

# LA INFLUENCIA DEL COLOR EN EL AULA:

Un estudio exploratorio  
sobre el cromatismo en los  
procesos cognitivos.

**Trabajo Final de Grado** Curso 2018/19

## **Titulación**

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

## **Alumno**

Francisco Olcina Girona

## **Tutores**

Juan de Ribera Serra LLuch

Juan Luis Higuera Trujillo



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA



**LENI**

# LA INFLUENCIA DEL COLOR EN EL AULA

Un estudio exploratorio sobre el  
cromatismo en los procesos cognitivos

## **Trabajo final de grado**

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

## **Tutores**

Juan de Ribera Serra LLuch

Juan Luis Higuera Trujillo

## **Alumno**

Francisco Olcina Girona

## RESUMEN

El objeto del presente trabajo reside en el estudio de la influencia del cromatismo de las paredes de un aula en los procesos cognitivos de sus usuarios, a través de la neuroarquitectura. Este forma parte de la antesala para el estudio "El diseño del aula para potenciar los procesos cognitivos del alumnado: una propuesta metodológica para evaluar las variables luz, color y forma".

Este estudio se lleva a cabo con pruebas a un determinado número de sujetos, en las que se visualizan versiones de dos aulas reales reproducidas mediante la tecnología de realidad virtual. Las variaciones entre ellas consistirán en la introducción de color en las paredes de las aulas.

Mediante cuestionarios y pruebas fisiológicas, de control de la actividad electrodérmica y las variaciones del ritmo cardiaco, se extraerán todos los datos necesarios para poder comparar las distintas versiones.

Entre las conclusiones del estudio se señalan algunas variaciones interesantes para un ambiente docente; acercándonos de forma introductoria a las soluciones óptimas.

PALABRAS CLAVE: color, aula, realidad virtual

## RESUM

"L'objecte del present treball residix en l'estudi de la influència del cromatisme de les parets d'una aula en els processos cognitius dels seus usuaris, a través de la neuroarquitectura. Este forma part de l'antesala per a l'estudi "El disseny de l'aula per a potenciar els processos cognitius de l'alumnat: una proposta metodològica per a avaluar les variables llum, color i forma".

Este estudi es du a terme amb proves a un determinat nombre de subjectes, en les que es visualitzen versions de dos aules reals reproduïdes per mitjà de la tecnologia de realitat virtual. Les variacions entre elles consistiran en la introducció de color en les parets de les aules.

Per mitjà de qüestionaris i proves fisiològiques, de control de l'activitat electrodérmica i les variacions del ritme cardíac, s'extrauran totes les

dades necessàries per a poder comparar les distintes versions. Entre les conclusions de l'estudi s'assenyalen algunes variacions interessants per a un ambient docent; acostant-nos de forma introductòria a les solucions òptimes.

PARAULES CLAU: color, aula, realitat virtual

## **ABSTRACT**

The object of the present work resides in the study of the influence of the chromatism of the walls of a classroom in the cognitive processes of its users, through the neuroarchitecture. This forms part of the prelude to the study "The design of the classroom to enhance the cognitive processes of students: a methodological proposal to evaluate the variables light, color and shape".

This study is carried out with tests to a certain number of subjects, in which versions of two real classrooms reproduced through virtual reality technology are visualized. The variations between them will consist in the introduction of color in the walls of the classrooms.

Through questionnaires and physiological tests, control of the electrodermal activity and variations of the cardiac rhythm, all the necessary data will be extracted to be able to compare the different versions.

Among the conclusions of the study are some interesting variations for a teaching environment; approaching the optimal solutions in an introductory way.

KEYWORDS: classroom, color, virtual reality.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. EL COLOR EN EL AULA	8
1.2. MEDICIÓN NEUROFISIOLÓGICA	9
1.3. REALIDAD VIRTUAL	9
1.3.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. ANTECEDENTES	12
3.1. SISTEMAS DE NOTACIÓN DEL COLOR	12
3.1.1. MUNSELL	13
3.1.2. NATURAL COLOUR SYSTEM (NCS)	14
3.2. ESTUDIOS PREVIOS	15
3.2.1. "EFFECTS OF NINE MONOCHROMATIC OFFICE INTERIOR COLORS ON CLERICAL TASKS AND WORKER MOOD"	15
3.2.2. "THE IMPACT OF CLASSROOM DESIGN ON PUPIL'S LEARNING: FINAL RESULTS OF A HOLISTIC, MULTI-LEVEL ANALYSIS."	17
3.2.3. "STUDENTS' COLOUR PERCEPTION AND PREFERENCE: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF ITS RELATIONSHIP"	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS	21
4.1. PARTICIPANTES	21
4.2. COLORES	22
4.2.1. ELECCIÓN	22
4.3. AULAS	25
4.3.1. AULA ETSA	25

4.3.2. AULA ETSIE	29
4.4. ESTRUCTURA DE LAS PRUEBAS	33
4.5. GENERACIÓN DE ESTIMULOS	35
4.6. ANÁLISIS DE DATOS	35
4.6.1. CUESTIONARIOS	35
4.6.2. TAREAS	36
4.6.3. DATOS NEUROFISIOLÓGICOS	37
4.7. REPRODUCCIÓN DE LOS ESTÍMULOS	38
4.8. PROCESAMIENTO DE DATOS	38
5. RESULTADOS	39
5.1. CUESTIONARIOS	39
5.1.1. PRESENCIA	39
5.1.2. AUTOEVALUACIÓN	39
5.1.3. VALORACIÓN AMBIENTE	41
5.2. TAREAS	42
5.2.1. MEMORIA	42
5.2.2. ATENCIÓN	44
5.3. DATOS NEUROFISIOLÓGICOS	44
5.3.1. EDA	44
5.3.2. HRV	45
6. CONCLUSIONES	47
7. BIBLIOGRAFÍA	48
8. ÍNDICE DE FIGURAS	51
9. ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS	56
ANEXO	57

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la etapa estudiantil es habitual haber recibido docencia en muchas aulas de distinto tipo y configuración. Generalmente se suelen tener recuerdos bien distintos sobre las experiencias en cada una de ellas, así como alguna preferencia debida a las sensaciones de agrado y comodidad que podían, o no, transmitir. Estos recuerdos y sensaciones son una prueba de la influencia de los parámetros de diseño dentro de un aula.

Dando un apoyo científico a estas ideas encontramos, en un estudio de la universidad de Salford, que el rendimiento de un estudiante puede verse mejorado hasta un 25% controlando el diseño del espacio del aula a través de diversos parámetros (P. Barrett, Y. Zhang, F. Davies & L. Barrett, 2015).

Atendiendo a esto, otros muchos estudios han abordado la cuestión. Sin embargo, cuentan con algunas limitaciones:

- La dificultad de trabajar con el color en formato digital y físico por sus propiedades.
- Las abundantes posibilidades de combinación que ofrecen los colores.
- La cuantificación de las capacidades cognitivas que se ha hecho habitualmente mediante tareas o self-report, pudiendo este último estar sujeto a ciertos sesgos (Schwarz & Strack, 1999).
- La utilización de simulaciones ambientales como fotografías, que generan respuestas emocionales diferentes al espacio físico que representan (Higuera-Trujillo, López-Tarruella, & Llinares Millán, 2017).

El objetivo del presente trabajo es analizar la influencia del cromatismo de las aulas en los procesos cognitivos de los alumnos, abordando las limitaciones antes comentadas.



## 1.1. EL COLOR EN EL AULA

Recientemente se ha podido contemplar como el Pabellón alemán de Barcelona, obra de Mies van der Rohe, se deshacía de su característica materialidad de la mano de Anna & Eugeni Bach en “Mies missing materiality”. Su exuberante calidad material se traducían poco a poco en un blanco casi infinito solo interrumpido por las estrechas juntas del panelado. Fue una intervención en la que recubrieron todos los paramentos del pabellón alemán de Barcelona con paneles blancos, dándole una apariencia de maqueta a escala 1:1.

El resultado es una gran obra que pierde parte de su esencia, como recriminaron gran parte de los turistas que la visitaron durante esa semana. Esta intervención, con el objetivo de generar reflexiones sobre su origen reconstruido, deja ver la gran influencia del color en los espacios del pabellón, no siendo distinta un aula.

Entre los parámetros de diseño con los que se trabajó en el estudio antes comentado (P. Barrett, Y. Zhang, F. Davies & L. Barrett, 2015) se encuentra el color. Los cambios relativos a este en las aulas estudiadas están estimados en representar un 11% dentro del global de parámetros que se contemplaron.

La importancia que puede tener el cromatismo en las aulas la observamos también en los postulados de la psicología del color. Este campo de investigación habla de la energía que nos transmiten los colores, de cómo nos hacen sentirnos cada uno y que representan. Es por ello por lo que resulta inevitable pensar que, el color aplicado al espacio educativo podría ofrecer facilidades en el proceso enseñanza-aprendizaje.

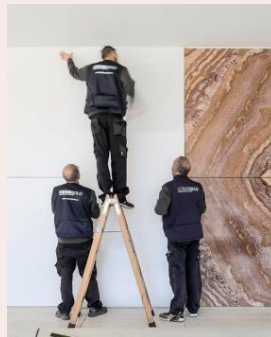


Figura 1 y 2. Pabellón alemán de Barcelona siendo intervenido y su aspecto final respectivamente en “Mies missing materiality”. (<https://annaugenibach.com/2018/04/12/mies-missing-materiality/>)

## 1.2. MEDICIÓN NEUROFISIOLÓGICA



Figura 3. Participante equipado con los medidores fisiológicos. (Elaboración propia)

Uno de los mayores problemas de este tipo de trabajos es la utilización de un cuestionario self-report para analizar las respuestas del individuo ante los estímulos presentados. Esto limita las mediciones a los procesos conscientes del participante y a no ser estudiado en tiempo real. Como consecuencia, el estado reportado por el usuario puede ser diferente del real y llevar a resultados no del todo ciertos. Por ello se decide utilizar las herramientas aplicadas en la neurociencia, con las que se puede conseguir un resultado más objetivo. Estas cubren distintas manifestaciones del sistema nervioso, entre las que se encuentran la actividad electrodérmica (EDA) y el electrocardiograma. La actividad electrodérmica mide las variaciones en la sudoración de la piel (Boucsein, 2012) mientras que con electrocardiograma podemos medir y estudiar variaciones en la frecuencia cardíaca (HRV).

Recientemente han aparecido estas herramientas aplicadas al campo de la arquitectura, denominándose neuroarquitectura, con el objetivo de estudiar las posibilidades de las variables de diseño y poder ayudar a proyectar mejores espacios.

## 1.3. REALIDAD VIRTUAL



Figura 4. Participante con las gafas de realidad virtual. (Elaboración propia)

La realidad virtual responde a la última de las limitaciones enumeradas previamente. Es una tecnología novedosa diseñada para reproducir espacios en los que el individuo se sienta inmerso. Es capaz de conseguir 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.

### 1.3.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Uno de los primeros inventos relacionado con la realidad virtual es el estereoscopio de Charles Wheatstone (Figura 5). Este aparato funcionaba a partir de dos imágenes ligeramente distintas y una serie de espejos. Cada imagen se veía reflejada por un ojo a través de los espejos de tal forma que transmitiera la sensación de profundidad.

Durante varios años a partir de 1957, Morton Heiling desarrolló Sensorama (Figura 6), un simulador que combina imágenes 3D, sonido, viento y olores para crear la ilusión de realidad.

En 1961 Phill Corporation desarrolla Headsight, el primer casco de realidad virtual. Consiste en una pantalla y un control de posicionamiento de la cabeza y fue utilizado en entrenamientos militares.

Pocos años después, Ivan Sutherland desarrolla un dispositivo de realidad virtual llamado Ultimate Display (Figura 7), basado en un casco acoplado a un ordenador de la época, es decir, de grandes dimensiones, por lo que el casco colgaba del techo. Debido a esto recibió el nombre de La Espada de Damocles.

Tras un periodo de pocos avances Palmer Lucky recupera en 2010 el desarrollo de esta tecnología con unas gafas de realidad virtual que serían la primera versión del Oculus Rift. Este invento sí que tuvo éxito y acabó siendo comprado por Facebook, tanto el proyecto como la compañía Oculus.

En la actualidad, tras el nacimiento de Oculus, nos encontramos en una carrera por la realidad virtual, en la que todas las grandes compañías cuentan con sus propios dispositivos. La principal vía de introducción al mercado está en el sector de los videojuegos, pero también tienen grandes utilidades en otros sectores, desde la arquitectura aportando la posibilidad de visualizar un proyecto no construido a simuladores para operaciones quirúrgicas en medicina (Figura 8).



Figura 5. Estereoscopio de Charles Wheatstone.  
([https://fr.wikisource.org/wiki/Les\\_Merveilles\\_de\\_la\\_science/Le\\_St%C3%A9%20st%C3%A9oscope](https://fr.wikisource.org/wiki/Les_Merveilles_de_la_science/Le_St%C3%A9%20st%C3%A9oscope))



Figura 6. Cartel publicitario de Sensorama.  
(<http://proyectoidis.org/sensorama/>)



Figura 7. Ivan Sutherland con Ultimate Display.  
(<http://belasartes.uvigo.es/dx7/lapielbionica/?obr/61>)



Figura 8. Realidad virtual utilizada en ensayos médicos.  
([http://www.seco.org/La-Realidad-Virtual-se-pone-al-servicio-de-la-medicina\\_es\\_1\\_13.html](http://www.seco.org/La-Realidad-Virtual-se-pone-al-servicio-de-la-medicina_es_1_13.html))

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de este estudio es analizar la influencia del cromatismo de las paredes de un aula en las capacidades cognitivas de sus usuarios. Para ello se utilizará la Realidad Virtual como herramienta, para simular las versiones del aula con las variaciones que correspondan. Dicha influencia se evaluará mediante 3 parámetros: motivación, memoria y atención.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar el estado actual de la cuestión en cuanto al estudio de la influencia de los colores de un espacio en sus usuarios.
- Definir la forma de obtención de datos de los usuarios.
- Establecer los estímulos a los que se someterán los participantes en las pruebas
- Definir las herramientas y métodos para el desarrollo de las pruebas y la toma de datos.
- Analizar la respuesta subjetiva y fisiológica del individuo ante las distintas versiones que visualice.
- Analizar la influencia del tono, de la saturación y de la combinación, o no, de más de un color en el espacio educativo.

### 3. ANTECEDENTES

En este apartado se va a tratar, por una parte, la notación del color, y por otra, una serie de estudios previos que representan el estado actual del tema.

#### 3.1. SISTEMAS DE NOTACIÓN DEL COLOR

Hay numerosas formas de notación del color pero cada una de ellas se adecua más a un campo distinto. Quizás los más conocidos actualmente puedan ser RGB, destinado a la gestión de imágenes electrónicas o CMYK que se utiliza en la impresión de colores. Sin embargo en los campos de la arquitectura y el diseño se trabaja desde un punto de vista perceptivo, es decir, con qué color le llega a los usuarios. Esto significa que digitalmente se puede seleccionar un color concreto en un sistema RGB por ejemplo, pero que, simplemente por el hecho de ser mostrado a través de un monitor, diferirá del seleccionado en mayor o menor medida según la configuración de este.

Los atlas de color son colecciones de muestras físicas representativas de toda la gama de colores posibles, ordenadas siguiendo criterios perceptivos para que entre ellas siempre haya una gradación regular. Las muestras de la mayoría de los atlas, de una forma u otra, están regidas por las variables perceptivas o psicométricas del color.

Cuando se es niño se aprenden los colores en la escuela a partir de su característica más obvia, el tono. Así hablamos de azul, amarillo, verde, rojo etc. sin más apellidos que claro u oscuro. En un intento de acotar un poco más se utiliza la analogía, el azul cielo por ejemplo, aún muy impreciso por su subjetividad. La manera correcta de poder transmitir un color concreto pasa por la utilización de las variables perceptivas o psicométricas del color: tono, luminosidad y saturación.

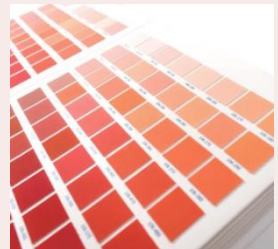


Figura 9. Ejemplo de atlas de color.  
(<http://www.archroma.com/news-releases/archroma-adds-to-color-atlas-with-new-portable-2-volume-set/>)



Figura 10. Cabina de luz para la observación de atlas de color.  
(<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2015/04/mejores-practicas-para-evaluar-visualmente-el-color-de-las-muestras/>)

Se deben tener en cuenta algunos factores que condicionan el uso de estos atlas:

- Las muestras se degradan con el tiempo.
- Han de ser observados siempre en las mismas condiciones de iluminación (Figura 10).
- Tiene un número limitado de muestras.

Dentro de los atlas de color nos centraremos en Munsell y NCS (Natural Color System) por su criterio de ordenación más científico y fácil de manejar.

### 3.1.1. MUNSELL

El atlas de color Munsell fue inventado por el pintor y profesor de arte Albert Munsell. Es un sistema en el que se ordenan los colores siguiendo 3 atributos visuales denominados tono, valor y croma. Estos 3 atributos corresponden con las variables perceptivas antes comentadas: tono, valor o luminosidad y croma o saturación.

Este modelo conforma un sólido de color en el que el tono se organiza alrededor de un círculo cromático según su ángulo, el valor del color en el eje vertical y el croma en dirección perpendicular al eje vertical. Se divide en 5 tonos principales: R (rojo), Y (amarillo), G (verde), B (azul) y P (violeta) que mezclándose entre sí los contiguos en el círculo cromático permite expresar los tonos intermedios, por ejemplo YR que correspondería a naranja. Los valores van desde el 1, mínima blancura, hasta un valor máximo de 9, máxima blancura. El croma cerca del eje vertical indica poca saturación que se expresa con valores a partir del 0 y conforme se aleja de este se encuentran las muestras más saturadas, con valor máximo de hasta 26. Este sólido de color tiene una forma irregular debido al croma, ya que no todos los tonos pueden alcanzar niveles tan altos de saturación en cuanto a nivel perceptivo.

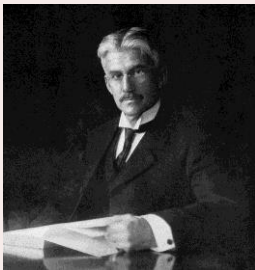


Figura 11. Albert Munsell.  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Henry\\_Munsell](https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Henry_Munsell))

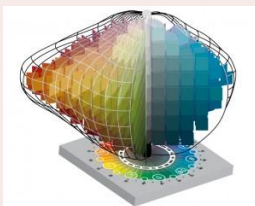


Figura 12. Sólido de color Munsell.  
(<https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-color-space-and-solid/>)

La notación sigue esta estructura: 7,5R 4/12, en la que la primera parte, 7,5R, nos da información sobre el tono, 4 nos indica el valor y 12 el cromatismo.

### 3.1.2. NATURAL COLOUR SYSTEM (NCS)

El atlas de color Natural Colour System se desarrolla en Suecia en 1979 y se basa en las teorías de la oposición de color propuestas por el psicólogo alemán Ewald Hering. En estas teorías habla de 3 parejas de colores opuestos sobre las que se asienta el sistema de organización del atlas NCS: verde-rojo, azul-amarillo y negro-blanco. Así este sistema sigue una organización muy parecida a Munsell basado en 3 atributos: tono, negrura y cromaticidad que vienen a responder de nuevo a las variables perceptivas: tono, luminosidad y saturación.

Este sistema organizativo se ve contenido en un sólido de color formado por un doble cono invertido. En el plano donde se unen los dos volúmenes encontramos repartidos por extremos de ejes las parejas verde-rojo y azul-amarillo y en los vértices de ambos conos, formando un eje vertical, la pareja blanco-negro. A diferencia del atlas Munsell el sólido de color del atlas NCS es regular pero, a pesar de esto, la distribución interna de sus muestras no lo es por el mismo motivo que el sólido de color de Munsell es irregular: la saturación a nivel perceptivo.

La notación sigue esta estructura: S 2570-Y90R en la que la S indica si es un color estándar recogido en las muestras del atlas, 25 hace referencia a la negrura, 70 a su cromaticidad y tras el guion información referente al tono. Estos valores responden a porcentajes por lo que en los 3 atributos el máximo sería 100 teniendo en cuenta que, respecto al tono, el 100% de un color se expresaría solo con su inicial.

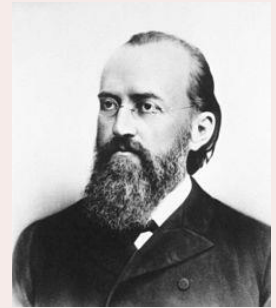


Figura 13. Ewald Hering.  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Ewald\\_Hering](https://es.wikipedia.org/wiki/Ewald_Hering))

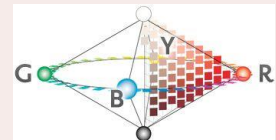


Figura 14. Espacio de color NCS.  
(<https://purpura.wordpress.com/2011/05/03/modo-de-color/>)

## 3.2. ESTUDIOS PREVIOS

### 3.2.1. "EFFECTS OF NINE MONOCHROMATIC OFFICE INTERIOR COLORS ON CLERICAL TASKS AND WORKER MOOD" N. KWALLEK, C.M. LEWIS, J.W.D. LIN-HSIAO & H. WOODSON 1996.



Figura 15. Oficina utilizada en el estudio, en este caso, en su versión roja.

El estudio se basa en el análisis de los efectos que produce el color interior de una oficina en el estado de ánimo y el rendimiento de los trabajadores. El estudio se realiza en 3 oficinas idénticas entre sí que se repintan en 3 fases para cubrir los 9 colores a estudiar. Los colores utilizados cubren las principales áreas del círculo cromático de Munsell así como valores altos y bajos, saturaciones altas y bajas y colores cálidos y fríos. También se tuvo en cuenta el género de los participantes a la hora de analizar los resultados.

La investigación contó con 675 sujetos, 341 hombres y 334 mujeres, estudiantes universitarios de psicología, con un 97% comprendido en el rango de edad de 18 a 23 años. Cada uno realizó 3 cuestionarios y unas tareas administrativas en una oficina de uno de los 9 colores que se utilizaron. Las personas daltónicas fueron excluidas del estudio. Cada sujeto empleaba 45 minutos en una de las 3 oficinas para la realización de la prueba.

En las oficinas variaba el color de sus paramentos entre rojo, blanco, verde, naranja, amarillo, azul, beige, gris y morado, las principales áreas el círculo cromático de Munsell. Así mismo, estos colores variaban entre sí en cuanto a saturación y valor. El resto de los elementos de estas oficinas, mobiliario y elementos secundarios, tenían unos colores con valores neutros que evitaban contrastar en exceso con los de las paredes.

Las conclusiones más notables del estudio fueron:

- En general no fue encontrada una relación entre el estado de ánimo de los sujetos y el color del interior de



la oficina. Sin embargo el grado de saturación pareció estar relacionado con el nivel de activación reportado por los sujetos.

- El grado de saturación pareció tener efectos diferentes en el nivel de depresión, enfado y confusión reportado por los hombres y en el de las mujeres. En la presencia de colores más saturados, los hombres experimentaban más estos sentimientos que las mujeres y viceversa en el caso opuesto.
- A los hombres generalmente le gustaron más los colores menos saturados y menos los más saturados mientras que a las mujeres tendían a gustarle más los colores con saturaciones altas para el interior de la oficina.
- El descubrimiento más sorprendente fue que los sujetos cometían más errores en la oficina blanca que en el resto de los colores. Este efecto pareció estar relacionado con el valor de los colores. Los colores más claros podrían generar en algún sentido más distracción que los oscuros. Ya en el cuestionario final, los sujetos reportaron que el blanco fue el color que menos les distrajo y entre los interiores de oficina preferidos en los que trabajar.

Las creencias sociales, las cuales están gobernadas por la idea de que el blanco es el color más apropiado para el interior de una oficina, pueden influir en la discrepancia. Esta conclusión puede sugerir que las preferencias de un individuo sobre su entorno de trabajo no tienen por qué tener siempre una relación positiva con el rendimiento de este.



Figura 16. Ejemplo de color en el aula recomendado por el estudio.

### **3.2.2. "THE IMPACT OF CLASSROOM DESIGN ON PUPIL'S LEARNING: FINAL RESULTS OF A HOLISTIC, MULTI-LEVEL ANALYSIS." P. BARRET, F. DAVIES, Y. ZHANG, L. BARRET 2014.**

El estudio HEAD (Evidencia holística y diseño) del impacto del diseño de la escuela primaria 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 las escuelas primarias".

Este es un estudio centrado en un tema general, el impacto en la práctica de los espacios físicos en la salud y el bienestar humanos. Las escuelas primarias son un buen ejemplo para abordar este problema complejo: los alumnos pasan la mayor parte del tiempo en un espacio (el aula).

La fase 1 del proyecto concluyó en 2013 e incluyó a 751 alumnos de siete escuelas en el área de Blackpool en el Reino Unido. En la Fase 2, se recopilaron datos en dos ubicaciones geográficas adicionales en el Reino Unido, lo que aumentó el tamaño de la muestra alrededor de 5 veces más, e incorporó muchas más escuelas, aulas y alumnos.

Este estudio confirma la utilidad del modelo conceptual de naturalidad, individualidad y estimulación (o más conocido como SIN por sus siglas en inglés) como un vehículo para organizar y estudiar toda la gama de impactos sensoriales experimentados por un individuo que ocupa un espacio determinado. En este caso particular, el principio de diseño de naturalidad representa alrededor del 50% del impacto en el aprendizaje, y los otros dos representan aproximadamente una cuarta parte cada uno. Dentro de esta estructura, se han identificado siete parámetros de diseño clave que juntos explican el 16% de la variación en el progreso académico alcanzado por los alumnos. Estos son:

- Naturalidad: luz, temperatura y calidad del aire representando la mitad del impacto de aprendizaje.
- Individualización: propiedad y flexibilidad que representa alrededor de un cuarto.
- Estimulación (nivel apropiado de): complejidad y color - otra vez alrededor de un cuarto.

Sorprendentemente, los factores de toda la escuela (por ejemplo, tamaño, recorridos, instalaciones especializadas, instalaciones de juegos) no parecen ser tan importantes como el diseño de las aulas individuales. Este punto se ve reforzado por la evidencia clara de que es bastante típico tener una combinación de aulas más y menos efectivas en la misma escuela. El mensaje es que, ante todo, cada aula debe estar bien diseñada.

Centrándonos en el color en un contexto educativo, las elecciones se pueden ver como una cuestión de preferencias, o desde una perspectiva de aprendizaje funcional. En términos de preferencias, a los niños más pequeños parecen gustarle más 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 de color 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, optimizada de forma óptima en un nivel medio.

A modo de conclusiones, se realizan algunas recomendaciones en esa línea:

- Color y área de la pared: este aspecto central es curvilíneo. Las áreas grandes y de colores vivos tienen mala calificación como las paredes blancas con pocos elementos de color. Los casos intermedios con paredes ligeras en general, más una característica con un color

más saturados se encontró que es más efectivo para fomentar el aprendizaje.

- Contra este telón de fondo relativamente tranquilo, añadir elementos de color en el aula que jueguen un papel complementario y estimulante. Por ejemplo, colores relativamente vivos en el suelo, persianas, escritorio, sillas y agrega puntos destacados adicionales y destellos de color.

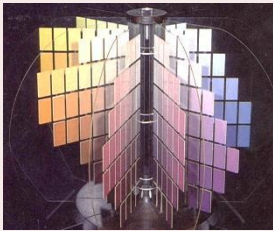


Figura 17. Ejemplo de modelo físico tridimensional utilizado en las encuestas de color.

### **3.2.3. “STUDENTS’ COLOUR PERCEPTION AND PREFERENCE: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF ITS RELATIONSHIP” J. NURLEWATI, Y. RODZYAH, S. NORMAHDAH, 2012.**

Este estudio se centra en la percepción y las preferencias de color para la habitación de la residencia universitaria como un ambiente de aprendizaje entre los estudiantes de grado en Universiti Teknologi MARA y Universiti Putra Malaysia. Su objetivo es verificar los hallazgos previos sobre las diferencias de preferencia entre el género en una población y ampliar el método utilizando una encuesta de color visible. 798 estudiantes que también son residentes de la residencia universitaria o colegio mayor, con edades comprendidas entre los 19 y los 27 años participaron en esta encuesta aleatoria.

La encuesta registró patrones de preferencias de color y color de recomendación de los estudiantes para las habitaciones de su residencia universitaria. Las encuestas de preferencia incluyen 11 colores (rojo, azul, verde, rosa, morado, marrón, naranja, amarillo, blanco, negro y gris) junto con una descripción de color en valor y nivel de saturación con escalas de Likert de cinco puntos. Además, se pidió a los encuestados indicar 12 respuestas emocionales y nominar su color preferido directamente utilizando el método de encuesta de color visible en un modelo tridimensional del espacio de color Munsell. El análisis revela varios patrones de preferencias de color cuando las opciones de color son visibles entre géneros

que influyen significativamente en su comportamiento de preferencia. Los resultados se convierten en el punto de inflexión para investigar los efectos del color en el estado de alerta de los estudiantes durante la actividad de aprendizaje en función de las preferencias de los sujetos y las teorías del color.

Todos los participantes viven en la residencia y son estudiantes universitarios de diversas disciplinas. Hay 201 estudiantes varones y 200 alumnas de la Universiti Teknologi MARA (UiTM); mientras que 198 de los estudiantes varones y 198 de mujeres estudiantes de Universiti Putra Malaysia (UPM). Los estudiantes tenían entre 19 y 27 años.

Las respuestas obtenidas muestran que diferentes evaluaciones dan como resultado varios patrones de respuestas de color, especialmente cuando las opciones dadas son visibles. Los resultados mostraron que la nominación directa del color (opción de color visible) refleja sus preferencias de color reales. En esta situación, la interacción entre el cerebro, el ojo y la luz del color visible influye en la selección de los encuestados, ya que lo que esperan ver es diferente de lo que ven.

Otro aspecto diferente es que los humanos son propensos a adaptarse a su entorno y aceptar el hecho de la condición en la que solían vivir. Esto queda demostrado en los resultados hallados, donde la sala blanca actual es ampliamente aceptada, a pesar de que se encontró que causa más errores, especialmente en entornos basados en el rendimiento.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la parte experimental del trabajo se han llevado a cabo una serie de pruebas. En ellas los participantes debían realizar una serie de tareas mientras visualizaban, con unas gafas de realidad virtual, un aula universitaria. Durante la prueba se recogían mediciones neurofisiológicas y, al acabar esta, se rellenaron cuestionarios self-report. El presente estudio está englobado en uno de mayor envergadura que evalúa también los parámetros de forma e iluminación llamado “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). Las pruebas correspondientes a las 3 variables se han realizado al unísono de manera conjunta, intentando que los participantes no fueran capaces de centrar la atención en los parámetros de estudiar.

Los siguientes apartados describen el tipo de sujetos participantes en el estudio, los colores utilizados en las aulas, las propias aulas y la estructura de las pruebas, como se generan los estímulos y como se realiza el análisis de datos, la reproducción de estímulos y el procesamiento de datos.

### 4.1. PARTICIPANTES

Como el presente estudio se centra en el caso de las aulas universitarias los sujetos seleccionados se encontraban todos dentro del rango de edad de 18 a 30 años. Para evitar la dispersión en los resultados debido a diferencias culturales también se acotó la muestra según nacionalidad, permitiendo sujetos españoles solamente. Estas restricciones intentan acercar la muestra seleccionada al perfil de un estudiante universitario español tipo.

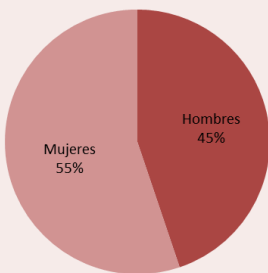


Gráfico 1. Porcentajes sobre el género de los participantes

La muestra estuvo balanceada en sexo, contando con 48 mujeres y 39 hombres. La edad media fue de 23.5 años.

## **4.2. COLORES**

El estudio centra las intervenciones cromáticas en las paredes de las aulas. Estas intervenciones serán, en su mayor parte, monocromáticas, habiendo también algunas dicromáticas. En las monocromáticas se pintarán las cuatro paredes del aula de un solo color. En las dicromáticas, ya que de cada tono se utilizarán dos versiones con distinta saturación, se combinan por parejas utilizando en las paredes frontal y trasera el color más saturado y en las laterales el que menos.

El planteamiento inicial del estudio era trabajar sobre suelo, techo y paredes creando combinaciones de colores de todo tipo; sin embargo, esto daba como resultado demasiados casos de estudio posibles lo que lo hacía inviable.

### **4.2.1. ELECCIÓN**

La elección de colores para el estudio se hace a partir del atlas Munsell teniendo en cuenta una serie de requisitos. Comenzamos fijando el valor de todos los tonos elegidos en 5, el valor medio. Los tonos seleccionados fueron 8, distribuidos de forma regular en el círculo cromático, cuidando de que estuvieran presentes todos los colores principales y respetando la proporción de colores fríos y cálidos. Los tonos seleccionados fueron: 5GY, 5PB, 5P, 5BG, 5R, 5RP, 5YR y 5Y. De estos tonos con valor 5, seleccionamos siempre el de mayor saturación posible y uno 3 muestras por debajo manteniendo siempre constante la diferencia de saturación entre los dos colores seleccionados de un mismo tono (6 puntos de croma).

De esta forma los colores que obtenemos finalmente son: 5GY 5/10, 5GY 5/4, 5PB 5/14, 5PB 5/8, 5P 5/12, 5P 5/6, 5BG 5/10, 5BG

5/4, 5R 5/16, 5R 5/10, 5RP 5/14, 5RP 5/8, 5YR 5/10, 5YR 5/4, 5Y 5/8 y 5Y 5/2. Además de las versiones monocromáticas, se añade una por tono en la que se mezclan ambos colores de cada tono, utilizando en las paredes frontal y trasera el más saturado y en las laterales el de menos saturación.



Figura 18. Paleta de colores seleccionada para aplicar a las aulas. De izquierda a derecha y por filas: 5GY 5/10, 5GY 5/4, 5PB 5/14, 5PB 5/8, 5P 5/12, 5P 5/6, 5BG 5/10, 5BG 5/4, 5R 5/16, 5R 5/10, 5RP 5/14, 5RP 5/8, 5YR 5/10, 5YR 5/4, 5Y 5/8 y 5Y 5/2. (Elaboración propia)

#### 4.2.2. MÉTODO DE TRABAJO

El punto de partida de este proceso es el atlas de color Munsell y uno de los colores elegidos. La muestra del color seleccionado es escaneada y traducida su nomenclatura a HSV a través de Photoshop. Estos colores en HSV son los que se introducen en los materiales de las paredes en el 3dmax, el programa de renderizado. Así, tras los cálculos pertinentes por parte de este, se genera una imagen digital en la que podemos encontrar diferencias de color respecto a los seleccionados en un principio. A continuación se realiza una postproducción con Photoshop para reducir estas diferencias.

A pesar de todo esto, como el color diferirá del introducido en un primer momento, en la imagen digital postproducida se toma una muestra de la región de la pared con una iluminación intermedia y se obtiene el color en nomenclatura RGB a través de Photoshop de nuevo. Con este valor, a través de la página web [Idecolor.com](http://Idecolor.com),



se traduce el color a NCS. Así, obtenemos dos nuevas paletas, una por cada tipo de aula.



Figura 19. Paleta de colores obtenida de las imágenes de las aulas modelo ETSIA. (Elaboración propia)

La paleta obtenida de las aulas modelo ETSIA (Figura 18) en nomenclatura NCS es la siguiente: S 5030-G30Y, S 6020-G70Y, S 2060-R80B, S 5010-R90B, S 3040-R50B, S 4020-R40B, S 3050-B30G, S 6010-B10G, S 2070-Y80R, S 3040-Y80R, S 2050-R30B, S 3030-R20B, S 4550-Y30R, S 5010-Y50R, S 5030-G90Y, S 5010-G90Y.

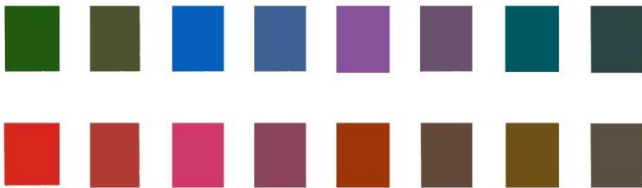


Figura 20. Paleta de colores obtenida de las imágenes de las aulas modelo ETSIE. (Elaboración propia)

La paleta obtenida de las aulas modelo ETSIE (Figura 19) en nomenclatura NCS es la siguiente: S 5030-G30Y, S 7010-G50Y, S 3050-R80B, S 4030-R80B, S 4030-R70B, S 5020-R50B, S 4550-B20G, S 7005-R80B, S 2070-Y80R, S 4040-Y80R, S 2050-R20B, S 4030-R20B, S 4040-Y60R, S 6010-Y50R, S 6020-Y, S 6005-Y20R.

Con este proceso nos aseguramos de utilizar una serie de colores que cumplen los requisitos marcados por la primera selección, que, a pesar de las posibles variaciones, mantendrán una relación entre sí, y que por ello seguirán siendo válidos pero se necesitará su nomenclatura de nuevo para poder abordar el tema con la mayor rigurosidad posible.

### **4.3. AULAS**

Las aulas que aparecen en el estudio son reproducciones de dos aulas reales, representativas del espacio docente universitario general y, a la vez, suficientemente diferentes entre sí. Estas reproducciones generadas tienen algunas diferencias con las reales debidas a una adaptación realizada, necesaria para la evaluación en ellas de los otros dos parámetros a estudiar paralelamente al color: iluminación y forma.

Así, los siguientes apartados describen las aulas siguiendo una estructura dividida en aula real, aula base y versiones. Se denomina aula real a la que existe físicamente, aula base a la real con las adaptaciones necesarias para el estudio, y las versiones al aula base con los colores introducidos en sus paramentos. Las aulas que visualizarán finalmente los sujetos serán las aulas base como versiones acromáticas y las versiones con color.

#### **4.3.1. AULA ETSA**

Esta aula es llamada así porque pertenece a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia en la Universidad Politécnica.

## AULA REAL



Figura 21. Perspectiva cónica del aula real ETSA. (Elaboración propia)

## AULA BASE



Figura 22. Perspectiva cónica del aula ETSA versión base. (Elaboración propia)

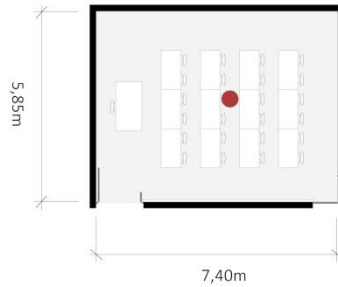


Figura 23. Planta del aula base ETSA y situación del sujeto en esta durante las experiencias. (Elaboración propia)

## VERSIONES

Las aulas llamadas versiones son en las que se introducen los colores previamente seleccionados.

Saturaciones altas:





Figura 24, 25, 26, 27, 28, 29 30 y 31. De izquierda a derecha y por filas, aulas ETSA pintadas de color: 5GY 5/10, 5PB 5/14, 5P 5/12, 5BG 5/10, 5R 5/16, 5RP 5/14, 5YR 5/10 y 5Y 5/8. (Elaboración propia)

### Saturaciones bajas:

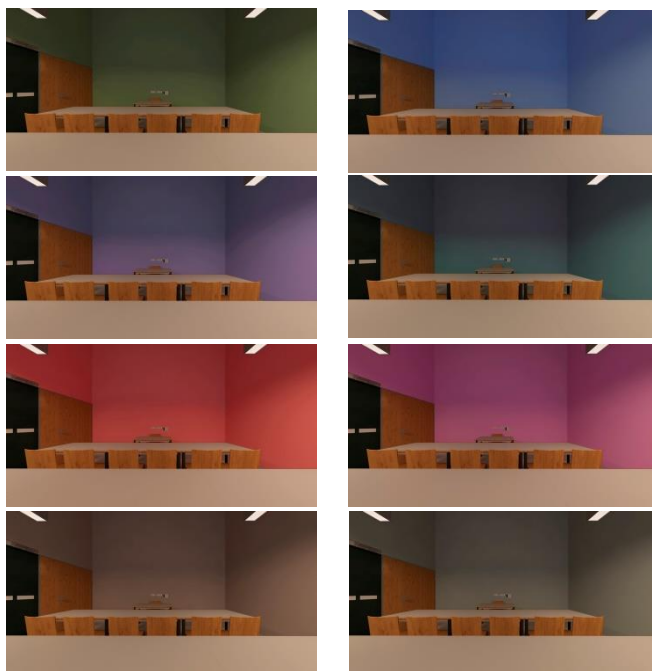


Figura 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39. De izquierda a derecha y por filar, aulas ETSA pintadas de color: 5GY 5/4, 5PB 5/8, 5P 5/6, 5BG 5/4, 5R 5/10, 5RP 5/8, 5YR 5/4 y 5Y 5/2. (Elaboración propia)

Combinaciones:

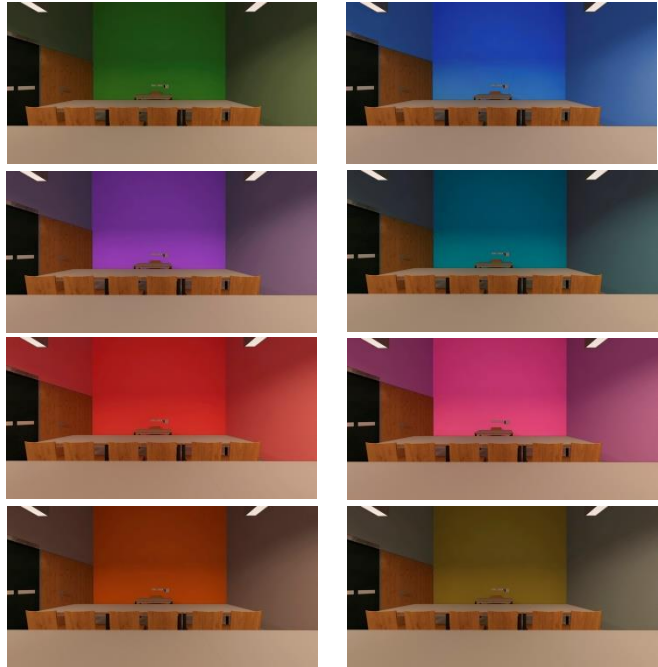


Figura 40, 41, 42, 43, 44, 45 46 y 47. Aulas ETSA combinando las dos saturaciones de cada tono. (Elaboración propia)

### 4.3.2. AULA ETSIE

Esta aula pertenece a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de Valencia en la Universidad Politécnica.

## AULA REAL



Figura 48. Perspectiva cónica del aula real ETSIE. (Elaboración propia)

## AULA BASE



Figura 49. Perspectiva cónica del aula ETSIE versión base. (Elaboración propia)

La influencia del color en el aula  
Un estudio exploratorio sobre el cromatismo en los procesos cognitivo

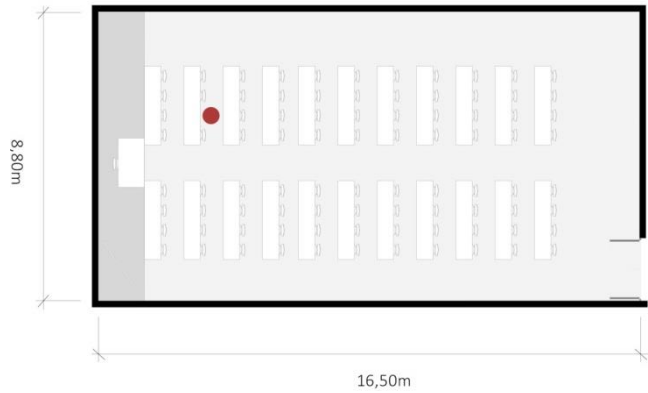


Figura 50. Planta del aula base ETSIE y situación del sujeto en esta durante las experiencias. (Elaboración propia)

## VERSIONES

Saturaciones altas:





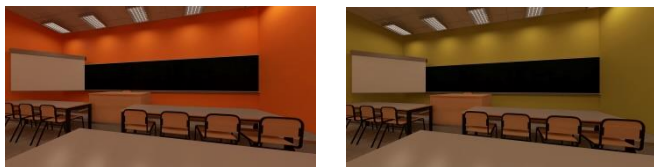


Figura 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 y 59. De izquierda a derecha y por filas, aulas ETSIE pintadas de color: 5GY 5/10, 5PB 5/14, 5P 5/12, 5BG 5/10, 5R 5/16, 5RP 5/14, 5YR 5/10 y 5Y 5/8. (Elaboración propia)

### Saturaciones bajas:

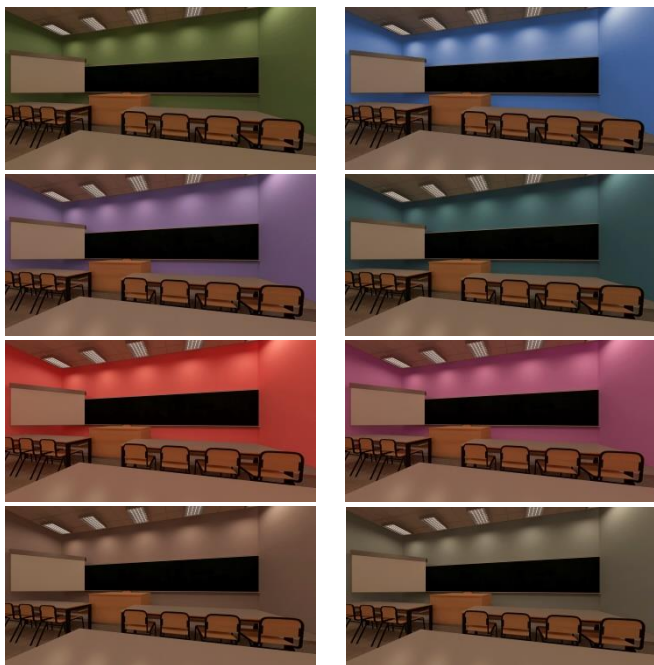


Figura 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 y 67. De izquierda a derecha y por filar, aulas ETSIE pintadas de color: 5GY 5/4, 5PB 5/8, 5P 5/6, 5BG 5/4, 5R 5/10, 5RP 5/8, 5YR 5/4 y 5Y 5/2. (Elaboración propia)

Combinaciones:



Figura 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 y 75. Aulas ETSIE combinando las dos saturaciones de cada tono. (Elaboración propia)

#### 4.4. ESTRUCTURA DE LAS PRUEBAS

La realización de las pruebas seguía una estructura muy concreta determinada en el protocolo de las experiencias. Cada participante visualizó 6 versiones de las aulas de las que, en general 2 de ellas pertenecían al ítem color ya que, como se ha comentado antes, las pruebas de los 3 parámetros de estudio (iluminación, color y forma) se realizaron de manera conjunta. Las pruebas estaban organizadas según la siguiente tabla:

	CONCEPTO	TIEMPO
PREPARACIÓN	<b>INICIO CON EL PARTICIPANTE</b> Recepción, indicaciones básicas, firma del consentimiento, cuestionario demográfico, y colocación de dispositivos de registro neurofisiológico.	≈9
	<b>TEST DE ISHIIHARA</b> El entrevistador muestra las 21 imágenes, y apunta si acierta o no la solución.	≈1
	<b>PRUEBA ESCENARIO</b> Visión del escenario de prueba para ajustar las HTC y acostumbrar al participante. <i>"Visualiza el espacio, y cuando te sientas cómodo podemos continuamos. 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.	≈1
PRE-EXPERIENCIAS	<b>EJECUTAR ESTUDIO IMOTIONS</b> El entrevistador ejecuta el estudio, según lo indicado en el protocolo.	≈0
	<b>ESTABLECER 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	<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>	1
	<b>EXPERIENCIA DEL AULA</b> El entrevistador lanza el escenario elegido.	1
	<b>TAREA DE MEMORIA</b> <i>"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".</i> El entrevistador lanza tres listas en audio. Tras su reproducción, pide que repita las palabras. El entrevistador apunta todas. Después las filtra en acierto o error.	3
	<b>TAREA DE ATENCIÓN</b> <i>"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...".</i> El entrevistador ejecuta la aplicación.	4
	<b>VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA</b>	≈1
POST-EXPERIENCIAS	<b>CUESTIONARIO DE PRESENCIA</b> Cuestionario SUS, para toda las experiencias en general.	≈1
	<b>FINAL CON EL PARTICIPANTE</b> Retirada de dispositivos, acompañamiento a la salida.	≈1

Tabla 1. Estructura general de las pruebas

## **4.5. GENERACIÓN DE ESTIMULOS**

Los estímulos de las experiencias fueron realizados en base a los datos tomados de las aulas reales. Se reprodujo en un modelo 3D de CAD el mobiliario, los paramentos, luminarias etc. Y posteriormente se aplicaron los materiales y luces pertinentes para el renderizado que se realizó con Autodesk 3ds Max v2015 ([www.autodesk.es](http://www.autodesk.es)) y Vray v3.00.08 ([www.vray.com](http://www.vray.com)). El formato de salida de las imágenes fue en JPG y configuradas como panoramas de 360º y resoluciones de 6000 × 3000 píxeles a 300 puntos por pulgada.

## **4.6. ANÁLISIS DE DATOS**

Durante las pruebas fueron recogidos datos de los participantes mediante cuestionarios, tareas y medidores neurofisiológicos. iMotions (v.6.1; [www.imotions.com](http://www.imotions.com)) fue utilizado en el PC de investigación, para gestionar el protocolo y recopilar los datos.

### **4.6.1. CUESTIONARIOS**

#### **PRESENCIA**

El test de presencia o SUS questionnaire, es un test desarrollado por Slater, Usoh, & Steed (1994) que mide el nivel de presencia de las simulaciones a través de 6 ítems valorados en una escala Likert, en este caso, de 1 a 7. El objetivo es comprobar que las simulaciones pueden ser entendidas como un escenario real y por tanto considerarse satisfactorias.

#### **AUTOEVALUACIÓN COGNITIVA**

En esta parte de los cuestionarios el individuo responde sobre su experiencia mientras realizaba las tareas en la versión de aula correspondiente. Se tratan 3 aspectos o estados que son: atención, memoria y motivación. El participante responde con una

escala Likert de -4 a 4 según crea que el entorno propuesto le ha ayudado, o no, fomentando alguno de estos aspectos en la realización de las tareas siendo -4 nada y +4 totalmente.

## VALORACIÓN AMBIENTE

Se trata de un cuestionario en el que se valora con una escala tipo Likert de -4 a 4 distintos aspectos del entorno visualizado. Estos aspectos son: me gusta, funcionalidad, calidez, permite concentrarse, actual, iluminación natural e iluminación artificial. De todos ellos, en este documento solo se hablará del ítem “me gusta” debido a la menor relevancia de los demás.

### 4.6.2. TAREAS

#### MEMORIA

La primera tarea consistía en un ejercicio de memoria en el que el sujeto escuchaba una serie de listas de palabras que tenía que intentar recordar. Por cada visualización la tarea contenía 3 listas para memorizar. Cada una de estas listas contaba con 15 palabras, la mayor parte relacionadas entre sí, que el sujeto debía intentar repetir una vez finalizada la audición en un tiempo de 30 segundos. Este procedimiento está basado en el estudio de Alonso et al. (2004).

#### ATENCIÓN

La tarea de atención se basa en la audición de una serie de sonidos aleatorizados, de los cuales, 4 eran distractores y 1 era el estímulo al que se le pedía a los sujetos que respondieran. La extensión de estas pruebas era de 120 sonidos por vez en los que se mezclaban estos 5 anteriormente mencionados. Al sujeto se le pedía una respuesta lo más rápida posible clicando con el ratón cuando creía escuchar el estímulo. Este procedimiento está basado en el estudio de Seidman et al. (1998).

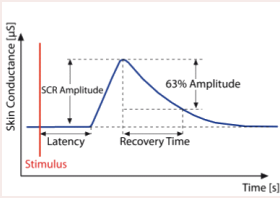


Figura 76. Señal EDA.  
 (([https://www.researchgate.net/publication/318709021\\_Emotion\\_Recognition\\_Involving\\_Physiological\\_and\\_Speech\\_Signals\\_A\\_Comprehensive\\_Review/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/318709021_Emotion_Recognition_Involving_Physiological_and_Speech_Signals_A_Comprehensive_Review/figures?lo=1)))



Figura 77. Dispositivo Shimmer 3GSR+.  
 (<http://www.shimmersensing.com/products/shimmer-biophysical-leads>)

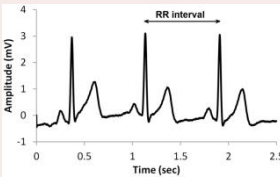


Figura 78. Señal cardíaca.  
 ([https://www.researchgate.net/publication/325170226\\_Heart\\_Rate\\_Variability\\_and\\_Accelerometry\\_as\\_classification\\_tools\\_for\\_monitoring\\_perceived\\_stress\\_levels\\_a\\_pilot\\_study\\_on\\_firefighters](https://www.researchgate.net/publication/325170226_Heart_Rate_Variability_and_Accelerometry_as_classification_tools_for_monitoring_perceived_stress_levels_a_pilot_study_on_firefighters))



Figura 79. Dispositivo b-Alertx10.  
 (<https://imotions.com/b-alert-x10-eeg/>)

### 4.6.3. DATOS NEUROFISIOLÓGICOS

#### ELECTRODERMAL ACTIVITY (EDA)

Son los datos obtenidos del control de las variaciones en la sudoración de la piel. Su análisis permite diferenciar las componentes Fásica y Tónica de la señal de la Conductancia. Por un lado, la componente tónica es la parte de la señal con baja frecuencia que está asociada a la línea base (tendencia) de esta y experimenta ligeras variaciones a lo largo del tiempo. Por otro lado, la componente fásica es la parte de la señal de alta frecuencia correspondiente a variaciones rápidas y puntuales, y se relaciona directamente a la respuesta ante un estímulo.

La señal EDA se grabó a 128 Hz con un dispositivo Shimmer 3GSR+ ([www.shimmersensing.com](http://www.shimmersensing.com)). La señal cruda fue pre-procesada y analizada, usando Ledalab (v.3.4.8, [www.ledalab.de](http://www.ledalab.de)) vía Matlab (v.2016a; [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)).

#### HEART-RATE VARIABILITY (HRV)

Estos datos están basados en las variaciones del ritmo cardíaco, es decir, en la medición de los intervalos de tiempo entre latidos (Goldman, 1976). Analizando frecuencias se puede diferenciar entre otros: la banda baja (LF) indicador de la actividad simpática relacionada con aumento de arousal; la banda alta (HF), indicador de la actividad parasimpática relacionada con el descenso de arousal; y el ratio entre ambas (LFHF) (Malliani, 1999).

La señal del electrocardiograma fue registrada en 256 Hz usando un dispositivo b-Alertx10. La señal sin procesar fue pre-procesada y analizada usando HRVAS vía Matlab.

## 4.7. REPRODUCCIÓN DE LOS ESTÍMULOS

Las herramientas utilizadas para la reproducción de los estímulos fueron sistemas de simulación ambiental a nivel visual. Más concretamente se utilizó el dispositivo HTC Vive, unas gafas de realidad virtual desarrolladas por HTC y Valve ([www.vive.com](http://www.vive.com)) que muestran 2160x1200 píxeles (1080x1200 por ojo) con un campo de visión de 110 grados y una frecuencia de actualización de 90 Hz. Estas estaban conectadas al PC de investigación (Predator G6, [www.acer.com](http://www.acer.com)) mediante DisplayPort 1.2 y USB 3.0.

## 4.8. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tras la realización de las pruebas y la recopilación de los resultados se procede al análisis de estos. Se creó una base de datos con las respuestas psicológicas y neurofisiológicas de los participantes y se realizó un análisis estadístico con el software IBM SPSS (v.17.0; [www.ibm.com/products/spss-statics](http://www.ibm.com/products/spss-statics)).



Figura 80. Gafas de realidad virtual HTC Vive. (<https://www.kogan.com/au/buy/htc-vive-vr-headset-99hahz048-00-htc-006/>)

## 5. RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados de las distintas pruebas y cuestionarios realizados en el estudio. El análisis se basó en ANOVAs entre grupos de aulas (tono y saturación), para cada resultado.

### 5.1. CUESTIONARIOS

#### 5.1.1. PRESENCIA

Se obtuvo el nivel medio de presencia para cada configuración ambiental o aula a través del cuestionario SUS. Los niveles obtenidos en general son todos elevados y similares, teniendo en cuenta resultados de estudios que trabajaron con tecnologías parecidas (Slater y Steed, 2000), se consideran suficientes para entender las simulaciones como satisfactorias.

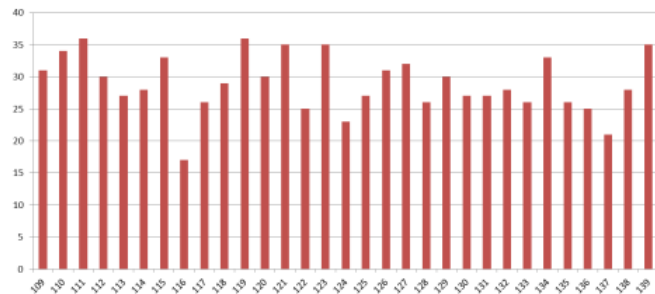


Gráfico 2. Niveles de presencia. (Elaboración propia)

#### 5.1.2. AUTOEVALUACIÓN

Como ya hemos comentado antes, en estos tests el participante puntuó las versiones de las aulas visualizadas según crea que le



han ayudado en sus tareas fomentando su memoria, atención o motivación. Las puntuaciones posibles son de -4 a 4.

## MEMORIA

Las versiones mejor valoradas respecto al ítem memoria los encontramos en el Gráfico 3. En ella podemos observar que las aulas más puntuadas corresponden a:

- 145: Modelo ETSA, tono amarillo (5Y), saturación baja.
- 118: Modelo ETSIE, tono azul (5PB), saturación alta.
- 147: Modelo ETSA, tono amarillo (5Y), saturación Alta.
- 27: Modelo ETSA, aula base.
- 28: Modelo ETSIE, aula base.



Figura 81. Aula mejor valorada.  
(Elaboración propia)



Figura 82. Aula peor valorada.  
(Elaboración propia)

## ATENCIÓN

Las respuestas más favorables de los participantes respecto del ítem atención son las observadas en el Gráfico 4. Los niveles más altos pertenecen a:

- 114: Modelo ETSIE, tono azul (5PB), combinación.
- 118: Modelo ETSIE, tono azul (5PB), saturación alta.
- 147: Modelo ETSIE, tono amarillo (5Y), saturación Alta.
- 27: Modelo ETSIE, aula base.
- 116: Modelo ETSA, tono azul (5PB), saturación baja.

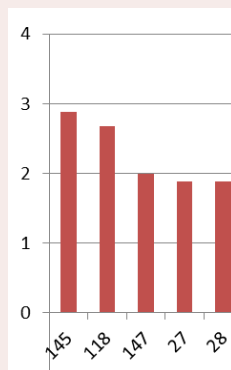


Gráfico 3. Valores más altos en la autoevaluación sobre memoria. (Elaboración propia)

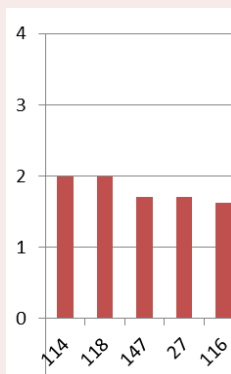


Gráfico 4. Valores más altos en la autoevaluación sobre atención. (Elaboración propia)



Figura 83. Aula mejor valorada.  
(Elaboración propia)



Figura 84. Aula peor valorada.  
(Elaboración propia)

## MOTIVACIÓN

Los resultados relativos a la motivación producida por las aulas son los que se pueden observar en el Gráfico 5. Las versiones que según lo participantes transmiten mayor motivación son:

- 27: Modelo ETSIE, aula base.
- 28: Modelo ETSIE, aula base.
- 148: Modelo ETSIE, tono amarillo (5Y), saturación alta.
- 121: Modelo ETSA, tono púrpura (5P), saturación baja.
- 155: Modelo ETSA, tono verde (5GY), combinación.

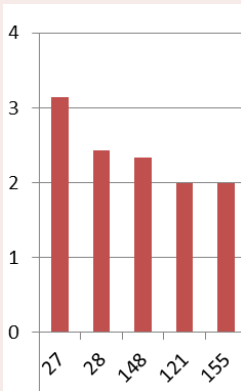


Gráfico 5. Valores más altos en la autoevaluación sobre motivación. (Elaboración propia)



Figura 85. Aula mejor valorada.  
(Elaboración propia)



Figura 86. Aula peor valorada.  
(Elaboración propia)

### 5.1.3. VALORACIÓN AMBIENTE

Dentro de este apartado, a pesar de la inclusión de diversos ítems en las pruebas, a valorar por los participantes, en este documento solo se expondrá uno (Gráfico 6), el relativo a la valoración

estética. Las puntuaciones van de -4 a 4. Las cinco versiones mejor puntuadas son:

- 27: Modelo ETSA, aula base.
- 28: Modelo ETSIE, aula base.
- 155: Modelo ETSA, tono verde (5GY), combinación.
- 125: Modelo ETSA, tono púrpura (5P), combinación.
- 144: Modelo ETSIE, tono naranja (5YR), combinación.



Figura 87. Aula mejor valorada.  
(Elaboración propia)



Figura 88. Aula peor valorada.  
(Elaboración propia)

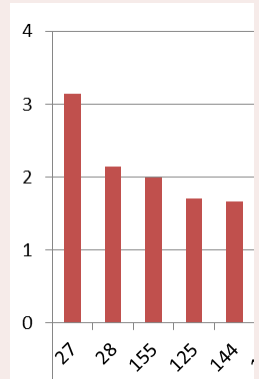


Gráfico 6. Valores más altos en la evaluación estética de las aulas. (Elaboración propia)

## 5.2. TAREAS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos por los participantes en las tareas llevadas a cabo durante las experiencias.

### 5.2.1. MEMORIA

Los resultados obtenidos más altos son los que se pueden ver a continuación en la Figura . La máxima puntuación posible es 15, debido a que es el número de palabras de cada lista a memorizar. Las 5 versiones con mayor puntuación son:

- 122: Modelo ETSIE, tono púrpura, saturación baja.
- 116: Modelo ETSIE, tono azul, saturación baja.
- 125: Modelo ETSA, tono púrpura, combinación.
- 145: Modelo ETSA, tono amarillo, saturación baja.

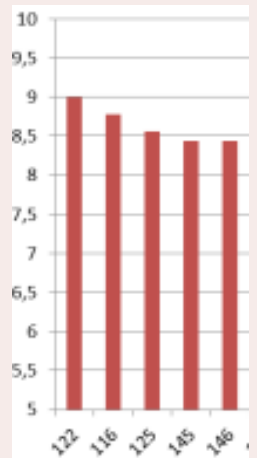


Gráfico 7. Aulas donde se consiguieron mejores puntuaciones en la tarea de memoria. (Elaboración propia)

- 146: Modelo ETSIE, tono amarillo, saturación baja.

En los resultados de la tarea de memoria se puede observar como hay diferencias significativas en función de la saturación. Las versiones de aula con saturaciones más bajas fomentaban el recuerdo de más palabras.

Hay diferencias entre los distintos tonos pero no significativas. Los tonos asociados a mejores puntuaciones son el púrpura (5P), el azul (5PB) y el verde azulado (5BG), mostrando una ligera tendencia a mejores resultados en aulas con colores fríos.

También encontramos que las versiones en las que menos aciertos se consiguen son las aulas base, es decir, las que no tienen modificaciones en el color de sus paramentos. Esto contrasta con la respuesta dada por los sujetos en el test sobre que aula creían más idónea para cada una de las tareas. En este cuestionario las aulas base se situaban en la 4ª y 5ª posición como mejores aulas, sin embargo, como podemos comprobar en los resultados, no fue así.

Estos resultados coinciden con los del estudio comentado antes de Nancy Kwallek, en el cuál se comenten más errores en las oficinas blancas. Además, también en este estudio, los participantes eligen la oficina blanca como una de las que menos les distrajo y más gustaba. Tal y como se comenta en este, se relaciona esta discrepancia entre creencia y resultados con las creencias sociales, donde el blanco suele aparecer como el color más apropiado para interiores.



Figura 89. Aula con mejores puntuaciones  
(Elaboración propia)



Figura 90. Aula con peores puntuaciones  
(Elaboración propia)

## 5.2.2. ATENCIÓN

En esta tarea, los datos mostrados en el Gráfico 8, hacen referencia al tiempo medio de reacción ante los estímulos en cada una de las versiones de las aulas. Los 5 mejores resultados pertenecen a:

- 28: Modelo ETSIE, aula base.
- 146: Modelo ETSIE, tono amarillo, saturación baja.
- 133: Modelo ETSIA, tono rojo, saturación baja.
- 137: Modelo ETSIA, tono rojo, combinación.
- 148: Modelo ETSIE, tono amarillo, saturación alta.

Encontramos diferencias significativas entre tonos en los resultados, siendo la versión base de las aulas en las que menos tiempo de reacción necesitaron los participantes.

Se observan diferencias significativas también en función de la saturación donde las versiones en las que se combinan ambas saturaciones son en las que los sujetos necesitaron más tiempo de reacción ante los estímulos.

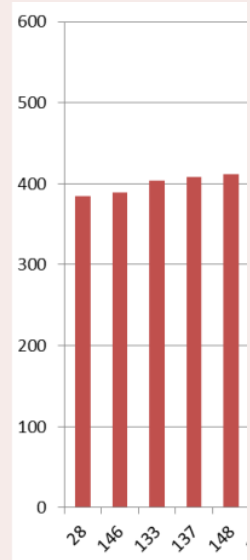


Gráfico 8. Aulas con mejor tiempo medio de reacción en las tareas de atención. (Elaboración propia)



Figura 91. Aula con mejores tiempos. (Elaboración propia)



Figura 92. Aula con peores tiempos. (Elaboración propia)

## 5.3. DATOS NEUROFISIOLÓGICOS

### 5.3.1. EDA

De los datos relativos a la actividad electrodérmica nos centraremos en el estudio de la componente fásica que está más

relacionada con el nivel de activación del sujeto como respuesta a estímulos. Esta activación estaría relacionada con el estrés por lo que lo idóneo serían los niveles más bajos. Así en la Figura podemos ver que las 5 versiones con niveles más bajos son:

- 131: Modelo ETSA, tono magenta, combinación.
- 140: Modelo ETSIE, tono naranja, saturación baja.
- 109: Modelo ETSA, tono verde azulado, saturación baja
- 139: Modelo ETSA, tono naranja, saturación baja.
- 126: Modelo ETSIE, tono púrpura, combinación.

Saturaciones altas se relacionan con valores de la componente física más altos pero no significativamente. Esto significaría que los colores con saturaciones altas fomentan la activación en el individuo.

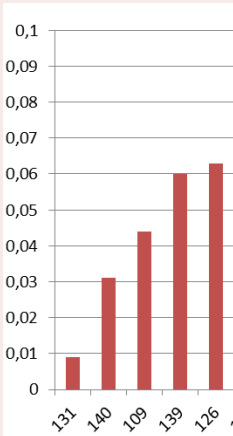


Gráfico 9. Valores más bajos de la componente física de la señal de EDA. (Elaboración propia)



Figura 93. Aula con menor valor. (Elaboración propia)



Figura 94. Aula con mayor valor. (Elaboración propia)

### 5.3.2. HRV

En los datos relativos a las variaciones de la frecuencia cardiaca nos centraremos en el estudio de aLF, parte de la señal más ligada a las respuestas del sistema simpático ante algún estímulo. Estas respuestas se producen en forma de activación, muy relacionada con el estrés, por lo que interesan los niveles más bajos. Así en la Figura podemos ver que las 5 versiones con niveles más bajos son:

- 153: Modelo ETSA, tono verde, saturación alta.
- 133: Modelo ETSA, tono rojo, saturación baja.
- 152: Modelo ETSIE, tono verde, saturación baja.

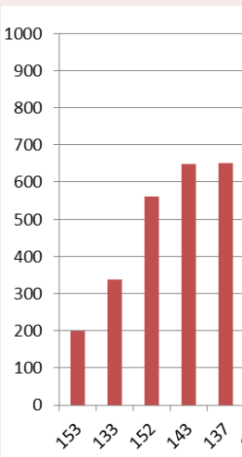


Gráfico 10. Valores más bajos de la señal aLF. (Elaboración propia)

- 143: Modelo ETSA, tono naranja, combinación.
- 137: Modelo ETSA, tono rojo, combinación.

Existen diferencias significativas en los valores aLF en cuanto al tono siendo los tonos verde (5GY) y amarillo (5Y) los que obtienen mejores resultados.



Figura 95. Aula con menor valor.  
(Elaboración propia)



Figura 96. Aula con mayor valor.  
(Elaboración propia)

## 6. CONCLUSIONES

Este estudio analiza el efecto del cromatismo de las paredes de un aula sobre los procesos cognitivos de sus usuarios. Los resultados sugieren que la modificación del color de las paredes de un espacio educativo genera cambios en el rendimiento del alumno medible mediante tareas psicológicas, además de en sus registros neurofisiológicos y cuestionarios autoevaluados.

Al estudiar los resultados de las tareas, se observa que existe una influencia del tono, pero sobre todo, de la saturación. En cuanto a la saturación, los colores con saturaciones bajas parecen fomentar la concentración, mientras que las saturaciones altas, la activación. En cuanto a los tonos, se aprecia una tendencia hacia los colores fríos pero depende de la capacidad cognitiva concreta (concentración o memoria).

En los datos neurofisiológicos se puede observar la influencia de la saturación, relacionándose valores altos de aLF y valores de la componente fásica de EDA con saturaciones altas. Esto se traduce en activación o estrés.

Se encuentra también que hay diferencias notables entre las preferencias y respuestas subjetivas y los resultados de las tareas desarrollada. Esto puede ser síntoma de que las respuestas de los participantes en los cuestionarios autoevaluados están ligadas a pensamientos o creencias predeterminados. Esto se puede observar, tanto en la contradicción del aula blanca, dominante en los cuestionarios autoevaluados pero no en las pruebas, como con el aula rosa, la peor en todas las valoraciones de autoevaluación pero con resultados diversos en las pruebas.

Las conclusiones del estudio pueden ser de interés para diseñadores y arquitectos de centros educativos interesados en optimizar el proceso de aprendizaje de sus usuarios.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M. Á., Fernández, Á., Díez, E., & Beato, M. S. (2004). Índices de producción de falso recuerdo y falso reconocimiento para 55 listas de palabras en castellano. *Psicothema*, 16(3), 357-362
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity* (2nd ed.). Newsbury Park, London, New Dehli: Springer Science & Business Media.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Filion, D. L. (2007). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 159–181). Cambridge, UK: University Press.
- Goldman, M. (1976). *Principles of clinical electrocardiography*. Los Altos, USA: LANGE.
- Higuera-Trujillo, J. L., López-Tarruella, J., & Llinares Millán, C. (2017). Psychological and physiological human responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360° Panoramas, and Virtual Reality. *Applied Ergonomics*, 65, 398–409.
- Kwallek, N., Lewis, C. M., Lin-Hsiao, J. W. D., & Woodson, H. (1996). Effects of Nine Monochromatic Office Interior Colors on Clerical Tasks and Worker Mood. *Journal of Colour Research and Application*, 21(6), 448 – 458
- Kwallek, N., Woodson, H., Lewis, C. M., & Sales, C. (1997). Impact of Three Interior Color Schemes on Worker Mood and Performance Relative to Individual Environmental Sensitivity. *Journal of Colour Research and Application*, 22(2), 121 – 132
- Kwallek, N., Soon, K., & Lewis, C. M. (2007). Work Week Productivity, Visual Complexity, and Individual Environmental Sensitivity in Three Offices of Different Color Interiors. *Journal of*

Colour Research and Application, 32(2), 130 - 143. doi:  
10.1002/col.20298

Malliani, A. (1999). The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain. *Physiology*, 14(3), 111–117.

Poels, K., & Dewitte, S. (2006). How to capture the heart? Reviewing 20 years of emotion measurement in advertising. *Journal of Advertising Research*, 46(1), 18–37

Reinerman-Jones, L., Sollins, B., Gallagher, S., & Janz, B. (2013). Neurophenomenology: an integrated approach to exploring awe and wonder. *South African Journal of Philosophy*, 32(4), 295–309.

Sas, C., & O'Hare, G. (2003). Presence equation: A investigation into cognitive factors underlying presence. *Presence (Cambridge, Mass)*, 12, 523—537

Schwarz, N., & Strack, F. (1999). Reports of subjective well-being: Judgmental processes and their methodological implications. *Well-Being: The Foundations of Hedonic Psychology*, 7, 61–84.

Seidman, Larry J.,Breiter, Hans C.,Goodman, Julie M.,Goldstein, Jill M.,Woodruff, Peter W. R.,O'Craven, Kathy,Savoy, Robert,Tsuang, Ming T.,Rosen, Bruce R. *Neuropsychology*, Vol 12(4), Oct 1998, 505-518

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

Stepienybarno. Guía rápida de neuroarquitectura. (Consulta 14-10-18) Sitio web:  
<http://www.stepienybarno.es/blog/2018/02/07/guia-rapida-de-neuroarquitectura-13/>

Vitalscan. Conductancia Electroquímica Del Sudor, Evaluación Sudomotora. (Consulta 14-10-18) Sitio web:  
[http://www.vitalscan.es/dtr\\_bioscan\\_sudomotor\\_sp.htm](http://www.vitalscan.es/dtr_bioscan_sudomotor_sp.htm)

Voltio. Realidad Virtual: un poco de historia. (Consulta 14-10-18)

Sitio web: <http://www.voltio.com/realidad-virtual-un-poco-de-historia-2008.html>

Mundo virtual. ¿Qué es la realidad virtual?. (Consulta 14-10-18)

Sitio web: <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>

Annaeugenibach. Mies missing materiality. (Consulta 14-10-18)

Sitio web: <https://annaeugenibach.com/2018/04/12/mies-missing-materiality/>

## 8.ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 3 y 2.** Pabellón alemán de Barcelona siendo intervenido y su aspecto final respectivamente en “Mies missing materiality”.  
(<https://annauegenibach.com/2018/04/12/mies-missing-materiality/>)

**Figura 3.** Participante equipado con los medidores fisiológicos.  
(Elaboración propia)

**Figura 4.** Participante con las gafas de realidad virtual.  
(Elaboración propia)

**Figura 5.** Estereoscopio de Charles Wheatstone.  
([https://fr.wikisource.org/wiki/Les\\_Merveilles\\_de\\_la\\_science/Le\\_St%C3%A9r%C3%A9oscope](https://fr.wikisource.org/wiki/Les_Merveilles_de_la_science/Le_St%C3%A9r%C3%A9oscope))

**Figura 6.** Cartel publicitario de Sensorama.  
(<http://proyectoidis.org/sensorama/>)

**Figura 7.** Ivan Sutherland con Ultimate Display.  
(<http://belasartes.uvigo.es/dx7/lapielbionica/?/obr/61>)

**Figura 8.** Realidad virtual utilizada en ensayos médicos.  
([http://www.seco.org/La-Realidad-Virtual-se-pone-al-servicio-de-la-medicina\\_es\\_1\\_13.html](http://www.seco.org/La-Realidad-Virtual-se-pone-al-servicio-de-la-medicina_es_1_13.html))

**Figura 9.** Ejemplo de atlas de color.  
(<http://www.archroma.com/news-releases/archroma-adds-to-color-atlas-with-new-portable-2-volume-set/>)

**Figura 10.** Cabina de luz para la observación de atlas de color.  
(<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2015/04/mejores-practicas-para-evaluar-visualmente-el-color-de-las-muestras/>)

**Figura 11.** Albert Munsell.  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Henry\\_Munsell](https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Henry_Munsell))

**Figura 12.** Sólido de color Munsell. (<https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-color-space-and-solid/>)

**Figura 13.** Ewald Hering.  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Ewald\\_Hering](https://es.wikipedia.org/wiki/Ewald_Hering))

**Figura 14.** Espacio de color NCS.  
(<https://lpurpura.wordpress.com/2011/05/03/modo-de-color/>)

**Figura 15.** Oficina utilizada en el estudio, en este caso, en su versión roja.

**Figura 16.** Ejemplo de color en el aula recomendado por el estudio.

**Figura 17.** Ejemplo de modelo físico tridimensional utilizado en las encuestas de color.

**Figura 18.** Paleta de colores seleccionada para aplicar a las aulas. De izquierda a derecha y por filas: 5GY 5/10, 5GY 5/4, 5PB 5/14, 5PB 5/8, 5P 5/12, 5P 5/6, 5BG 5/10, 5BG 5/4, 5R 5/16, 5R 5/10, 5RP 5/14, 5RP 5/8, 5YR 5/10, 5YR 5/4, 5Y 5/8 y 5Y 5/2.  
(Elaboración propia)

**Figura 19.** Paleta de colores obtenida de las imágenes de las aulas modelo ETSA. (Elaboración propia)

**Figura 20.** Paleta de colores obtenida de las imágenes de las aulas modelo ETSIE. (Elaboración propia)

**Figura 41.** Perspectiva cónica del aula real ETSA. (Elaboración propia)

**Figura 22.** Perspectiva cónica del aula ETSA versión base.  
(Elaboración propia)

**Figura 23.** Planta del aula base ETSA y situación del sujeto en esta durante las experiencias. (Elaboración propia)

**Figura 24, 25, 26, 27, 28, 29 30 y 31.** De izquierda a derecha y por filas, aulas ETSA pintadas de color: 5GY 5/10, 5PB 5/14, 5P 5/12, 5BG 5/10, 5R 5/16, 5RP 5/14, 5YR 5/10 y 5Y 5/8. (Elaboración propia)

**Figura 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39.** De izquierda a derecha y por filar, aulas ETSA pintadas de color: 5GY 5/4, 5PB 5/8, 5P 5/6, 5BG 5/4, 5R 5/10, 5RP 5/8, 5YR 5/4 y 5Y 5/2. (Elaboración propia)

**Figura 40, 41, 42, 43, 44, 45 46 y 47.** Aulas ETSA combinando las dos saturaciones de cada tono. (Elaboración propia)

**Figura 48.** Perspectiva cónica del aula real ETSIE. (Elaboración propia)

**Figura 49.** Perspectiva cónica del aula ETSIE versión base. (Elaboración propia)

**Figura 50.** Planta del aula base ETSIE y situación del sujeto en esta durante las experiencias. (Elaboración propia)

**Figura 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 y 59.** De izquierda a derecha y por filas, aulas ETSIE pintadas de color: 5GY 5/10, 5PB 5/14, 5P 5/12, 5BG 5/10, 5R 5/16, 5RP 5/14, 5YR 5/10 y 5Y 5/8. (Elaboración propia)

**Figura 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 y 67.** De izquierda a derecha y por filar, aulas ETSIE pintadas de color: 5GY 5/4, 5PB 5/8, 5P 5/6, 5BG 5/4, 5R 5/10, 5RP 5/8, 5YR 5/4 y 5Y 5/2. (Elaboración propia)

**Figura 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 y 75.** Aulas ETSIE combinando las dos saturaciones de cada tono. (Elaboración propia)

**Figura 76.** Señal EDA.  
([https://www.researchgate.net/publication/318709021\\_Emotion\\_Recognition\\_Involving\\_Physiological\\_and\\_Speech\\_Signals\\_A\\_Comprehensive\\_Review/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/318709021_Emotion_Recognition_Involving_Physiological_and_Speech_Signals_A_Comprehensive_Review/figures?lo=1))

**Figura 77.** Dispositivo Shimmer 3GSR+.  
(<http://www.shimmersensing.com/products/shimmer-biophysical-leads>)

**Figura 78.** Señal cardiaca.

([https://www.researchgate.net/publication/325170226\\_Heart\\_Rate\\_Variability\\_and\\_Accelerometry\\_as\\_classification\\_tools\\_for\\_monitoring\\_perceived\\_stress\\_levels\\_a\\_pilot\\_study\\_on\\_firefighters](https://www.researchgate.net/publication/325170226_Heart_Rate_Variability_and_Accelerometry_as_classification_tools_for_monitoring_perceived_stress_levels_a_pilot_study_on_firefighters))

**Figura 79.** Dispositivo b-Alertx10. (<https://imotions.com/b-alert-x10-eeg/>)

**Figura 80.** Gafas de realidad virtual HTC Vive.

(<https://www.kogan.com/au/buy/htc-vive-vr-headset-99hahz048-00-htc-006/>)

**Figura 81.** Aula mejor valorada. Autoevaluación de memoria.  
(Elaboración propia)

**Figura 82.** Aula peor valorada. Autoevaluación de memoria.  
(Elaboración propia)

**Figura 83.** Aula mejor valorada. Autoevaluación de atención.  
(Elaboración propia)

**Figura 84.** Aula peor valorada. Autoevaluación de atención.  
(Elaboración propia)

**Figura 85.** Aula mejor valorada. Autoevaluación de motivación.  
(Elaboración propia)

**Figura 86.** Aula peor valorada. Autoevaluación de motivación.  
(Elaboración propia)

**Figura 87.** Aula mejor valorada. Preferencia estética (Elaboración propia)

**Figura 88.** Aula peor valorada. Preferencia estética (Elaboración propia)

**Figura 89.** Aula con mejores puntuaciones. Tarea de memoria.  
(Elaboración propia)

**Figura 90.** Aula con peores puntuaciones. Tarea de memoria.  
(Elaboración propia)

**Figura 91.** Aula con mejores tiempos. Tarea de atención.  
(Elaboración propia)

**Figura 92.** Aula con peores tiempos. Tarea de atención.  
(Elaboración propia)

**Figura 93.** Aula con menor valor. Componente fásica de la señal.  
(Elaboración propia)

**Figura 94.** Aula con mayor valor. Componente fásica de la señal.  
(Elaboración propia)

**Figura 95.** Aula con menor valor. Valores aLF. (Elaboración propia)

**Figura 96.** Aula con mayor valor. Valores aLF. (Elaboración propia)



## 9. ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

**Gráfico 11.** Porcentajes sobre el género de los participantes.  
(Elaboración propia)

**Gráfico 12.** Niveles de presencia. (Elaboración propia)

**Gráfico 13.** Valores más altos en la autoevaluación sobre memoria. (Elaboración propia)

**Gráfico 14.** Valores más altos en la autoevaluación sobre atención.  
(Elaboración propia)

**Gráfico 15.** Valores más altos en la autoevaluación sobre motivación. (Elaboración propia)

**Gráfico 16.** Valores más altos en la evaluación estética de las aulas. (Elaboración propia)

**Gráfico 17.** Aulas donde se consiguieron mejores puntuaciones en la tarea de memoria. (Elaboración propia)

**Gráfico 18.** Aulas con mejor tiempo medio de reacción en las tareas de atención. (Elaboración propia)

**Gráfico 19.** Valores más bajos de la componente fásica.  
(Elaboración propia)

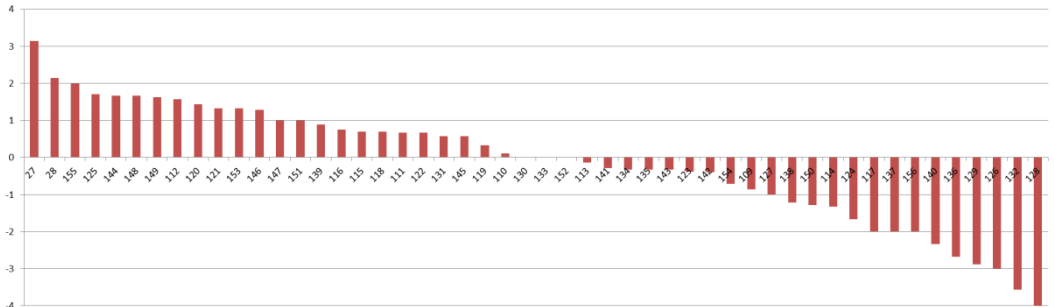
**Gráfico 20.** Valores más bajos de la señal aLF. (Elaboración propia)

**Tabla 2.** Estructura general de las pruebas. (Elaboración propia)



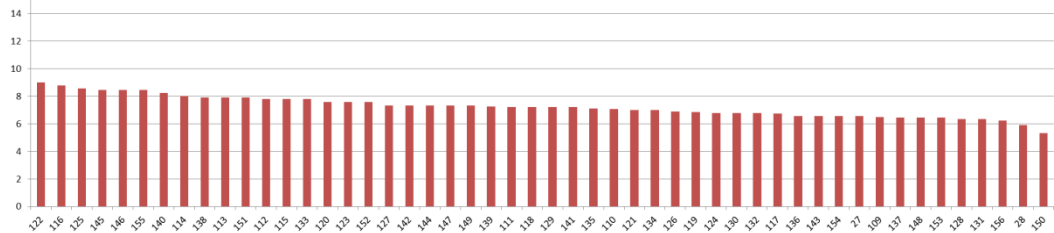
### -VALORACIÓN AMBIENTAL

Preferencia

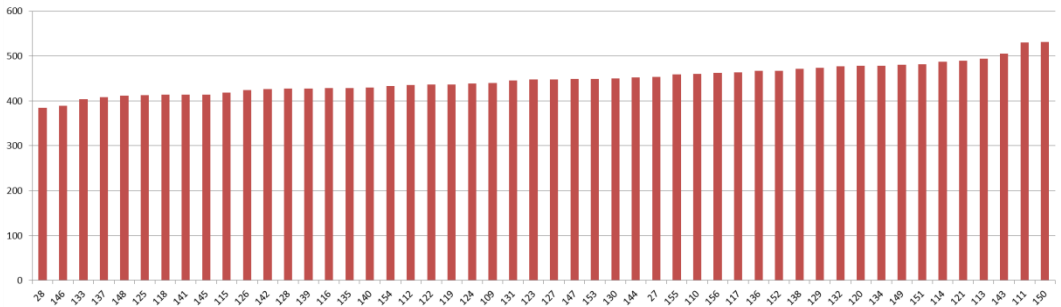


### -TAREAS

Aciertos Memoria

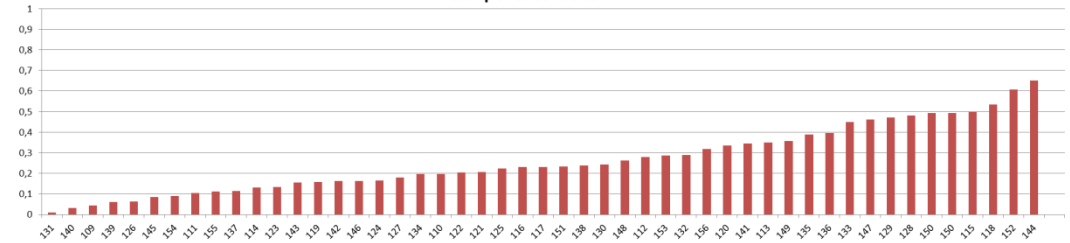


Tiempo medio aciertos atención

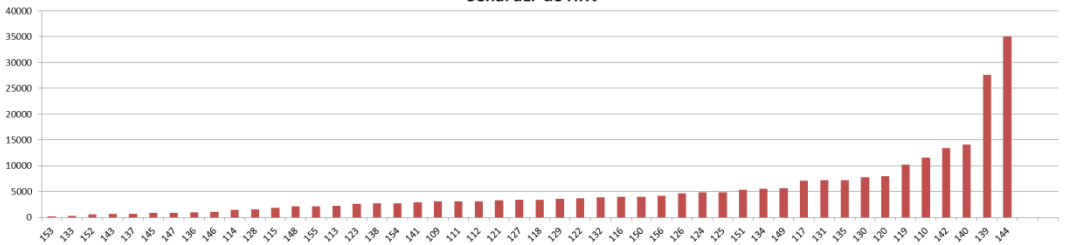


### -PRUEBAS FISIOLÓGICAS

Componente Fásica EDA



Señal aLF de HRV



### -IMÁGENES 360º UTILIZADAS



