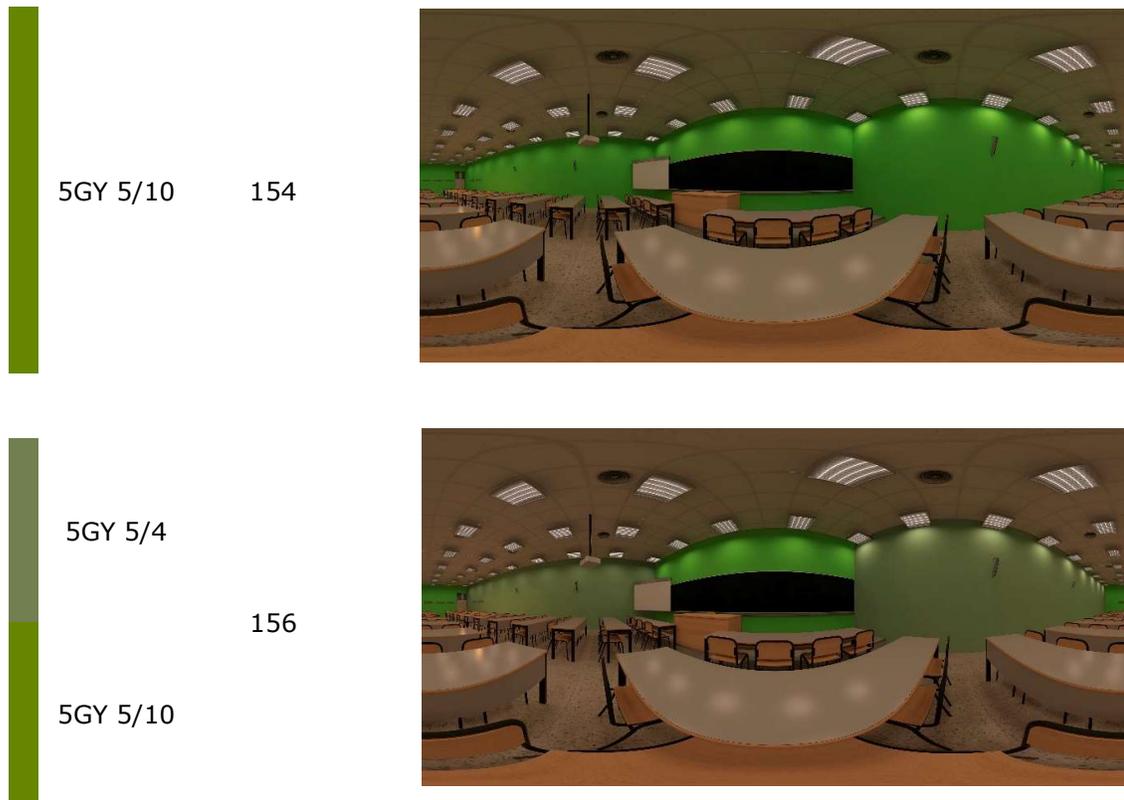
130







	5Y 5/2	146	
	5Y 5/8	148	
	5Y 5/2 5Y 5/8	150	
	5GY 5/4	152	



## 4.2 FASE II

En esta fase se mide la respuesta de los estímulos generados en la experiencia. Posteriormente se realiza el procesamiento de datos. El estudio de campo se realiza en el laboratorio utilizando sistemas de realidad virtual inmersivos. De esta experimentación se obtienen repuestas psicológicas y neurofisiológicas que permiten analizar capacidades cognitivas como memoria y atención.

### 4.2.1 Material y Métodos.

#### MUESTRA

Los criterios de selección de la muestra fueron los siguientes:

- Estudiantes universitarios.
- Rango de edad entre 18 y 30 años.
- Distribución equitativa por género.
- Nacionalidad española para evitar la diferente percepción por motivos culturales.

Se logró obtener la muestra con la participación de estudiantes de la Universidad Politécnica de Valencia, que cumplían con las características antes descritas. Finalmente participaron 86 sujetos de nacionalidad española, 48 participantes femeninos y 38 masculinos; con una edad media de 23.5 años.

#### PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó bajo el protocolo descrito en la Tabla 3. Cada individuo participante visualizaba cinco escenarios diferentes, donde se iban modificando los parámetros de iluminación, color y forma. El resto de las características del aula permanecían inalterados. La iluminación, color y forma se modificaban también de manera individual, es decir, que sólo se veía alterada el aula en una variable. Este aspecto es muy relevante porque de lo contrario no sería posible identificar la incidencia individual de cada elemento de diseño.

**Tabla 3.** Estructura General del Protocolo de Investigación. Fuente: i3B

	CONCEPTO	TIEMPO
PREPARACIÓN	<b>INICIO CON EL PARTICIPANTE</b> Recepción, indicaciones básicas, firma del consentimiento, cuestionario demográfico, y colocación de dispositivos de registro neurofisiológico.	= 10'
	<b>PRUEBA ESCENARIO BASE</b> Visión del escenario "BA". Para ajustar las HTC y acostumbrar al participante. 1. "Visualiza el espacio, y cuando te sientas cómodo podemos continuamos". 2. El entrevistador lanza la versión "_EN" de "BA". <i>"Durante la prueba verás este tipo de estímulos. Llegado el momento te preguntaré valoraciones sobre el espacio, que tendrás que valorar mediante una escala como esta".</i> Tras esto, el entrevistador retira las gafas al sujeto con cuidado.	= 2'
	<b>TEST DE ISHIHARA</b> El entrevistador muestra las 21 imágenes, y apunta si acierta o no la solución.	= 1'
PRE - EXPERIENCIAS (en iMotions)	<b>EJECUTAR ESTUDIO IMOTIONS</b> El entrevistador ejecuta el estudio, según lo indicado en el protocolo.	= 1'
	<b>LÍNEA BASE</b> Ojos Abiertos + Ojos Cerrados.	= 3' (1'5 +1'5)
	<b>INSTRUCCIONES GENERALES</b> <i>"A continuación escucharás un audio. Después te verás inmerso en un espacio. Imagina que es un aula universitaria en la que recibes clase. Obsérvala durante 90 segundos. Después realizarás una serie de tareas y cuestionarios. En los cuestionarios no hay respuestas correctas ni incorrectas. No emplees demasiado tiempo, y da la que mejor describa cómo te sientes. Esto se repetirá seis veces".</i>	= 1'
	<b>COLOCAR HTC EN PARTICIPANTE</b> El entrevistador ajusta las gafas al participante, con cuidado de no interferir con los electrodos.	= 1'
EXPERIENCIAS (en iMotions)	<b>AUDIO DE DESCANSO</b> El entrevistador lanza el escenario "NE" en la aplicación VisorHTC360. Es un escenario negro. <i>"Por favor, escucha este audio e intenta relajarte mientras lo haces".</i> A continuación, lanza el audio de descanso desde el portátil.	= 1'
	<b>EXPERIENCIA DEL AULA</b> El entrevistador lanza el escenario elegido (Anexo 1). Pulsa "Ctrl+F5" al iniciar la visión, y "Ctrl+F8" tras 1 minuto.	= 1'

	<p><b>TAREA DE MEMORIA</b></p> <p>"A continuación escucharás una lista de palabras. Intenta recordarlas. Después se te pedirá que las repitas sin importar su orden en un tiempo de 30 segundos. Esto se repetirá tres veces".</p> <p>El entrevistador lanza tres listas en audio (Anexo 2). Tras la reproducción de cada una, pide que repita las palabras.</p> <p>El entrevistador las apunta todas. Posteriormente, las categorizará (Anexo 3).</p>	= 3'
	<p><b>TAREA DE ATENCIÓN</b></p> <p>"A continuación escucharás una serie sonidos. Debes reaccionar lo antes posible ante un estímulo haciendo un solo clic de ratón, y evitar hacerlo con otros. El estímulo al que debes reaccionar es este...; y el estímulo al que no, es este...".</p> <p>El entrevistador ejecuta la aplicación, tres veces para cada participante.</p>	= 4'
	<p><b>VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA</b></p> <p>El entrevistador lanza la versión "_EN" del escenario en que se encuentre. Y pregunta las valoraciones de los aspectos descritos en el cuestionario. Tras esto, si tiene que visualizar otro escenario se vuelve al principio de "Experiencias". Sólo si está visualizando el escenario "02", se pasaría el cuestionario de Motivación (siguiente fila) antes de volver al principio de "Experiencias". Si es el último escenario se le retiran las gafas.</p>	= 1'
<b>Post Experiencia</b>	<p><b>CUESTIONARIO DE PRESENCIA Y DEMOGRÁFICO</b></p> <p>Cuestionario SUS (para todas las experiencias en general) y cuestionario demográfico.</p>	= 1'
	<p><b>FINAL CON EL PARTICIPANTE</b></p> <p>Retirada de dispositivos, acompañamiento a la salida.</p>	= 5'
	<b>TOTAL</b>	= 75'

## VISUALIZACIÓN DE ESTÍMULOS.

Los escenarios fueron proyectados a los sujetos por medio de un sistema de visualización virtual, un dispositivo HTC Vive, que consiste en unas gafas de realidad virtual que contienen hasta 32 sensores que cubren 360° por los que el sujeto se puede desplazar. La resolución con la que cuenta es de 2160 x 1200 pixles, un campo visual de 110° y una frecuencia de actualización de 90 Hz.

Este dispositivo se conecta al ordenador (Acer Predator G6) del laboratorio, desde donde sale la imagen, por medio de un DisplayPort 1.2 y USB 3.0.



**Ilustración 12.** Participante del estudio. Fuente: i3B



**Ilustración 13.** Dispositivo HTC Vive. Fuente: [www.vive.com](http://www.vive.com)

## REGISTROS PSICOLÓGICOS

Para analizar las respuestas psicológicas de los participantes en la experiencia se desarrolló una serie de cuestionarios y tareas. Para el análisis neurofisiológico se usó el software iMotions (v.6.1) que permite registrar las reacciones neurofisiológicas.

### A. CUESTIONARIOS.

El participante durante la experiencia daba respuesta a tres tipos de cuestionarios, diseñados en el protocolo general de la investigación.

**1.- Cuestionario de presencia.** – Era leído por el entrevistador mientras el participante aún se encontraba observando el espacio virtual. Esta prueba se basa en el System Usability Scale<sup>3</sup>, que mide la usabilidad o presencia y que fue desarrollado por John Brooke. El SUS evalúa 6 aspectos que determinan el nivel de inmersión en un espacio virtual, y se puntúa en una escala del 1 al 7, donde 1 equivale a desacuerdo y el 7 totalmente de acuerdo. Este test tiene como fin comprobar la proximidad de un escenario virtual a uno real.

La prueba contiene los siguientes parámetros:

**Tabla 4.** Cuestionario de Presencia. Fuente: i3B

Aspectos	1 a 7
Tuve la sensación de estar ahí en el aula	
Hubo momentos durante la experiencia en que el aula era real para mí	
Al pensar en el aula lo recuerdo más como un sitio en el que he estado	
Mi mayor sensación fue la de estar en el aula	
El recuerdo que tengo de estar en otro sitio parecido es totalmente igual	
Durante la experiencia solía pensar que estaba en el aula	

**2.- Cuestionario autoevaluación.** – Al igual que el cuestionario anterior, era leído por el entrevistador mientras el sujeto seguía con las gafas de realidad virtual. Consiste en una prueba de 5 preguntas relacionadas con la memoria y la atención.

<sup>3</sup> Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994). Depth of Presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 130–144.

El sujeto valoraba las cuestiones en una escala que iba del -4 (totalmente en desacuerdo) a 4 (totalmente de acuerdo). El contenido de esta prueba es el siguiente:

**Tabla 5.** Cuestionario de Autoevaluación. Fuente: i3B

	-4 a 4
En general, me sentía MOTIVADO cuando completaba las tareas en esta aula	
Me parece apropiada esta aula para potenciar la MEMORIA	
Me parece apropiada esta aula para potenciar la ATENCIÓN	
En general, ME GUSTA	

**3.- Valoración de ambiente.** – Esta valoración la realizaban participantes al finalizar la experiencia y cuando eran retirados todos los instrumentos y sensores. En una escala de -4 al 4, se valoraban cuestiones relacionadas con el espacio proyectado. El cuestionario contenía lo siguiente:

**Tabla 6.** Cuestionario de valoración del ambiente. Fuente: I3B

El aula tiene un diseño...	-4 a 4
Funcional, está bien distribuida	
Cálido y agradable	
Que permite concentrarse	
Actual	
Con buena iluminación natural	
Con buena iluminación artificial	

## B. TAREAS

Para ampliar el registro de respuestas psicológicas, los participantes también realizaron tareas de memoria y atención.

### TAREA DE MEMORIA

Esta tarea que se basa en el estudio de (Alonso, Fernández, Díez, & Beato, 2004). La tarea consistía en la reproducción de 3 audios para cada visualización. Cada audio contenía una lista de 15 palabras relacionadas entre sí. El sujeto tras escuchar el audio repetía las palabras que recordaba. El listado de palabras reproducidas era el siguiente.

<b>LISTA 1</b>	<b>LISTA 2</b>	<b>LISTA 3</b>	<b>LISTA 4</b>	<b>LISTA 5</b>	<b>LISTA 6</b>
Película	Fuego	Dolor	Día	Pie	Música
Arte	Cigarro	Daño	Luna	Cordón	Cuerdas
Televisión	Chimenea	Herida	Oscuridad	Tacón	Tocar
Oscuro	Tabaco	Rotura	Estrellas	Bota	Española
Visión	Gris	Futbol	Negra	Andar	Eléctrica
Actor	Incendio	Pierna	Dormir	Zapatilla	Flamenco
Teatro	Fumar	Grave	Luz	Suela	Canción
Mudo	Señal	Roto	Sueño	Sandalia	Rock
Butaca	Olor	Accidente	Vida	Cuero	Concierto
Pantalla	Leña	Fractura	Cielo	Incomodo	Piano
Espectáculo	Sucio	Corte	Fiesta	Media	Punteo
Video	Indio	Rodilla	Soledad	Caminar	Tambor
Estreno	Hoguera	Brazo	Larga	Apretado	Acordes
Proyector	Ceniza	Enfermedad	Juerga	Calzado	Acústica
Entretenido	Aire	Rasguño	Miedo	Betún	Clásica
<b>LISTA 7</b>	<b>LISTA 8</b>	<b>LISTA 9</b>	<b>LISTA 10</b>	<b>LISTA 11</b>	<b>LISTA 12</b>
Sitio	Alas	Música	Amor	Soldado	Mauilido
Aquí	Volar	Canto	Rojo	Militar	Arañazo
Parte	Colores	Melodía	Latido	Guardia	Ratón
Mancha	Gusano	Cuan	Vida	General	Uñas
Campo	Bonita	Voz	Sangre	Ejercito	Tejado
Espacio	Belleza	Letra	Partido	Policía	Felino
Monte	Jardín	Ritmo	Orégano	Mili	Bigotes
Punto	Efecto	Nana	Roto	Batallón	Liebre
Allí	Libre	Tono	Infarto	Represión	Persa
Éste	Insecto	Sonata	León	Regimiento	Pardo
Estar	Parque	Ópera	Bombear	Oficial	Mascota
Rincón	Frágil	Guitarra	Caliente	Infantería	Fiereza
Región	Larva	Armonía	Vena	Guerra	Cascabel
Ciudad	Oruga	Festival	Alma	Coronel	Angora
<b>LISTA 13</b>	<b>LISTA 14</b>	<b>LISTA 15</b>			
Alegría	Paz	Cuello			
Juerga	Muerte	Alta			
Diversión	Lucha	Zoo			
Baile	Horror	Selva			
Marcha	Odio	Manchas			
Verbena	Sangre	África			
Noche	Violencia	Árbol			
Guateque	Destrucción	Grande			
Grande	Fusil	Sabana			
Feliz	Mal	Larga			
Música	Batalla	Jungla			

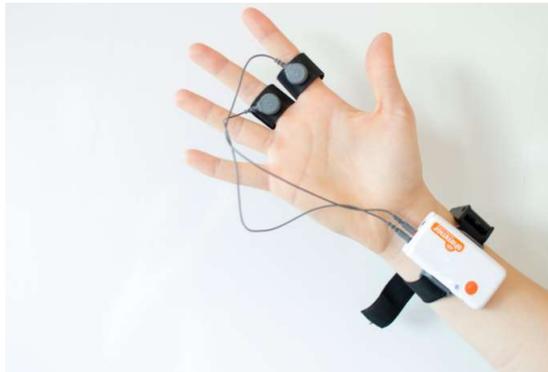
## TAREA DE ATENCIÓN

Esta tarea está basada en el estudio de (Seidman, Breiter, & Goodman, 1998). Consiste que el sujeto escuche 120 sonidos de manera aleatoria a los que tiene que reaccionar dando un clic al ratón ante un sonido específico. Con esto se mide el tiempo de reacción en una respuesta. Por otra parte, debe evitar hacer click a otros sonidos distractores, con esto se miden los errores.

Estas instrucciones eran explicadas por el entrevistador al sujeto, previo realizar la prueba, en donde se indicaba a que sonido tenía que reaccionar y al cual evitar hacerlo.

## REGISTROS NEUROFISIOLÓGICOS.

### A. Electrical Dermic Activity (EDA)



**Ilustración 14.** Dispositivo Shimmer 3 GSR+. Fuente: [www.imotions.com](http://www.imotions.com)

La respuesta galvánica de la piel (Electrical Dermic Activity -EDA-) o también llamada actividad electrodérmica, es una medida psicofisiológica que ha sido muy estudiada por la psicobiología experimental (Gómez, Patiño, & Bandrés, 2014)

Se ha relacionado la EDA con ciertos estados emocionales del ser humano. Desde ese momento se ha intentado relacionar la EDA con otros parámetros fisiológicos como lo son el ritmo cardíaco, la temperatura, la respiración y la electroencefalografía. (Gómez, Patiño, & Bandrés, 2014).

Estos datos se obtienen a partir de las propiedades eléctricas de la piel del sujeto, ya que varían con la actividad de las glándulas sudoríparas debido al estrés, la excitación o la excitación emocional.

Cuando una persona suda, la conductividad de su piel cambia y la activación de las glándulas sudoríparas ecninas es un indicador establecido de la activación del sistema nervios simpático. Por lo tanto, medir los cambios en la conductancia de la piel, uno puede obtener información sobre el estado psicológico del sujeto.

Los sensores para medir se colocan en la palma de las manos, específicamente en la eminencia tenar e hipotenar, o en la punta de los dedos.

Para el registro de los datos EDA se utilizó un dispositivo Shimmer 3 GSR + grabando a 128 Hz. El análisis de los datos se realizó gracias al toolbox Ledalab (v.3.4.9), funcionando en Matlab (v.2016a). Este estudio facilita, entre otras métricas, la diferenciación de dos factores relacionados con la respuesta, siendo la fásica una respuesta ágil y esporádica, fuertemente ligada a la conducta ante un estímulo; y la tónica una respuesta más pausada vinculada al nivel basal.

## **B. Heart-Rate Variability (HRV)**

La variabilidad de frecuencia cardiaca (HRV) representa uno de los marcadores más prometedores para medir la actividad del sistema nervioso autónomo. (Masek, 2009)

La gran popularidad del estudio HRV está garantizada por ser un método no invasivo y facilidad de obtención, proporcionando una señal invaluable para un análisis profundo del comportamiento cardiaco. (Masek, 2009)

Aunque el corazón late de forma autónoma y espontánea gracias a la actividad auto-excitatoria del nódulo senoauricular, se encuentra mediado por la actividad cerebral. Así, el sistema simpático, actuando en dicho nódulo y en la secreción de adrenalina, es capaz de incrementar el ritmo cardiaco. Además, el sistema parasimpático, a través del nervio vago, es capaz de reducir la tasa de actividad cardiaca (Lopez-Tarruella Maldonado, 2017)

La variación del ritmo cardiaco a lo largo del tiempo (*heart rate variability* o HRV) ha demostrado en diversos estudios tener una relación con los sistemas simpático

y parasimpático y, a través de ellos, con la actividad cognitiva (Mann, Selby, Bates, & Contrada, 2015) y emocional (Rantanen, 2010)

Para el registro de los datos HRV se utilizó un dispositivo b-Alert X10 registrando en 256 Hz. El análisis de los datos se realizó gracias al toolbox HRVAS (v.2019-03-21), funcionando en Matlab (v.2016a).

Este estudio facilita, entre otras métricas, la clasificación espectral con el fin de diferenciar dos bandas de frecuencia (Berntson et al., 1997):

- Alta frecuencia o HF (0.15-0.4 Hz), relacionada con la actividad del sistema simpático (incremento de la excitación)
- Baja frecuencia o LF (0.04-0.15 Hz), relacionada con la actividad del sistema parasimpático (incremento de la relajación).

### C. Electroencefalograma (EEG)



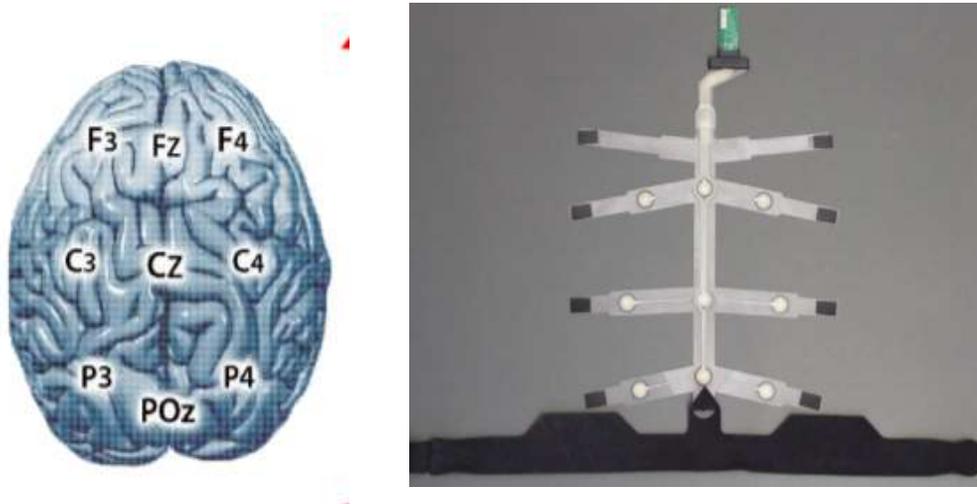
**Ilustración 15.** Dispositivo Shimmer 3 GSR+. Fuente: [www.imotions.com](http://www.imotions.com)

Es una técnica utilizada en la neurofisiología que permite tener un registro de la actividad eléctrica generada espontáneamente por las células de la corteza cerebral (Díaz Martínez, 2005).

El EEG permite registrar las variaciones en la actividad eléctrica de la superficie del cuero cabelludo mediante la colocación de electrodos (Niedermeyer & Lopes da Silva., 2005); es un estudio accesible, barato y no invasivo (Suástegui-Román, Espinosa-Montero, Pérez-Ramírez, Aveleyra-Ojeda, & Garza-Morales, 2007)

En este estudio se utilizó el dispositivo b-Alertx10 para realizar el registro de la actividad eléctrica. Con el fin de calcular la métrica de la banda Highbeta (21-30 Hz) del electrodo C3, que se relaciona con el estrés.

Los sensores de espuma que se adherían al "sensor trip", contenían espuma conductora, con el fin de captar un registro eficaz. La señal fue pre-procesada y analizada usando el toolbox EEGLAB (v14.0.0b) a través de Matlab (v.2016a). (Choi, Y., M., & Chum, 2015).



**Ilustración 16.** X10 Sensor Strip. Fuente: <https://www.biopac.com/>

### 4.2.3 Resultados Fase II

#### RESPUESTA PSICOLÓGICA, DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN FUNCIÓN DEL TONO.

##### A. ANÁLISIS DE LOS ACIERTOS DE LA PRUEBA DE MEMORIA.

En el siguiente apartado se analizan las diferencias significativas de los aciertos, de la prueba de memoria, en función del todo usado en los revestimientos de las paredes de las diferentes aulas.

Mediante la aplicación del método de Kolmogorov-Smirnov se identifica si las variables siguen una distribución normal o no. Si, el valor del último dato (nivel de significación) es " $<0.05$ " NO siguen una distribución normal, si es " $>0,05$ " siguen a una distribución normal.

Esta prueba, permite determinar que técnica debemos aplicar después.

**Tabla 7.** Test Kolmogorov - Smirnov Memoria. Fuente: i3B

One - Sample Kolmogorov - Smirnov Test		
		memoria_aciertos
N		246
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	0,74996164
	Std. Deviation	0,140679028
	Most Extreme Differences	
	Absolute	0,090
	Positive	0,090
	Negative	-0,067
Kolmogorov-Smirnov Z		1,412
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,037

a. Test distribution is Normal

b. Calculated from data

Como observamos en la Tabla 7, el nivel de significación es igual a 0,037 que es  $<0,05$  no sigue una distribución normal, razón por la cual se aplicara una técnica no paramétrica como la de Kruskal Wallis.

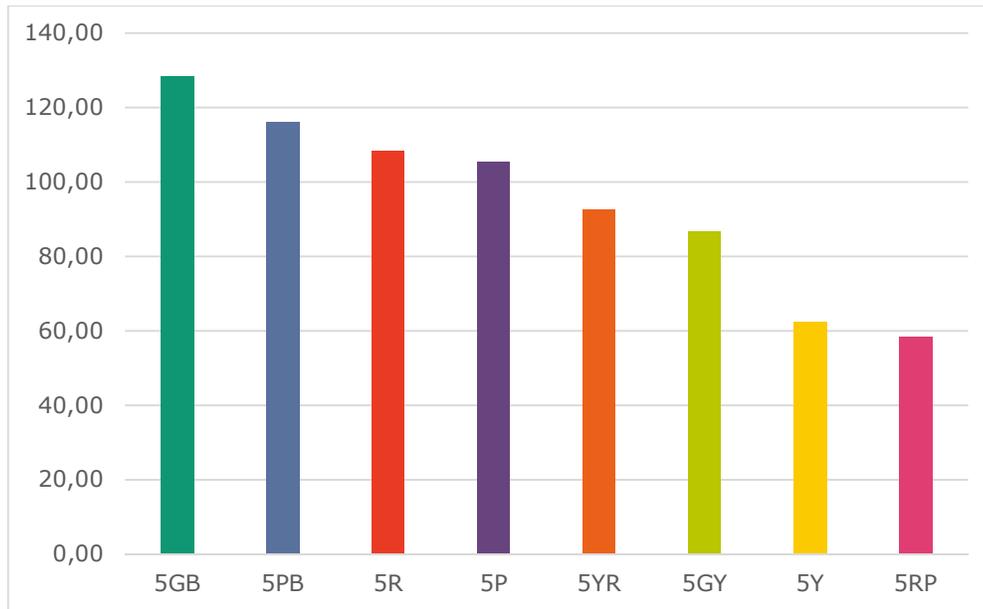
En este caso, se selecciona el conjunto de tonos empleados y se aplica la técnica de Kruskal Wallis. Esta técnica nos permite identificar si existen diferencias significativas, y de ser el caso conocer las medias (en rangos). Es decir, muestra los tonos en los que se presentan valores más elevados y bajos de aciertos.

**Tabla 8.** Test Kruskal Wallis Memoria. Fuente: i3B

<b>Kruskal - Wallis Test</b>			
<b>Ranks</b>			
	Color_TONO	N	Mean Rank
Memoria_aciertos	5GB	27	128,50
	5PB	24	116,00
	5P	21	105,50
	5RP	27	58,33
	5R	27	108,33
	5YR	18	92,50
	5Y	21	62,43
	5GY	24	86,75
	GRIS	3	167,00
<b>Total</b>		<b>192</b>	
<b>Test Statistics<sup>a,b</sup></b>			
			memoria_aciertos
Chi-Square			39,988
df			8,000
Asymp. Sig.			0,000

a. Kruskal Wallis Test  
 b. Grouping Variable: Color\_TONO

En este caso el test de Kruskal Wallis indica que existen diferencias significativas, ya que el valor de significación es inferior a 0.05 (ver Tabla 7), lo que nos indica que el tono que se emplee en el aula influye en los resultados de la prueba de memoria.



**Ilustración 17.** Número de aciertos por tono en la prueba de memoria. Fuente: i3B

En la ilustración 18, podemos observar los tonos en los que se tuvo mayores resultados. Kruskal Wallis es una técnica que analiza los saltos que hay en las medias de los rangos a través de las ordenaciones.

Como resultado, podemos observar que los mayores aciertos de la prueba de memoria fueron en el escenario con el tono 5GB, seguido del tono 5PB. Como punto medio de aciertos se produjeron en el escenario con el tono 5P y menores aciertos en el escenario con el tono 5RP.

De esta forma podemos decir que los escenarios en el que se usaron tonos próximos al azul como el 5GB o 5PB son más favorables para obtener aciertos en la prueba de memoria. Por otra parte, podemos ver que los tonos que se acercan al amarillo como el 5GY, 5Y y al rojo como el 5RP se obtiene bajos resultados de memoria.

### B. Análisis del tiempo de reacción de la prueba de atención

Aplicamos la prueba de Kolmogorov - Smirnov para identificar el valor de significación, como vemos en la Tabla 9, este es igual a 0,03 que es  $< 0,05$  no sigue una distribución normal, y aplicamos a continuación una técnica no paramétrica como la de Kruskal Wallis.

**Tabla 9.** Test Kolmogorov - Smirnov Atención. Fuente: i3B

One - Sample Kolmogorov - Smirnov Test		
		Atención_Tiempo_medio_Objeto
N		246
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	439,0558
	Std. Deviation	40,93752
Most Extreme Differences	Absolute	0,098
	Positive	0,084
	Negative	-0,098
Kolmogorov-Smirnov Z		1,447
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,03

a. Test distribution is Normal

b. Calculated from data

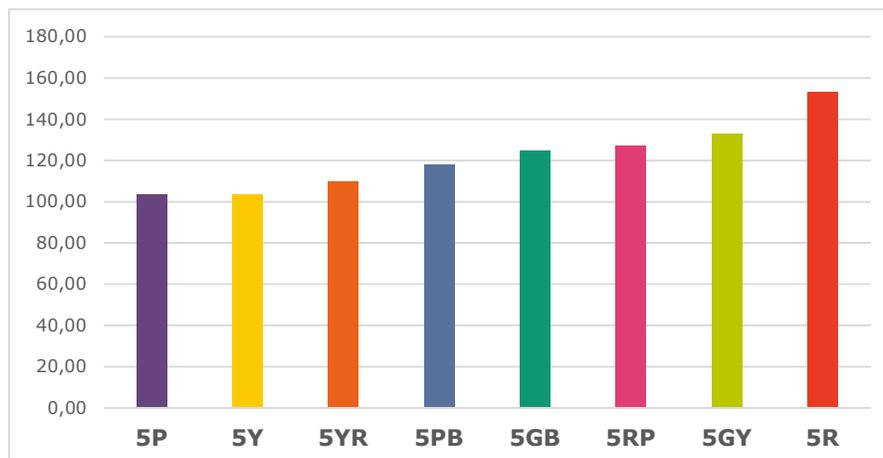
**Tabla 10.** Test Kruskal Wallis atención. Fuente: i3B

<b>Kruskal - Wallis Test</b>			
<b>Ranks</b>			
	Color_TONO	N	Mean Rank
Atención_aciertos medio_Obj	5GB	30	124,40
	5PB	30	118,10
	5P	30	103,40
	5RP	27	127,00
	5R	30	153,35
	5YR	27	109,67
	5Y	27	103,67
	5GY	27	132,93
	GRIS	9	50,00
	<b>Total</b>		<b>237</b>
<b>Test Statistics<sup>a,b</sup></b>			
			Atención_aciertos medio_Obj
Chi-Square			21,712
df			8
Asymp. Sig.			0,005

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Color\_TONO

En la Tabla 10 podemos observar el test de Kruskal-Wallis en cuanto a la reacción de los sujetos en función al tono del revestimiento de las paredes de las aulas escenificadas.

Al aplicar la técnica de Kruskal Wallis se obtiene como resultado un valor inferior al 0,05. Esto indica que existen diferencias en las pruebas de atención, en concreto en el tiempo de reacción que tardan los sujetos, ante los estímulos auditivos, en función al tono empleado.



**Ilustración 18.** Tiempo de reacción por tono en la prueba de atención. Fuente: i3B

En la ilustración 19, se observa que las aulas con los tonos 5P, 5Y y 5YR fueron en la que los sujetos reaccionaron de forma más rápida al estímulo de atención.

Por el contrario, los escenarios con los tonos 5R, 5GY o 5R fueron en los que más tardaron en reaccionar.

Es interesante observar que las aulas con los tonos que permiten obtener mayores aciertos en la prueba de memoria son diferentes a los que favorecen una mejor reacción en la prueba de atención.

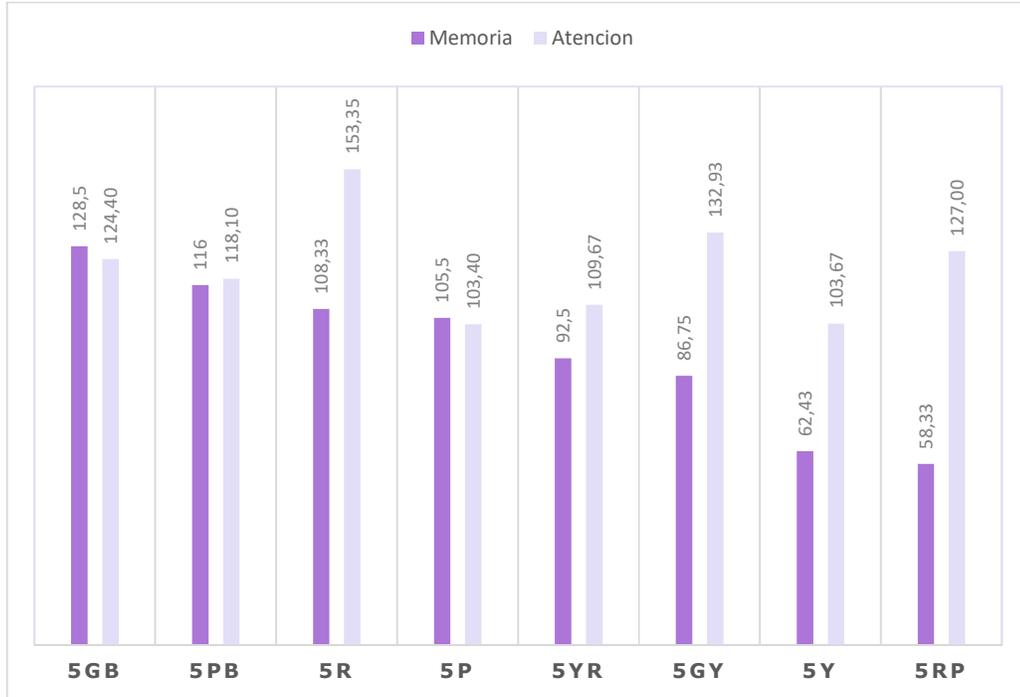
Por ejemplo, en la prueba de memoria el tono 5GB era el mejor, mientras que para la prueba de atención quedaba relegado a la posición número 5 de los 8 existentes. Lo mismo sucede con el tono 5Y en el que los sujetos reaccionaban favorablemente en la prueba de atención, mientras que en la prueba de memoria se ubicaba en el puesto 7 de 8.

Hay diferencias efectivamente, no son los mismos tonos los que conducen a mayores aciertos en la prueba de memoria y al mismo tiempo una mejor atención. Esto indica que se necesitan unos tonos para conseguir un resultado positivo en memoria y otros para atención.

Por lo que es importante conocer la función cognitiva que se quiere potenciar y el tono que lo consigue. Normalmente en las aulas se prefiere potenciar la atención.

Es necesario, identificar un tono medio que alcance un resultado positivo en memoria y atención. Es así, que realizando la comparativa de los resultados de las dos pruebas: memoria y atención, se puede ver que el tono medio para ambas es el 5P.

En la ilustración 20, una comparativa de los resultados de las dos pruebas: memoria y atención.



**Ilustración 19.** Comparativa de tonos, entre prueba de memoria vs atención. Fuente: i3B

### Respuesta Fisiológica.

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos con EEG, aunque en el estudio general se analizaron otras variables fisiológicas como el EDA y HRV.

Se presentará los resultados obtenidos en la banda Beta, que mide el arousal, actividad mental o nivel de excitación del sujeto. El objetivo es comprobar qué tonos generan mayor activación neurofisiológica y si estos resultados tienen vinculación con los resultados obtenidos en las pruebas psicológicas de memoria y atención. El hecho que exista una vinculación es importante porque nos estaría indicando que a partir de la colocación de un sensor en una zona concreta de la cabeza podemos conocer su nivel de atención. Estas pruebas son rápidas, poco invasivas y en tiempo real, lo que permitiría tener valorar una gran cantidad de escenarios en poco tiempo.

En primer lugar se aplica el método de Kolmogorov-Smirnof para identificar si las variables siguen una distribución normal o no. Si siguen una distribución normal ( $>0.05$ ) se aplicará una técnica que permite el análisis de distribución normal como es ANOVA. De no ser este el caso ( $<0.05$ ), y las variables no sigan una distribución

normal se aplicará un test no paramétrico. En la Tabla 9 podemos ver los niveles de significación de los diferentes sensores de la banda Beta, lo que nos permite realizar la clasificación de la Tabla 11.

**Tabla 11.** Test Kolmogorov Smirnov. Fuente: i3B

**One - Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

	EEG_Poz_Beta nor	EEG_Poz_BetaRL nor	EEG_P3_Beta nor	EEG_P3_BetaRL nor	EEG_P4_Beta nor	EEG_P4_BetaRL nor	EEG_Fz_Beta nor	EEG_Fz_BetaRL nor	EEG_Cz_Beta nor	EEG_Cz_BetaRL nor	EEG_C3_Beta nor	EEG_C3_BetaRL nor	EEG_C4_Beta nor	EEG_C4_BetaRL nor	EEG_F3_Beta nor	EEG_F3_BetaRL nor	EEG_F4_Beta nor	EEG_F4_BetaRL nor	
N	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	
Normal Parameters <sup>a, b</sup>	Mean	0,4072	0,2059	0,4348	0,2300	0,1934	0,2940	0,4948	0,2112	0,4493	0,1991	0,3667	0,1884	0,3798	0,2226	0,4159	0,2168	0,4350	0,2145
	Std. Deviation	0,37455	0,14560	0,57350	0,23195	0,15729	0,28052	0,85483	0,17227	0,60476	0,15694	0,36649	0,13398	0,416	0,19593	0,38693	0,14196	0,5934	0,17701
Most Extreme Differences	Absolute	0,181	0,108	0,243	0,164	0,131	0,196	0,291	0,167	0,233	0,167	0,194	0,123	0,181	0,161	0,150	0,094	0,256	0,17
	Positive	0,181	0,108	0,243	0,142	0,131	0,196	0,291	0,167	0,215	0,167	0,194	0,123	0,168	0,161	0,141	0,094	0,256	0,17
	Negative	-0,151	-0,92	-0,225	-0,164	-0,110	-0,173	-0,290	-0,138	-0,233	-0,119	-0,174	-1,101	-1,810	-0,134	-0,150	-0,75	-0,235	-1,117
Kolmogorov-Smirnof	2,256	1,353	3,0300	2,044	1,640	2,445	3,633	2,086	2,913	2,082	2,423	1,540	2,260	2,012	1,871	1,179	3,195	2,118	
Asymp. Sig. (2talled)	0,000	0,052	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,001	0,002	0,124	0,000	0,000	

a. Test distribution is Normal

b. Calculated from data.

**Tabla 12.** Identificación de la distribución normal de las variables. Fuente: i3B

Siguen una distribución normal	NO siguen una distribución normal
EEG_Poz_BetaRL nor	EEG_Poz_Beta nor
EEG_F3_BetaRL nor	EEG_P3_Beta nor
	EEG_P3_BetaRL nor
	EEG_P4_Beta nor
	EEG_P4_BetaRL nor
	EEG_Fz_Beta nor
	EEG_Fz_BetaRL nor
	EEG_Cz_Beta nor
	EEG_Cz_BetaRL nor
	EEG_C3_Beta nor
	EEG_C3_BetaRL nor
	EEG_C4_Beta nor
	EEG_C4_BetaRL nor
	EEG_F3_Beta nor
	EEG_F4_Beta nor
	EEG_F4_BetaRL nor

**A. Variables que siguen una distribución normal.**

Identificadas las variables que siguen una distribución normal, se procede aplicar la técnica de ANOVA.

El ANOVA es un análisis de medias que recoge las medias de los tonos empleados y muestra si existe un cambio significativo de una media a otra ( $<0.05$ ), lo que nos diría qué se están produciendo variaciones significativas en el sensor concreto de BETA, en función del tono que se está utilizando en el aula.

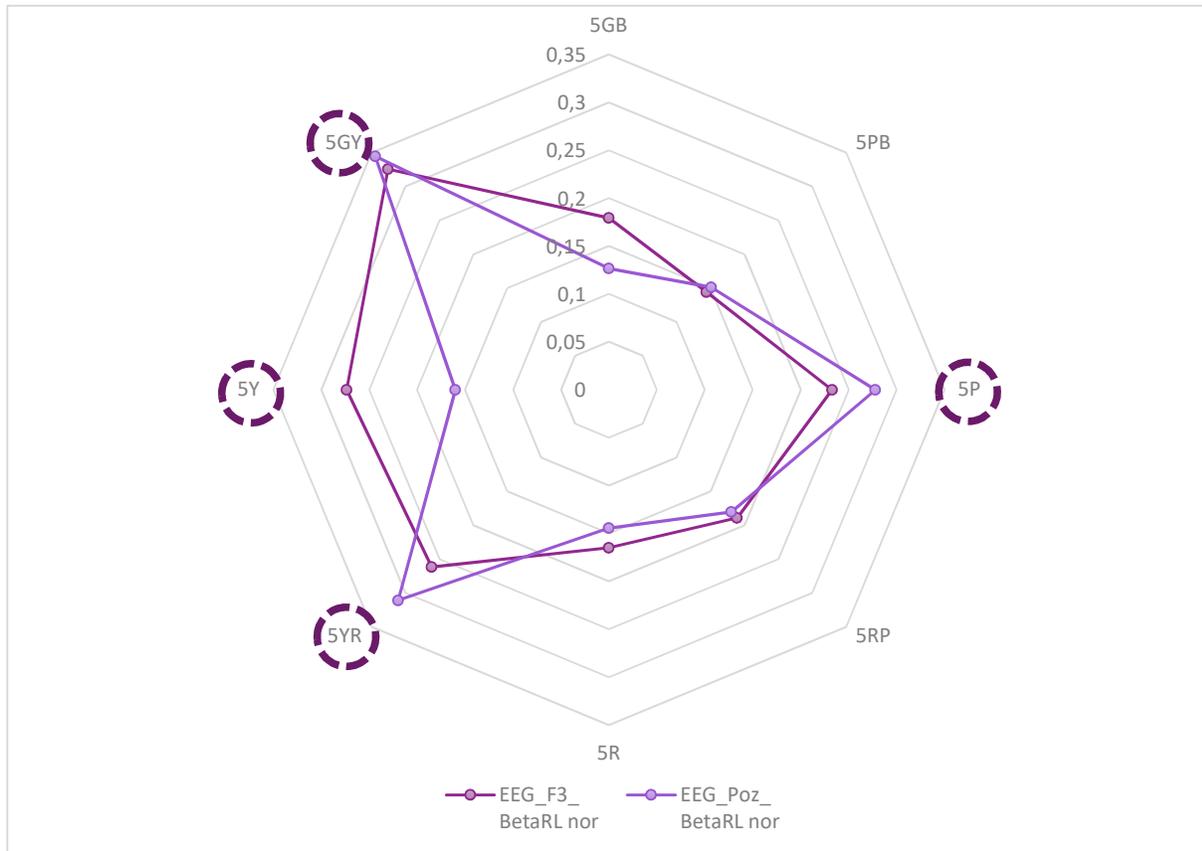
**Tabla 13.** Resultado test Anova, variables que siguen una distribución normal. Fuente: i3B

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
EEG_F3_ BetaRL nor	Between Groups	0,542	7	0,077	2,947	0,006
	Within Groups	3,965	151	0,026		
	Total	4,506	158			
EEG_Poz_ BetaRL nor	Between Groups	1,002	7	0,143	5,589	0,000
	Within Groups	3,869	151	0,026		
	Total	4,871	158			

DESCRIPTIVES									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
EEG_F3_ BetaRL nor	5GB	24	0,1793	0,18654	0,03808	0,1005	0,2581	0,02	0,6
	5PB	24	0,1441	0,11510	0,02348	0,0955	0,1927	0,1	0,37
	5P	21	0,2328	0,11572	0,02525	0,1801	0,2854	0,11	0,43
	5RP	15	0,1892	0,11778	0,03041	0,124	0,2545	0,06	0,36
	5R	21	0,1648	0,12215	0,02665	0,1092	0,2204	0,01	0,37
	5YR	18	0,2615	0,18759	0,04422	0,1682	0,3548	0,07	0,62
	5Y	18	0,2735	0,19534	0,04604	0,1764	0,3706	0,08	0,58
	5GY	18	0,3258	0,22391	0,05278	0,2144	0,4371	0,09	0,74
	Total	159	0,2166	0,16888	0,01399	0,1902	0,2431	0,01	0,74
	EEG_Poz_ BetaRL nor	5GB	24	0,1267	0,11632	0,02374	0,0776	0,1758	0,00
5PB		24	0,1512	0,10968	0,02239	0,1049	0,1976	0,01	0,34
5P		21	0,278	0,13061	0,02850	0,2185	0,3375	0,05	0,45
5RP		15	0,1805	0,11945	0,03084	0,1143	0,2466	0,03	0,36
5R		21	0,1442	0,06045	0,01319	0,1167	0,1717	0,04	0,23
5YR		18	0,3108	0,33354	0,07862	0,1449	0,4766	0,05	0,95
5Y		18	0,1602	0,11132	0,02624	0,1049	0,2156	0,00	0,33
5GY		18	0,3445	0,18230	0,04297	0,2539	0,4352	0,10	0,68
Total		159	0,2071	0,17558	0,01392	0,1796	0,2346	0,00	0,95

Como vemos hay variaciones tanto en EEG\_Poz\_BetaRL nor y EEG\_F3\_BetaRL nor. Las diferencias son significativas, hay actividad cerebral cambiante en función al tono que hay en el aula.

La Ilustración 21 muestra los tonos donde se detectó una mayor actividad cerebral. Los tonos mejores puntuados son: 5GY, 5P, 5YR y 5Y.



**Ilustración 20.** Resultado técnica ANOVA. Tonos en los que existe mayor actividad cerebral. Fuente: i3B

En general casi todas las señales de BETA en las existen diferencias significativas tienen valores más altos, en aquellos tonos que obtuvieron un mejor tiempo de reacción. Esto nos muestra que hay una vinculación entre la mayor actividad cerebral y la atención.

## B. Variables que no siguen una distribución normal.

Para las variables que no siguen una distribución normal se aplica una técnica no paramétrica. En este caso utilizaremos la técnica de Kruskal-Wallis que toma las medias de los rangos. La Tabla 14 muestra los niveles de significación para cada sensor.

**Tabla 14.** Test Kruskal Wallis, para variables que no siguen una distribución normal. Fuente: i3B

	Test Stadostics <sup>a,b</sup>															
	EEG_Poz_Beta nor	EEG_Fz_Beta nor	EEG_Fz_RL nor	EEG_Cz_Beta nor	EEG_Cz_RL nor	EEG_C3_Beta nor	EEG_C3_RL nor	EEG_C4_Beta nor	EEG_C4_RL nor	EEG_F3_Beta nor	EEG_F4_Beta nor	EEG_F4_RL nor	EEG_P3_Beta nor	EEG_P3_RL nor	EEG_P4_Beta nor	EEG_P4_RL nor
Chi-Square	29,08	25,413	13,016	52,723	20,58	31,309	37,895	12,595	10,617	17,029	33,111	21,949	23,03	10,587	26,405	25,054
df	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Asymp.Sig	0	0,001	0,072	0	0,004	0	0	0,083	0,156	0,017	0	0,003	0,002	0,158	0	0,001

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable Color\_Tono

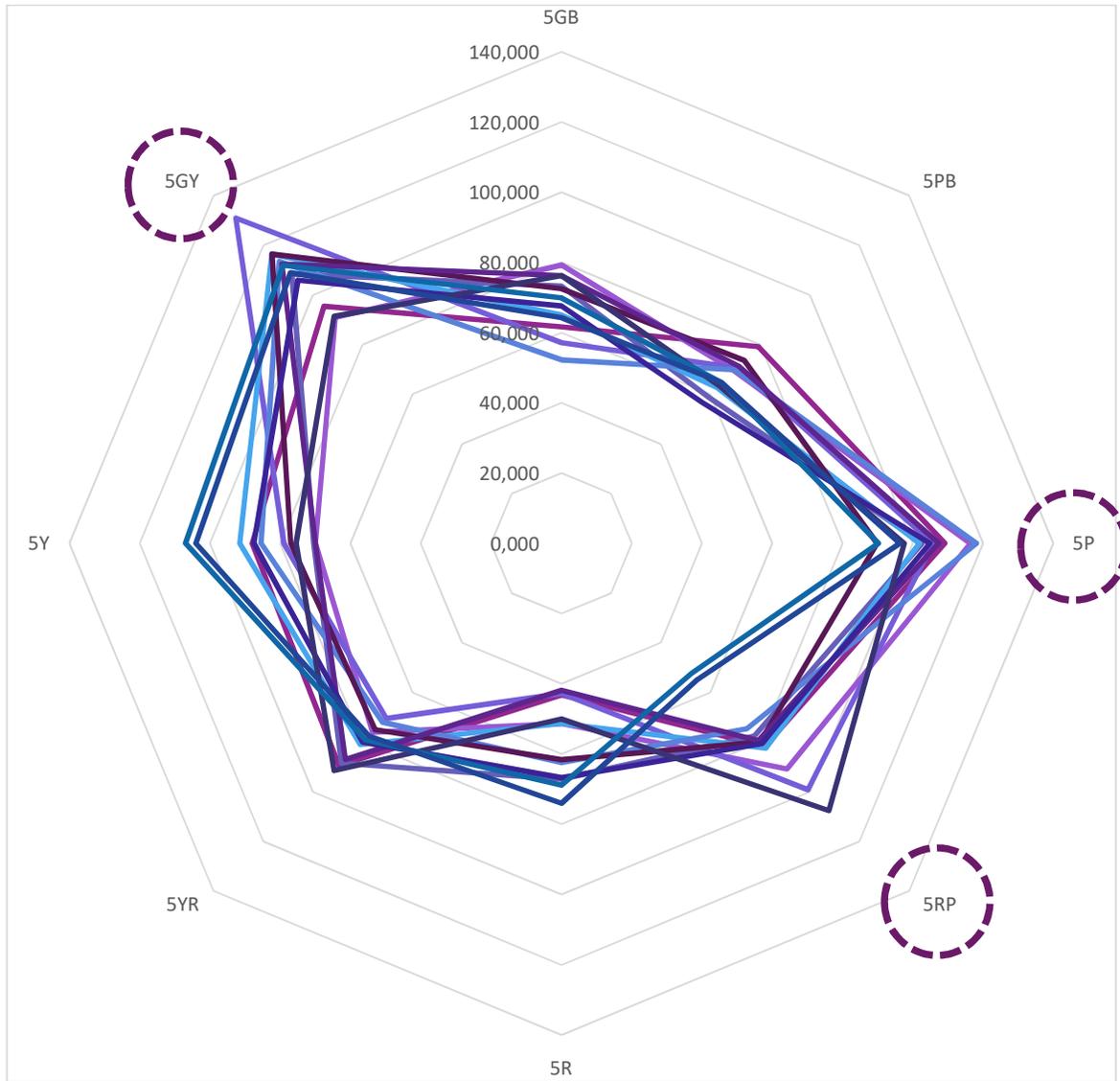
Como podemos observar los tonos del aula pueden producir cambios significativos en la actividad cerebral ya que la mayoría de los sensores presentan niveles significativos.

**Tabla 15.** Test Kruskal Wallis, rangos de medias del tono en variables que no siguen una distribución normal. Fuente: i3B

Color_TONO	N	Mean Rank												
		EEG_POz_Beta_nor	EEG_Fz_Beta_nor	EEG_Cz_Beta_nor	EEG_Cz_BetaR_L_nor	EEG_C3_Beta_nor	EEG_C3_BetaR_L_nor	EEG_F3_BetaR_L_nor	EEG_F4_Beta_nor	EEG_F4_BetaR_L_nor	EEG_P3_Beta_nor	EEG_P4_Beta_nor	EEG_P4_BetaR_L_nor	
5GB	24	61,63	79,25	57,13	73,25	65,00	52,25	72,50	76,25	67,63	76,26	69,88	64,25	
5PB	24	79,25	69,50	70,63	59,00	62,75	69,88	73,63	71,38	56,75	63,50	64,63	64,63	
5P	21	109,14	116,43	105,71	102,71	101,86	118,14	89,86	107,43	104,88	97,57	90,24	96,29	
5RP	15	81,80	90,80	99,20	77,60	82,40	74,60	80,00	79,40	80,60	107,60	52,40	54,80	
5R	21	43,14	51,29	42,71	67,14	51,29	62,43	61,57	41,86	66,71	50,00	68,86	74,00	
5YR	18	89,50	76,00	70,50	88,50	81,00	72,00	75,00	87,00	80,00	91,50	79,00	77,50	
5Y	18	88,00	70,00	79,00	70,50	91,50	85,50	77,00	70,00	87,50	75,50	107,00	104,00	
5GY	18	95,50	91,00	131,00	108,50	116,50	113,50	116,50	112,50	106,00	91,50	112,00	109,00	
Total	159													

En la Ilustración 21 podemos observar que los valores más altos en donde se ve una mayor actividad cerebral corresponden en general con aquellos valores del tono 5GY, 5P y 5RP que son los valores que tiene mejor puntuación en la prueba de atención.

En general existe una relación entre los tonos que generan una mayor atención y los tonos que generan una mayor actividad cerebral, lo que indica que existe una vinculación entre la actividad cerebral y la medición de la atención. Lo que no sucede con la memoria, ya que no predice su comportamiento.



**Ilustración 21.** Medias de los valores por tono obtenidos en la prueba de Kruskal Wallis.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo general de este Trabajo Final de Máster es analizar la respuesta de un individuo (a partir de las funciones cognitivas de atención y memoria) ante la modificación de color en un espacio docente.

Este estudio analiza el efecto del cromatismo en las paredes de un aula, sobre los procesos cognitivos de sus usuarios. Los resultados muestran que la modificación de color en las paredes de un aula puede generar cambios significativos en la atención o memoria de los estudiantes.

Tras analizar los resultados obtenidos a través de las pruebas validadas hemos obtenido una serie de conclusiones que se exponen a continuación:

### **A nivel de resultados:**

Las aulas que tenían como base el tono azul obtuvieron mejores resultados en las pruebas de memoria. Por ejemplo, en los escenarios donde se utilizó los tonos 5GB o 5PB. También se pudo observar que, las aulas donde se usaban tonos próximos al amarillo o rojo como el 5GY, 5Y o 5RP, fueron en los que peores resultados se obtuvieron en la tarea de memoria.

En la prueba de atención se determinó que los escenarios con los tonos 5P, 5Y y 5YR fueron en la que los sujetos reaccionaron de forma más rápida al estímulo. Por el contrario, los escenarios con los tonos 5R, 5GY o 5R fueron en los que más tardaron en reaccionar.

Los tonos que dan mejores resultados en la prueba de memoria y atención son diferentes. Por lo que es necesario, identificar un tono medio que alcance un resultado positivo en memoria y atención. Es así, que realizando la comparativa de los resultados de las dos pruebas: memoria y atención, se puede ver que el tono medio para ambas es el 5P.

Las pruebas fisiológicas muestran que existe una mayor activación cerebral en las pruebas de atención, al existir una mayor vinculación entre la actividad cerebral y la medición de la atención.

En general, se observa que hay cambios significativos de la actividad fisiológica cerebral cuando se varían los tonos; esta actividad incrementaba potencialmente

cuando se mostraba los tonos que producían una mayor atención del sujeto, por tanto, la banda Beta puede ser un buen indicador de los niveles de atención.

### **A nivel metodológico:**

La utilización de la realidad virtual en este tipo de investigación genera la posibilidad de analizar el elemento de diseño de manera controlada, es decir, eliminando el efecto que generan el resto de las variables del espacio. Esto es un avance a los tradicionales trabajos de percepción en los que se utilizaban fotografías o espacios reales.

Por otra parte, este estudio analiza la respuesta fisiológica y no sólo que se centra en la psicológica, lo que permite analizar la respuesta del sujeto de una manera completa. Además, el hecho de que se haya observado relación entre la banda Beta de EEG y los resultados de la prueba de atención es una primera aproximación hacia la automatización de este tipo de pruebas.

Finalmente, destacar que este trabajo, como se comentó previamente, forma parte de un proyecto de investigación con un objetivo más amplio, en donde se incluyen variables de iluminación y forma del espacio docente. La contribución de este trabajo a dicho proyecto es la de ofrecer resultados de partida, de forma que con estos primeros resultados permita profundizar con mayor grado de detalle en aquellos elementos de color que inciden y modifican el estado del alumno.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Babin, Hardesty, & Suter. (2003). *Color and shopping intentions: The intervening effect of price fairness and perceived affect*. *Journal of Business Research*, 56(7), 541-551.
- Acking, C., & Kuller, R. (1976). *Factors in the perception of human environment: Semantic ratings of interiors from colour slides*, Lund Institute of Technology, Department of Theoretical and Applied Aesthetics. Sweden.
- Alonso, M., Fernández, Á., Díez, E., & Beato, M. (2004). *Índices de producción de falso recuerdo y falso reconocimiento para 55 listas de palabras en castellano*. *Psicothema*, 16(3), 357-362.
- Arbib M, Mallgrave H, & Pallasmaa J. (2013). *Architecture and Neuroscience*. *Finlandia: Tapio Wirkkala Rut Bryk Foundation*.
- Asiyai, R. (2014). *Students' perception of the condition of their classroom physical learning environment and its impact on their learning and motivation*. *College Student Journal*, 48(4), 716-726.
- Barret , P., Davie, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). *The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis*.
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2017). *The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects*.
- Bateson, J., & Hui, M. (1992). *"The Ecological Validity of Photographic Slides and Videotapes in Simulating the Service Setting."*. in *Journal of Consumer Research*, vol.19 issue2, p.p. 271-281.
- Bellizzi, J., CrowleY, A., & Hasty, R. (1983). *effects of color in store design*. *Journal of Retailing*, 59(1), 5-8.
- Berman, M., Jonides, J., & Kaplan, S. (2008). *The Cognitive Benefits of Interacting With Nature*. *Psychological Science*, 19 (12 ), 1207-1212. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x>.
- Bingler, S. (1995). *Place as a form of knowledge*. En A. Meek (ed.), *Designing places for learning (pp 23-30)*. Alexandria: Alexandria, Virginia: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Bingler, S. (1995). *Place as a form of knowledge*. En A. Meek (ed.), *Designing places for learning (pp. 23-30)*.
- Bingler, S. (1995). *Place as a form of knowledge*. En A. Meek (ed.), *Designing places for learning (pp.23-30)*. Alexandria: Alexandria, Virginia: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Boucsein, W. (2012). *"Principles of Electrodermal Phenomena"*. En *Electrodermal Activity*. Boston, MA:Springe US, p.p. 1-86.
- Boyatzis, C., & Varghese, R. (1993). *Children's emotional associates with colors*. *The Journal of Genetic Psychology*. 77-85.
- Clabaugh, S. (2004). *Manual de diseño de aulas*. Maryland, Estados Unidos: Universidad de Maryland.
- Daggett, W., Cobble, J., & Gertel, S. (2008). *El color en un óptimo ambiente de aprendizaje*. *Internacional Center for Leadership in Education*.

- Díaz Martínez, C. (2005). Valor del electroencefalograma. *Mex Neuroc*, 338-339.
- Eberhard, J. P. (2009). *Applying Neuroscience to Architecture*. *Neuron*, 62 (6), 753-756. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2009.06.001>.
- Fuchs, H., & Bishop et al. (1992). *Research Directions in Virtual Environments*. NFS Invitational Workshop, University of North Carolina.
- Gelineau, E. (1981). A psychometric approach to the measurement of color preference" in *Perceptual and Motor Skills*, vol 3 issue1, p 163-174.
- Goldman, A. (1976). "Discrimination and Perceptual Knowledge". In *The Journal of Philosophy*, vol.73, No. 20. p.771-791.
- Gómez, Patiño, & Bandrés. (2014). *El neuromarketing: una nueva disciplina para la investigación de audiencias y de la opinión*.
- Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P., & McCaughey, C. (2005). *The impact of school environments: A literature review*. The Centre for Learning and Teaching, School of Education, Communication and Language Science, University of Newcastle.
- Higuera-Trujillo, J., Llinares Milán, C., Montañana i Aviño, A., & Rojas, J. (2019). *Multisensory stress reduction: a neuro-architecture study of paediatric waiting rooms*. *Building Research & Information*, 1-17.
- Higuera-Trujillo, J., López-Tralluela, J., Llinares Milán, C., & Iñarra Abad, S. (2017). *EL ESPACIO DIGITAL: COMPARATIVA DE LAS ÚLTIMAS TÉCNICAS DE VISUALIZACIÓN ARQUITECTÓNICA*.
- Jalil, N., Yunus, R., & Said, N. (2012). *Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review" in Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol 35 p 54-62.
- Kreibig, S. (2010). "Autonomic Nervous System Activity in emotion: A review". in *Biological psychology*, vol.84 issue3, p.394-421.
- Kuliga, S., Thrash,, T., Dalton, R., & Hölscher. (2015). "Virtual reality as an empirical research tool - Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model". in *Computers, Environment and Urban Systems*, vol.54, p.p.363-375.
- Kuller, R. (1975). "Semantisk milobeskriving (SMB)". in *Semantic Descriptions of Environments"*.
- Kuller, R., Mikellides, B., & Janssens , J. (2009). *Color, arousal, and PerformanceA comparison of three experiments*.
- López, C. (2011). *El papel del color en los espacios inmateriales: Caso en una interfaz histórica. Razón y palabra* (75).
- Lopez-Tarruella Maldonado, J. (2017). *Diseño arquitectónico centrado en el usuario mediante neurotecnología inmersas*, pag 173 - 191.
- Malliani, A. (1999). *The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain*. *Physiology*, 14(3), 111-117.
- Mann, S., Selby, E., Bates, M., & Contrada, R. (2015). "Integrating affective and cognitive correlates of heart rate variability: A structural equation modeling approach". in *International Journal of Psychophysiology*, vol.98 issue1, p.76-86.
- Masek, O. (2009). "Heart Rate Variability Analysis". *Diploma Thesis*,.
- Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. (2005). *Electroencephalography: Basic Principles, clinal Applications, and Related Fields*.

- Nuhfer, E. (2007). *Some aspects of an ideal classroom: Color*,.
- Nurlelawati , A., Rodzyah, M., & Yunusb, N. (2012). *Students' Colour Perception and Preference: An Empirical Analysis of Its Relationship*. Pg 575 - 582.
- Ocvirk, G., Stinson, E., Wigg, R., & Bone. (2009). *fundimental: theory and practice*. New York: McGraw-Hill.
- Osgood, C. (1952). *The nature and measurement of meaning*". in *Psychological Bulletin*, vol.49 issue3, p.227.
- Pally, R., Old, D., & Solms, M. (2001). *The Mind-Brain Relationship*. London: Karnac Books.
- Rantanen, A. L. (2010). *"Heart Rate Variability (HRV) reflecting from oral reports of negative experience"*. in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.5, p.483-487.
- Rosenfield, K. (2012). *Minding Design: Neuroscience, Design Education and the Imagination*. *ArchDaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.com/238533/minding-design-neuroscience-design-education-and-the-imagination>
- Russell, J., & Mehrabian, A. (1977). *"Evidence for a three-factor theory of emotions"*. In *Journal of Research in Personality*, vol.11 issue3, p.273-294.
- Sanchís, I. (2016). Neuroarquitectura: la ciencia que busca entender cómo el espacio afecta a la mente Clarin ARQ.
- Seidman, L., Breiter, H., & Goodman, J. (1998). *Neuropsychology*, Vol 12(4), Oct 1998, 505-518.
- Sheppard, S. (1989). *Visual simulation: a user guide for architects, engineers and planners V*. N. Reinhold, ed New York, USA.
- Stamps, A. (1990). *"Use of photographs to simulate environments: A meta-analysis"*. In *Perceptual and Motor Skills*, vol.71 issue3, p.p. 907-913.
- Sternberg, E., & Wilson, M. (2006). *Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground*. *Cell*, 127 (2), 239-242. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2006.10.012>.
- Steuer, J. (1992). *Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence*. *Journal of Communication*, 42(4), pp.73-93.
- Suástegui-Román, R., Espinosa-Montero, R., Pérez-Ramírez, M., Aveleyra-Ojeda, E., & Garza-Morales, S. (2007). Utilidad y costo del electroencefalograma. Experiencia de 1 000 casos en un hospital de tercer nivel en México. *Bol Med Hosp Infant Mex*, 171-181.
- Taboada, J. (2011). *"Sobre perspectiva, fotografía e infografía apuntes para una fenomenología de la representación"*.in *EGA Revista de Expression Grafica Arquitectonica*, vol.17 issue1, p.p.53-64.
- Tanner, C. (2014). *The Interface Among Educational Outcomes and School Environment*. *Natural Science*, 4 (1),4.
- Tanner, K. (2014). *The Interface Among Educational Outcomes and School Environment*. *Natural Science*.
- Thompson, S. (2003). *Color in education*. from [www2.peterli.com/spm/resources/articles/](http://www2.peterli.com/spm/resources/articles/).
- Tlapalamatl Toscuento, E. (2019). La arquitectura producto del cerebro. *Universitat Internacional de Catalunya; investigador, línea de investigación Neuro-arquitectura*.
- Valdez, P., & Mehrabian. (1994). *"Effects of color on emotions."* in *Journal of experimental pfycology. General*, vol 123, issue 4.p 394-409.

Wise, B., & Wise, J. (1998). *The human factors of color in environmental design: a critical review*.

Zhu, R., & Meyers-Levy, J. (2009). *The influence of self-view on context effects: How display fixtures can affect product evaluations*. *Journal of Marketing Research*, 46 (1), 37-45.

## 7. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Munsell Hue. Fuente: <a href="https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-hue/">https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-hue/</a> .....	15
<b>Ilustración 2.</b> Munsell Value. Fuente: <a href="https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-value/">https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-value/</a> .....	15
<b>Ilustración 3.</b> Munsell Chroma. Fuente: <a href="https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-chroma/">https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-chroma/</a> .....	16
<b>Ilustración 4.</b> Circulo Cromático NCS (derecha) y Triangulo NCS (izquierda). Fuente: <a href="https://ncscolour.com/ncs/">https://ncscolour.com/ncs/</a> .....	16
<b>Ilustración 5.</b> Notación NCS. Fuente: <a href="https://ncscolour.com/ncs/">https://ncscolour.com/ncs/</a> .....	17
<b>Ilustración 6.</b> Colores Neutros NCS. Fuente: <a href="https://ncscolour.com/ncs/">https://ncscolour.com/ncs/</a> .....	18
<b>Ilustración 7.</b> Modelo de Küller, donde se compara la interacción de un individuo al encontrarse en una habitación colorida frente a una en escala de grises, 2008. Fuente: Color, Arousal, and Performance. A Comparison of Three Experiments, Oxford Brookes .....	23
<b>Ilustración 8.</b> Ejemplo de valoración mediante las dimensiones emocionales de Küller y Mehrabian-Russell. Fuente: Higuera-Trujillo et al., 2017. ....	24
<b>Ilustración 9.</b> Paleta de colores seleccionada para las aulas. Fuente: <a href="http://pteromys.melonisland.net/munsell/?#">http://pteromys.melonisland.net/munsell/?#</a> . Elaboración Propia.....	29
<b>Ilustración 10.</b> Paleta de colores utiliza, equivalencia entre Munsell y NCS. Elaboración propia. Fuente: <a href="https://www.idecolor.com/academy/conversor-de-color-ncs/">https://www.idecolor.com/academy/conversor-de-color-ncs/</a> .....	30
<b>Ilustración 11.</b> Aula base, panorámica 360°. Fuente: i3B.....	32
<b>Ilustración 12.</b> Participante del estudio. Fuente: i3B .....	43
<b>Ilustración 13.</b> Dispositivo HTC Vive. Fuente: <a href="http://www.vive.com">www.vive.com</a> .....	43
<b>Ilustración 14.</b> Dispositivo Shimmer 3 GSR+. Fuente: <a href="http://www.imotions.com">www.imotions.com</a> .....	47
<b>Ilustración 15.</b> Dispositivo Shimmer 3 GSR+. Fuente: <a href="http://www.imotions.com">www.imotions.com</a> .....	49
<b>Ilustración 16.</b> X10 Sensor Strip. Fuente: <a href="https://www.biopac.com/">https://www.biopac.com/</a> .....	50
<b>Ilustración 17.</b> Número de aciertos por tono en la prueba de memoria. Fuente: i3B.....	52
<b>Ilustración 18.</b> Tiempo de reacción por tono en la prueba de atención. Fuente: i3B.....	54
<b>Ilustración 19.</b> Comparativa de tonos, entre prueba de memoria vs atención. Fuente: i3B.....	56
<b>Ilustración 20.</b> Resultado técnica ANOVA. Tonos en los que existe mayor actividad cerebral. Fuente: i3B.....	59
<b>Ilustración 21.</b> Medias de los valores por tono obtenidos en la prueba de Kruskal Wallis..	61

## 8. ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de combinaciones de los parámetros de color. Fuente: i3B.....	31
<b>Tabla 2.</b> Escenarios aula ETSIE. Fuente i3B.....	33
<b>Tabla 3.</b> Estructura General del Protocolo de Investigación. Fuente: i3B.....	41
<b>Tabla 4.</b> Cuestionario de Presencia. Fuente: i3B.....	44
<b>Tabla 5.</b> Cuestionario de Autoevaluación. Fuente: i3B.....	45
<b>Tabla 6.</b> Cuestionario de valoración del ambiente. Fuente: I3B.....	45
<b>Tabla 7.</b> Test Kolmogorov - Smirnov Memoria. Fuente: i3B.....	51
<b>Tabla 8.</b> Test Kruskal Wallis Memoria. Fuente: i3B.....	52
<b>Tabla 9.</b> Test Kolmogorov - Smirnov Atención. Fuente: i3B.....	53
<b>Tabla 10.</b> Test Kruskal Wallis atención. Fuente: i3B.....	54
<b>Tabla 11.</b> Test Kolmogorov Smirnov. Fuente: i3B.....	57
<b>Tabla 12.</b> Identificación de la distribución normal de las variables. Fuente: i3B.....	57
<b>Tabla 13.</b> Resultado test Anova, variables que siguen una distribución normal. Fuente: i3B.....	58
<b>Tabla 14.</b> Test Kruskal Wallis, para variables que no siguen una distribución normal. Fuente: i3B.....	60
<b>Tabla 15.</b> Test Kruskal Wallis, rangos de medias del tono en variables que no siguen una distribución normal. Fuente: i3B.....	60