

Carolina Barrios García

# Medición del rendimiento cognitivo en el aula. Comparación espacio real vs panorama 360°.

**Tutor:** Susana Iñarra Abad

**Cotutor:** Juan Luis Higuera Trujillo

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

**Medición del rendimiento cognitivo en el aula. Comparación espacio real vs panorama 360°**

Autor: Carolina Barrios García

Tutor: Susana Iñarra Abad

Cotutor: Juan Luis Higuera Trujillo

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Curso: 2020-2021

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

# RESUMEN

RESUM/ABSTRACT

## Medición del rendimiento cognitivo en el aula. Comparación espacio real vs panorama 360°

### RESUMEN

El espacio que nos rodea influye en el estado emocional de las personas, por ello ha sido objeto de estudio desde la psicología ambiental. Esto no es una excepción en el ámbito educativo, afectando al rendimiento de los estudiantes. Así mismo, la mayoría de estudios se realizan mediante espacios reales, impidiendo estudiar las variables de manera exhaustiva.

Una forma de solucionar este inconveniente es mediante simulaciones ambientales, siendo las más frecuentes las imágenes panorámicas de realidad virtual. Además, no existe una validación de estos sistemas en entornos docentes. Así, es posible modificar factores de diseño y ser más accesible. Además, hay estudios que sugieren que son válidos a nivel psicológico y fisiológico, aunque no existe una validación para el entorno docente.

Por ello, este trabajo trata de validar la herramienta de realidad virtual siendo de gran interés tanto para arquitectos como para diseñadores al incrementar el rendimiento de los estudiantes.

**Palabras clave:** Aula, procesos cognitivos, realidad virtual

Medición del rendimiento cognitivo en el aula:  
Comparación espacio real vs. panorama 360°

### RESUM

L'espai que ens envolta influeix en l'estat emocional de les persones, per això ha estat objecte d'estudi des de la psicologia ambiental. Això no és una excepció en l'àmbit educatiu, afectant el rendiment dels estudiants. Així mateix, la majoria d'estudis es realitzen mitjançant espais reals, impeding estudiar les variables de manera exhaustiva.

Una manera de solucionar aquest inconvenient és mitjançant simulacions ambientals, sent les més freqüents les imatges panoràmiques de realitat virtual. A més, no hi ha una validació d'aquests sistemes en entorns docents. Així, és possible modificar factors de disseny i ser més accessible. A més, hi ha estudis que suggereixen que són vàlids a nivell psicològic i fisiològic, encara que no existeix una validació per a l'entorn docent.

Per això, aquest treball tracta de validar l'eina de realitat virtual sent de gran interès tant per arquitectes com per a dissenyadors a l'incrementar el rendiment dels estudiants.

**Palabras clave:** Aula, processos cognitius, realitat virtual

### ABSTRACT

The space that surrounds us influences the emotional state of people, which is why it has been the object of study from environmental psychology. This is not an exception in the educational field, affecting student performance. Likewise, most of the studies are carried out using real spaces, making it impossible to study the variables exhaustively.

One way to solve this problem is through environmental simulations, the most frequent being panoramic virtual reality images. Furthermore, there is no validation of these systems in teaching settings. Thus, it is possible to modify design factors and be more accessible. In addition, there are studies that suggest that they are valid at a psychological and physiological level, although there is no validation for the teaching environment.

Therefore, this work tries to validate the virtual reality tool being of great interest to both architects and designers by increasing student performance.

**Palabras clave:** Classroom, cognitive processes, virtual reality

01	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
	Introducción	12
	Neuroarquitectura	14
	Enfoques de la neuroarquitectura	17
	Antecedentes	18
	Psicología ambiental	20
	Realidad virtual	23
	Realidad virtual a lo largo de la historia	24
	Antecedentes	28
	<i>Clever classroom</i>	29
	<i>The influence of colour on student emotion, heart rate and performance in learning environment</i>	32
	Objetivos	35
	Subobjetivos	
02	<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL</b>	
	Estudio experimental	38
	Material y métodos	38
	Participantes	39
	Estímulos	40
	Aula real	41
	Aula Virtual	41
	Respuesta del participante	42
	Tareas de rendimiento cognitivo	43
	Cuestionario psicométrico	46
	Desarrollo del experimento	50
	Fase 0	50
	Fase 1	51
Fase 2	51	
Fase 3	52	

03	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
	Resultados	56
	Tareas de rendimiento cognitivo	56
	Tarea de memoria	57
	Tarea de atención	58
	Cuestionarios psicométricos	59
	Sensación de presencia	59
	Autoevaluación cognitiva	59
Valoración del entorno	61	
04	<b>CONCLUSIONES</b>	
	Conclusiones	66
05	<b>BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICES</b>	
	Bibliografía	72
	Índice de figuras	76
	Índice de tablas	79

# 01

---

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

El espacio se conoce como el entorno en el que no solo vivimos sino como aquél con el que interaccionamos. De esta manera, es posible afirmar que influye en nuestra forma de vida y en nuestro estado emocional. Por ello, es función del arquitecto el de moldear dicho espacio para adecuarlo a las personas a las que está destinado.

# INTRO- DUCCIÓN

El espacio conforma el lugar en el que habitamos, influyendo en nuestra forma de vida. Es por esto por lo que es objeto de estudio entender como el entorno es capaz de afectar al individuo de forma individual, influyendo tanto en nuestro comportamiento como en nuestro desarrollo. Pongamos por caso el uso del color blanco en las salas de un hospital. Dicho color nos transmite una sensación de calma y tranquilidad, intentando erradicar la intranquilidad que puede provocar el propio lugar. Así podemos ver como el mismo espacio influye en el habitante, logrando que el color, en este caso, erradique esa alteración emocional que puede producir el espacio.

Como resultado, una de las principales relaciones que se establece en la arquitectura es entre el individuo y el propio espacio que lo rodea, siendo trabajo del arquitecto moldear dicho lugar para adecuarlo a la vida de los habitantes. Con ello, es necesario introducir el concepto de psicología ambiental, es decir, el estudio de dicha relación y la manera en la que interaccionan entre sí.

Por ello es necesario recalcar que, como el espacio influye completamente en las personas que lo habitan, es objeto de estudio el hecho de adecuar cada espacio tanto a su función como a los individuos que lo habitan y compartan. Todo esto se puede alegar mediante los antecedentes a este tipo de investigaciones y, además, también podemos incluir nuestra propia experiencia dentro de este ámbito.

Todo esto nos lleva a comprender que no es algo que se corresponda a espacios aislados exclusivamente, afectando de igual manera al entorno educativo, en este caso, donde el propio diseño del aula influye de una manera significativa en el desarrollo del rendimiento y del aprendizaje de los alumnos. Por lo tanto, ya que el espacio influye en el individuo, es posible modificarlo con la finalidad de mejorar estos aspectos de diseño. El espacio físico, como lo es un aula, es una de las maneras de entender todo el proceso educativo, por

lo que una de las opciones para incrementar este aumento del rendimiento es modificar y adecuar dichos espacios. (Figura 1)

Desde el campo de la psicología ambiental, se han realizados varios estudios empíricos para comprobar qué factores son los que influyen significativamente en el individuo, usando escenarios físicamente reales. Además, con los avances tecnológicos, estas investigaciones se trasladaron a las simulaciones ambientales, comprobando la

validez de las herramientas inmersivas como lo es la realidad virtual y las simulaciones 3D. De igual modo, se tienen en cuenta distintas variables de diseño como lo son la luz, la forma o el color.

Es por esto por lo que se entiende que uno de los objetivos de la presente investigación es el de comparar los resultados obtenidos, tanto en una simulación bajo tecnología inmersiva de realidad virtual como la realizada en un espacio físico real.



Figura 1. Incidencia de la luz y el color en el aula. Sergio Pirrome. Catch Light Classroom. CHS 2017. <https://andarquitectos.com/en/ficha-proyecto/catch-light-classrooms>

# NEUROARQUITECTURA

Cuando diseñamos un espacio, es necesario cuidar todos los aspectos posibles en lo que respecta al diseño ya que, como veremos a lo largo de todo el trabajo, el espacio influye notoriamente en aquel que lo habita. Nuestro entorno nos puede inducir sensaciones de calma, concentración o motivación, según la función que desempeñe ese entorno. (Figura 2) Estos conceptos previos han encontrado un fundamento científico en la neuroarquitectura ya que es capaz de evaluar estos factores que nos provocan distintas emociones producidas por el espacio.<sup>1</sup>

Para mejorar el desarrollo de las actividades diarias de un individuo, el espacio debe ir en sintonía con él. Este es el motivo de la aparición de esta nueva ciencia, la neuroarquitectura, que, dicho de otra manera, identifica los factores funcionales que debe

tener un espacio para favorecer la vida del habitante, donde puede abordar distintos aspectos como la percepción sensorial, la orientación, los recorridos, el espacio o el lugar.<sup>2</sup>

El entendimiento de estos principios anteriormente mencionados sirve como camino para mejorar el entorno físico con la finalidad de incrementar el rendimiento cognitivo e incluso la motivación de los estudiantes. Además, se está investigando esa forma de influir en los procesos cerebrales relacionados con el estrés, la emoción, la memoria o el aprendizaje.

Desde una primera instancia, parece que la neurociencia y la arquitectura no tienen una conexión directa entre ellas, aunque, como hemos mencionado



Figura 2. Imagen renderizada del uso del color en el sistema de aprendizaje. MASUNOESTUDIO. Concurso Colegio Proeduca. 2013. <https://www.masunostudio.com/proyecto/concurso-colegio-proeduca/>



Figura 3. Vista desde la habitación de un hospital. <https://www.marbellahospital.com/es/hospital.html>

anteriormente, los grandes avances en el campo de la neurociencia ha permitido que sea posible interpretar la manera en la que se analizan los espacios y cómo afectan fisiológica y psicológicamente a las personas. Por consiguiente, es necesario entender los conceptos que engloban la neurociencia, en su rama sobre la orientación y percepción espacial ya que es la que más relevancia presenta en el diseño del espacio.

En consecuencia, en la disciplina de la neuroarquitectura, se pretende conocer el funcionamiento del cerebro en situaciones específicas. Incluso se ha demostrado que una disposición espacial puede influir en la conducta humana significativamente.

Como comentaremos en el siguiente apartado, la neuroarquitectura es una ciencia relativamente nueva, es decir, los primeros estudios se datan sobre los años 50.<sup>1</sup> A partir de este momento, se han realizado numerosas

investigaciones para comprender cómo es posible mejorar los espacios con la finalidad de aumentar el rendimiento y el aprendizaje de sus habitantes desde el campo del diseño. A pesar de que, dentro de los márgenes de la aparición de la neurociencia, antiguamente no se poseía tecnología lo suficientemente potente como para lograr este avance. Es por eso que durante estos últimos años es cuando realmente se han obtenido grandes hallazgos en este campo científico.

Aunque el individuo no sea completamente consciente, mediante el diseño del espacio es posible mejorar la calidad de vida de las personas intentando recrear emociones y sensaciones en función del uso que se le dota a un espacio determinado. Además, es posible recrear estos efectos en ambientes hospitalarios con el objeto de disminuir los niveles de estrés o producir entornos calmantes para el usuario.<sup>1</sup> (Figura 3)

Es tanto lo que puede influir el entorno sobre el ser humano que incluso se pudo demostrar por parte del arquitecto Roger Ulrich que el predominio de una bella vista desde la ventana de la habitación de un hospital puede acelerar la recuperación de un paciente tras alguna intervención médica. Esto nos muestra una evidencia positiva sobre los efectos curativos en un entorno hospitalario.<sup>3</sup>

Esto demuestra que el espacio en el que habitamos, es de gran importancia debido a que en el interior de los edificios es donde pasamos la mayor parte de nuestras vidas, ya sea dentro de nuestra propia vivienda o en otro tipo de espacio cerrado como la universidad. Por ello, la Organización Mundial de la Salud, OMS, ha catalogado que una tercera parte de los edificios en los que habitamos están "enfermos",<sup>4</sup> es decir, es posible que afecten negativamente a los individuos que habitan en ellos llegando

al diagnóstico de enfermedades crónicas. (Figura 4) Por consiguiente, es gracias a la neuroarquitectura que una configuración espacial característica puede influir directamente en la conducta del ser humano.

De esta forma, es posible coincidir en las creencias de Richard Neutra, arquitecto, en que alega que la arquitectura debe estar al servicio de los usuarios, es decir, la arquitectura debe complacer las necesidades neurológicas de aquellos que lo habitan.<sup>5</sup>

Por otra parte, la pandemia ha tenido una gran influencia en el diseño de los espacios interiores ya que, como se ha mencionado anteriormente, nuestro entorno tiene una gran importancia sobre el individuo debido a que influye directamente en su estado emocional poniendo en evidencia la estrecha relación que existe entre el espacio y el bienestar de las personas.



Figura 4. Sede de Gas Natural considerado como un edificio enfermo. Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. Sede de Gas Natural. Barcelona. 2006. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/sede-de-gas-natural-en-barcelona/>

## ENFOQUES DE LA NEUROARQUITECTURA

Para entender el concepto de neuroarquitectura, es necesario indagar en los dos enfoques que nos podemos encontrar como lo son la neuroarquitectura experimental y la neuroarquitectura basada en la literatura científica, resultando ser algo diferente entre ellas.

Por una parte, la neuroarquitectura experimental<sup>6</sup> es aquella que se ha desarrollado en el campo de la investigación, siendo el estudio del presente trabajo una de las pioneras a nivel internacional. Para ejercer este tipo de experimentos es necesario poseer una infraestructura de gran envergadura, es decir, se requieren de unas instalaciones tecnológicas y científicas con características particulares. Actualmente, esta rama científica no es posible ejercerla en un estudio de arquitectura debido a la complejidad que representa el hecho de crear un proyecto arquitectónico basado en la neurociencia. Aunque, en un futuro, será posible dotar a los proyectos de este nuevo rumbo, consiguiendo adaptar los propios espacios a los requerimientos cognitivos y emocionales de aquel que habita un espacio.

Por otra parte, la neuroarquitectura puede estar basada en literatura científica<sup>6</sup>, es decir, sus cimientos parten de los resultados obtenidos gracias a los equipos de investigación científicos y a los artículos publicados. Estas conclusiones obtenidas de anteriores estudios pueden ser directamente aplicadas al campo del diseño arquitectónico. Esto significa que, durante estos últimos años, arquitectos y diseñadores son capaces de acceder a este tipo de información con la finalidad de poder aplicarlo a sus proyectos, adaptando los espacios a las necesidades cognitivas y emocionales de cada individuo particular en función de sus usos.

<sup>1</sup> Carla Aliño, 'Neuroarquitectura, La Ciencia Que Mide Las Emociones Que Generan Los Espacios | Sociedad | Edición Comunitat Valenciana | Agencia EFE', 2021 <<https://www.efe.com/efe/comunitat-valenciana/sociedad/neuroarquitectura-la-ciencia-que-mide-las-emociones-generan-los-espacios/50000880-4548883>> [accessed 23 July 2021].

<sup>2</sup> J. L. Higuera-Trujillo, C. Llinares, and E. Macagno, 'The Cognitive-Emotional Design and Study of Architectural Space: A Scoping Review of Neuroarchitecture and Its Precursor Approaches', *Sensors*, 21.6 (2021), 2193.

<sup>3</sup> Roger S Ulrich, 'Essay : Evidence-Based Health-Care Architecture', 2006, 38.

<sup>4</sup> 'TEMAS\_Neuroarquitectura | Healthy Architecture & City' <<http://grupo.us.es/hac/neuroarquitectura/>> [accessed 1 May 2021].

<sup>5</sup> Marta Sader, 'La Próxima Revolución Arquitectónica Está En TU CEREBRO | Architectural Digest España', 2019 <<https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/neuroarquitectura-la-proxima-revolucion-arquitectonica-esta-en-tu-cerebro/21975>> [accessed 23 July 2021].

<sup>6</sup> 'Cómo Nuestra Casa Influye En Nuestro Bienestar - IKEA' <<https://www.ikea.com/es/es/ideas/como-nuestra-casa-influye-en-nuestro-bienestar-puba733b4e0>> [accessed 23 July 2021].

## ANTECEDENTES

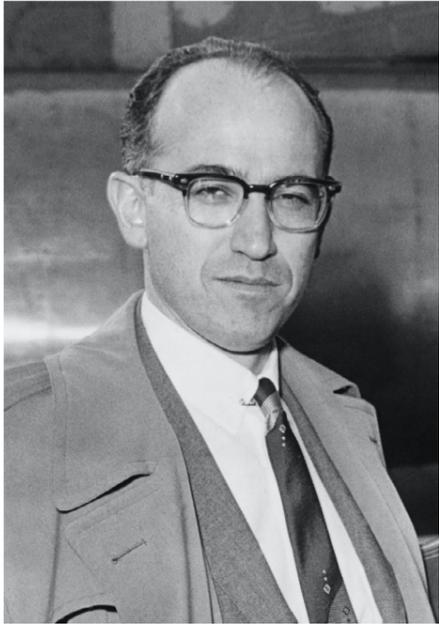


Figura 5. Jonas Salk. Hulton-Deutsch. 1914-1995. <https://www.biography.com/scientist/jonas-salk>

Para poder comprender a mayor escala este concepto, es necesario destacar la manera en la que nació la neuroarquitectura y cómo fue ampliando su significado a lo largo de la historia, llegando a convertirse en un aspecto de gran relevancia en ámbitos como la arquitectura y el diseño.

Los conceptos anteriormente mencionados fueron adelantados por Jonas Salk<sup>7</sup> (Figura 5), médico y virólogo, durante la década de los años 50, y fue quien desarrolló diversas investigaciones en las que le otorgaba gran importancia al espacio de trabajo durante el procedimiento creativo y del conocimiento. Además, colaboró con Louis Kahn en la construcción del *Salk Institute for Biological Studies* en San Diego, California, resultando ser un referente en el campo de la neuroarquitectura. (Figura 6) Es por esto por lo que vio una gran importancia en que, tanto los científicos como los arquitectos, trabajaran en conjunto para mejorar la calidad de los espacios, incitando a mejorar la capacidad creativa.<sup>8</sup>

Por otra parte, años más tarde, se dio a conocer que, a causa de una serie de experimentos de la mano de Fred Gage, neurobiólogo, se demostró que no se perdían neuronas, sino que estas volvían a nacer en la zona del cerebro dedicada a la toma y procesamiento de datos.<sup>9</sup> De manera que, durante la década de los años 90, Fred Gage demostró que los cambios en el espacio son capaces de influir en la modificación del cerebro del ser humano, afectando directamente al comportamiento humano.<sup>4</sup> Este gran hallazgo fue presentado en el *American Institute of Architecture*.

Fue entonces, a partir de estos descubrimientos, cuando la neuroarquitectura apareció como una disciplina independiente, creándose la *Academy of Neuroscience for Architecture*,<sup>9</sup> cuyo propósito es el de comprender de qué manera afecta el espacio, es decir, el entorno que habitamos, en el desarrollo diario del comportamiento del individuo.

<sup>7</sup> Analía Llorente, 'Qué Es La Neuroarquitectura y Cómo Puede Ayudarnos a Combatir El Estrés y Ser Más Creativos - BBC News Mundo', 2021 <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-56741621>> [accessed 8 July 2021].

<sup>8</sup> Esther M. Sternberg and Matthew A. Wilson, 'Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground', *Cell*, 127.2 (2006), 239-42 <<https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.10.012>>.

<sup>9</sup> Alison Whitelaw, 'Introducing ANFA, the Academy of Neuroscience for Architecture', <http://Dx.Doi.Org/10.1080/17508975.2013.818764>, 5 SUPPL1 (2013), 1-3 <<https://doi.org/10.1080/17508975.2013.818764>>.

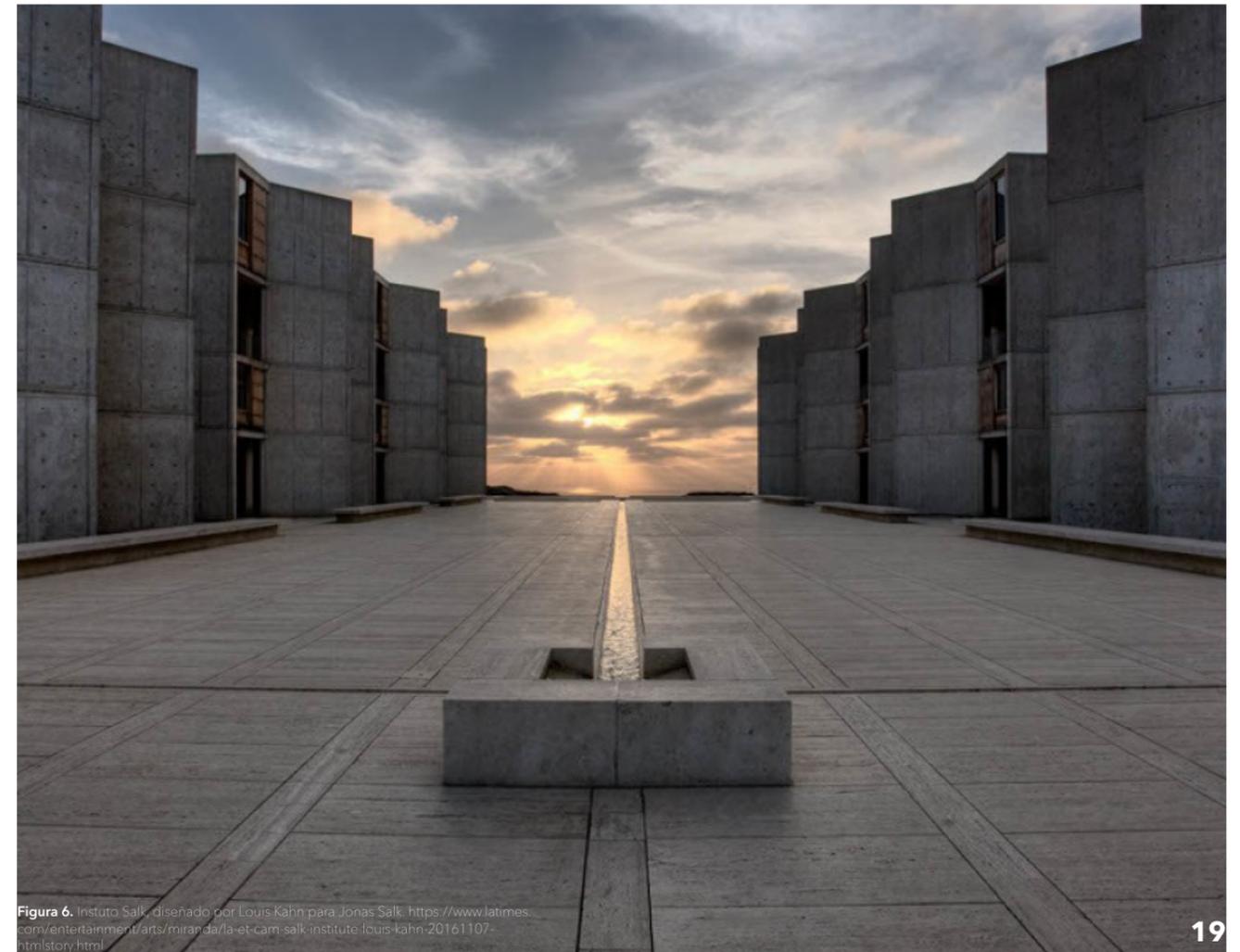


Figura 6. Instituto Salk, diseñado por Louis Kahn para Jonas Salk. <https://www.latimes.com/entertainment/arts/miranda/la-et-cam-salk-institute-louis-kahn-20161107-htmistory.html>

## PSICOLOGÍA AMBIENTAL

Desde un punto de vista tradicional, la psicología ambiental es algo que concierne directamente sobre el individuo y su desarrollo con el entorno ya que habitualmente, el ser humano siempre ha vivido en sintonía con el espacio en el que habita, buscando la manera de cubrir sus necesidades. De esta forma, el individuo intenta controlar el medio en el que vive con el objetivo de sobrevivir.

En primer lugar, cabe destacar que la psicología ambiental es una ciencia proveniente de la psicología. Por ello, es necesario establecer una definición completa de qué es la psicología en un ámbito global para poder conocer en profundidad los conceptos que se explicarán a continuación.

Según la RAE, Real Academia Española, la definición de psicología se rige por la siguiente aclaración, entre otras acepciones: "ciencia o estudio de la mente y de la conducta en personas o animales".<sup>10</sup> Así mismo, también engloba un campo enfocado en la arquitectura, desarrollándose en una rama conocida como la psicología ambiental y por ello, se va a explicar mediante un ejemplo de qué manera se incluye la arquitectura y el espacio dentro del campo de la psicología.

Para ilustrar esta nueva inclusión, veremos de una forma breve la teoría de la *Gestalt*, la cual se basaba en la percepción del espacio, introduciendo de esta forma la psicología en el campo arquitectónico. (Figura 7) Además, se estaba teniendo en

cuenta durante la creación del espacio aspectos como el aprendizaje, la memoria y otras actividades relacionadas con la psicología.<sup>11</sup> Por lo que uno de sus mayores hallazgos fue establecer unas leyes sobre la percepción dentro del propio espacio.

Para poder comprender lo que se explicará a continuación, es importante definir en primer lugar el concepto de psicología ambiental. Por lo tanto, entendemos hoy en día que la psicología ambiental es una herramienta clave para analizar, exponer y comprender las condiciones de confort y bienestar, buscando la conexión entre el habitante y su entorno.<sup>12</sup> También se entiende que es un aspecto mucho más amplio, conociéndola como el comportamiento resultante de la interacción entre individuo y medio.

De esta manera, a lo largo de los años, se han ido estableciendo distintas definiciones de estas doctrinas las cuales se irían completando con el paso del tiempo y según los hallazgos descubiertos.

A finales de la década de los 70, Proshansky, Ittelson y Rivlin establecieron la psicología ambiental como un estudio que implica la relación entre la conducta del ser humano con la de su entorno, definido por el propio individuo.<sup>13</sup> Unos años después, Altman interpretó que es una relación entre, no solo la conducta humana sino también su bienestar con el ambiente físico y social. En cambio, Canter la entiende como el ámbito



Figura 7. Leyes de la Gestalt aplicadas al diseño arquitectónico. Walt Disney Concert Hall. <https://revistailustres.com/r2/2018/07/05/el-diseño-arquitectónico-y-las-leyes-de-la-gestalt/>

de la psicología que engloba las relaciones humanas y sus acciones en un entorno físico. Siguiendo esta misma línea, en la década de los 90, Gifford<sup>13</sup> alega que la psicología ambiental contempla las transacciones humanas entre individuo y espacio. Ambos consideraron esa relación directa donde se hablaba de influencia por parte del ambiente físico en la conducta humana.

Una vez establecidas algunas de las definiciones que se han ido completando a lo largo de la historia, podemos entender cómo se ha ido formalizando la relación entre el individuo y el ser humano, afectando a su conducta.

Esto conlleva a que se haya fijado una fuerte relación entre la arquitectura y la psicología, es decir, una correlación entre el

conocimiento del arquitecto y la psicología, la cual ya estaba vigente en el pasado. Walter Gropius, fundador de la Escuela Alemana de la Bauhaus y pionero del Movimiento Moderno, contempla algunas referencias de carácter psicológico en muchos de sus escritos como lo es la psicología de la *Gestalt*, anteriormente comentado, u, otro ejemplo es el de Georg Simmel, sociólogo y psicólogo social, quien avanzó en la importancia de la psicología de la ciudad y en el desarrollo del ambiente junto a Willy Hellpach y Martha Muchow.<sup>14</sup>

Por el contrario, esta relación no siempre ha sido buena, es decir, han existido periodos de completo escepticismo por parte de los arquitectos frente a estas ciencias sociales ya que se alegaba a una pérdida de identidad en el campo arquitectónico.

<sup>10</sup> 'Psicología | Definición | Diccionario de La Lengua Española | RAE - ASALE' <<https://dle.rae.es/psicología>> [accessed 18 July 2021].

<sup>11</sup> Gilberto Leonardo Oviedo, 'La Definición Del Concepto de Percepción En Psicología Con Base En La Teoría Gestalt', *Revista de Estudios Sociales*, 18.1 (2004), 89-96.

<sup>12</sup> Gabriel Moser, 'La Psicología Ambiental En El Siglo 21: El Desafío Del Desarrollo Sustentable', *Revista de Psicología*, 12.2 (2003),

11-17 <<https://doi.org/10.5354/0719-0581.2003.17386>>.

<sup>13</sup> Pablo Páramo, 'Psicología Ambiental'.

<sup>14</sup> Juan Ignacio Aragonés and Florencio Jiménez Burillo, 'Introducción a la psicología ambiental', ed. by Juan Ignacio Aragonés and Florencio Jiménez Burillo, Alianza psicología (Madrid: Alianza, 1991).

La psicología ha servido de ayuda a la arquitectura para poder definirse a sí misma y a prever las consecuencias que conlleva el diseño del espacio. Aunque de manera inversa, la psicología puede englobar a la arquitectura como unos objetos sociales que definen tanto una manera de ser como de vivir, tal que delimitan a los seres humanos y sus conductas. De esta manera, la psicología puede trabajar en colaboración con la arquitectura en los ámbitos didácticos y comunicativos además de elaborar aspectos creativos.

Derivando de la psicología ambiental, han ido apareciendo nuevas formas de estudio como lo es el *Evidence Based Design*, EDB, en el que se analizan diversos factores del entorno para influir en el diseño. Este se basa en la focalización de los espacios y su influencia en los individuos para, finalmente, diseñar espacios que se adapten y mejoren las condiciones de habitabilidad. (Figura 8)

Con estos estudios es factible

demostrar que el ambiente influye claramente en nuestro estado anímico como el estrés o el cansancio, entre muchos otros aspectos. Además, se han realizado diversos experimentos en distintos campos, que se explicarán a continuación, que han ido demostrando cómo es posible que, desde el diseño de un espacio, se es capaz de influir en el comportamiento y rendimiento del individuo.

Como hemos comentado anteriormente, el espacio influye en las personas que lo habitan y eso no es algo aislado por lo que podemos afirmar que ocurre lo mismo en un ámbito educativo como pueden ser las aulas universitarias o las zonas de estudio de una biblioteca. Por lo tanto, es posible afirmar que existe una evidencia científica de que se produce un gran impacto significativo sobre el diseño de un aula en la mejora progresiva del aprendizaje y la motivación de los estudiantes en sus actividades académicas.



Figura 8. Aplicación del método de estudio EDB en el campo arquitectónico. <https://www.hfmmagazine.com/articles/2978-how-to-employ-evidence-based-design>

## REALIDAD VIRTUAL

A lo largo de los años, se han realizado diversas investigaciones en las que se han necesitado realizar modificaciones a un espacio real para poder desempeñar los distintos estudios. Actualmente, esto se ha podido suplir mediante las nuevas tecnologías, desarrollando la realidad virtual, pudiendo eliminar muchas de las barreras para ejercer estos experimentos.

Una de las principales preguntas de todos estos estudios es qué factores son los adecuados para el diseño de un aula con el objeto de incentivar una mejora en el rendimiento cognitivo de los alumnos. De esta forma, se han ido ampliando los límites tradicionales de la tecnología en el campo de la arquitectura con la inclusión de aspectos como la realidad virtual como herramienta de estudio para el diseño y adecuación de los espacios. (Figura 9)

La realidad virtual es una tecnología capaz de recrear espacios no reales con los que el individuo es apto para interactuar con ellos, consiguiendo que el sujeto reaccione de la misma forma que en un espacio físicamente real. De esta forma, la realidad virtual es capaz de sumergir al participante en un espacio recreado virtualmente.

Además, la realidad virtual ha llevado a cuestionar su validez frente a entornos reales, llegando a investigar distintas cuestiones como:

- ¿Sería posible el hecho de aceptar las simulaciones por ordenador como herramientas de representación válidas al igual que un espacio físicamente real?

- ¿Es posible que el tipo de animación y representación influya directamente en la presentación del espacio virtual?



Figura 9. Gafas de realidad virtual. <https://www.pexels.com/es-es/foto/adulto-dispositivo-futuro-entretenimiento-373905/>

- ¿Es posible que el entorno interactúe e influya en la valoración de la simulación?

Estas son algunas de las preguntas que se realizaron en la investigación por parte de Rohmann y Bishop para dotar a la simulación virtual de validez frente a un espacio físicamente real.<sup>15</sup> Todo esto llevó a que la realidad virtual tenga una validez y una aceptación frente al espacio real, es decir, se ha hallado esa justificación para poder emplear dicha tecnología en el estudio del comportamiento humano, o, en este caso, el estudio de parámetros del diseño para mejorar los espacios con la finalidad de aumentar el rendimiento académico.

Por otra parte, la realidad virtual nos permite recrear no solo los espacios físicos, sino además poder modificarlos en función de las variables necesarias para el estudio, es decir, podemos tener tantos escenarios como se necesiten con las modificaciones necesarias para su posterior estudio. Por lo tanto, se puede afirmar que es una herramienta completamente viable en el estudio del diseño del propio espacio, como en este caso, las aulas universitarias en un entorno educativo, en otras palabras, en el estudio del diseño del propio espacio, como

trata este estudio, las aulas universitarias en un entorno educativo.

En un ámbito de la investigación, en este caso sobre el comportamiento humano, se ha validado la capacidad de evocar una respuesta en el usuario similar a la producida en un entorno real mediante tecnologías de simulación inmersivas, utilizando de esta forma la realidad virtual como herramienta

## REALIDAD VIRTUAL A LO LARGO DE LA HISTORIA



Figura 10. Estereoscopio. <https://www.antiguedadestecnicas.com/productos/B-218.php>

para lograr que el usuario se sumerja en el espacio.

A continuación, se procederá a comentar la realidad virtual desde su nacimiento hasta el empleo de dicha tecnología como herramienta de estudio en diversas investigaciones a lo largo del tiempo.

<sup>15</sup> B. Rohrmann and I. Bishop, 'Subjective Responses to Computer Simulations of Urban Environments', *Journal of Environmental Psychology*, 22.4 (2002), 319-31 <<https://doi.org/10.1006/jev.2001.0206>>

Uno de los primeros avances en la tecnología de la realidad virtual fue el invento de Charles Wheatstone, denominado estereoscopio, creado en 1840. (Figura 10) El objetivo de dicho aparato óptico es el de crear una ilusión de profundidad de imagen, es decir, se visualizan dos imágenes prácticamente idénticas que, al ser observadas por cada ojo de una manera independiente, el cerebro las une en una sola, produciendo una sensación de profundidad.

El estereoscopio está formado por cuatro espejos localizados de forma que la imagen se perciba mediante reflexión, produciéndose una visión ortogonal. Este instrumento se ha empleado en distintos estudios científicos con el objeto de facilitar una visión tridimensional, consiguiendo percibir las tres dimensiones. De esta forma, se conforman los primeros instrumentos para el diseño de los visores de realidad virtual.

Años más tarde, a finales de los años 20, Edwin Albert Link creó un simulador de vuelo llamado *Blue Box* en el que se simulaban situaciones de movimiento del vuelo.

Pocos años más tarde, William Gruber inventó un nuevo sistema similar al empleado por Wheatstone conocido como *View-Master*. La innovación utilizada en este invento fue la de emplear una película fotográfica a color. Dicho aparato consiste en 14 imágenes que van girando donde 7 de ellas son estereoscópicas, resultando 2 imágenes vistas una por cada ojo de forma simultánea, creando esa sensación de

profundidad en la percepción binocular que origina el estereoscopio.

Entrados en los años 50, apareció una máquina conocida como *Sensorama*, creada por Morton Heiling. (Figura 11) Este aparato es conocido como una de las primeras máquinas de inmersión multisensorial, es decir, este aparato abarcaba completamente todos los sentidos del ser humano.

Dicho aparato consistió en una cabina que tenía por finalidad estimular los sentidos mediante una combinación de tecnologías que incorporaban la visualización de imágenes estereoscópicas, una visión amplia y sonido estéreo real. El *Sensorama* consiguió ayudar a asentar las bases de la realidad virtual tal y como se conocen hoy en día.

A finales de la década de los 60, Ivan Sutherland creó un dispositivo de realidad virtual ubicado en la cabeza del individuo, es decir, esto permitía el seguimiento del movimiento de la cabeza y el cambio de perspectiva del usuario. De esta forma, consiguió desarrollar el primer sistema HMD completamente funcional. Dicho invento consistía en un casco sujeto a un ordenador de tamaño considerable que, debido a sus dimensiones, colgaba del techo por lo que se le denominó *La Espada de Damocles*, referenciando al mito griego en el que la espada colgaba del techo. (Figura 12)

Todo esto conllevó a un gran avance en la tecnología de la realidad virtual. Además de asentar las bases de la realidad aumentada, Sutherland logró que las imágenes se superpusieran sobre un fondo completamente real.

Entrados en los años 80, mediante la tecnología de la realidad virtual, Thomas Furness desarrolló un simulador de vuelo denominado *Super Cockpit*. Dicho aparato permitía tener el control de un avión



Figura 11. Sensorama. [https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-virtual-reality-system\\_fig1\\_220474975](https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-virtual-reality-system_fig1_220474975)

mediante gestos, palabras o movimientos oculares por parte del piloto de prueba. Por otra parte, el aparato proyectaba imágenes tridimensionales e infrarrojas.

Pocos años más tarde, en 1986, la NASA presentó uno de los primeros prototipos de gafas de realidad virtual llamado *VIVED*. Dicho aparato contenía un campo de visión de 120° en cada uno de los ojos debido a la presencia de dos pantallas. Uno de los avances que presentaba este invento fue el control por voz y el sistema de reconocimiento de gestos por guantes, conteniendo un traje con sensores para captar estos movimientos.

Años después, SEGA fue una de las primeras compañías en lanzar un dispositivo de realidad virtual cuyo cliente era el propio consumidor convencional. Este aparato incorporaba pantallas LCD, auriculares estéreo y sensores que detectaban los movimientos

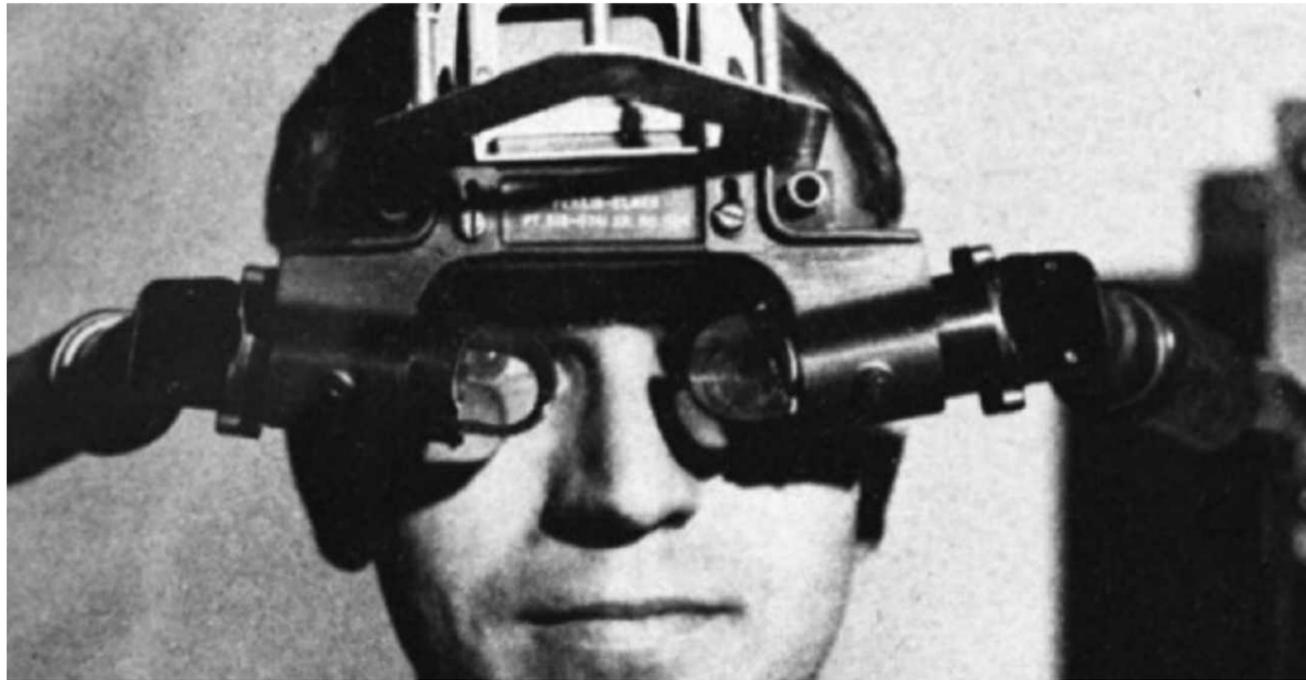


Figura 12. La espada de Damocles, el primer sistema de realidad virtual. Ivan Sutherland. <https://mixer.com/index.php/2021/02/10/ivan-sutherland-realidad-virtual/>

de la cabeza del individuo, consiguiendo una inmersión lo más realista posible para la época en la que se encontraban.

Alapar, NINTENDO también desarrolló otro dispositivo con las mismas características aunque que logró salir al mercado, *Virtual Boy*. Dichas lentes se componían además de un proyector que lanzaba imágenes 3D en tonos rojos y negros.

Finalmente, en 2012, se dio a conocer la realidad virtual como la conocemos hoy en día, de la mano de *Oculus Rift*. Este aparato fue desarrollado por la empresa *Palmer Luckey*, el cual consiguió un ángulo de visión de 90°. Dicho invento tuvo tanto éxito, que *Facebook* acabó comprando la compañía.

Todos estos antecedentes llevaron a lo que ahora conocemos como realidad virtual en la actualidad. Los avances tecnológicos permitieron que las empresas

dispongan de dicha tecnología con la que se ha conseguido una inmersión completa por parte del usuario. De esta forma, las grandes compañías pretenden hacerse con el liderazgo en este campo, teniendo tantos modelos como lo son *Oculus Rift*, *HTC VIVE*, *Playstation VR*, entre muchos otros, siendo el campo de los videojuegos el que más empeño ha demostrado. (Figura 13)

Todos estos avances han conseguido que esta tecnología no solo se quede en el mundo de los videojuegos, sino que se expanda a otros ámbitos como la arquitectura y el diseño, es decir, se están empleando métodos de realidad virtual y aumentada para sumir al cliente en una experiencia 3D en la que se vea inmerso en el proyecto sin necesidad de construirlo. Por otra parte, también se ha empleado dicha tecnología en el campo de la medicina para ensayos previos de operaciones quirúrgicas.



Figura 13. Gafas de realidad virtual HTC VIVE. <https://www.pexels.com/es-es/foto/ciudad-hombre-gente-calle-8608229/>

# ANTE- CEDENTES

Estableciendo una media, sabemos que un alumno universitario pasa alrededor de 5 o 6 horas diarias en el interior de un aula o en el interior de un entorno de estudio, por lo menos 4 años de su vida. Dicho lugar es un espacio que, al pasar tantas horas dentro de él, va a influir directamente en el alumno, tanto emocionalmente como en su conducta, es decir, tendrá un gran peso sobre el aprendizaje, la memoria o la atención. Debido a ello, es necesario establecer esta interrelación como objeto de estudio, con la finalidad de incentivar la mejora del rendimiento y aprendizaje del alumno.

Esta realidad fue expuesta por la *UPF Barcelona School of Management*,<sup>16</sup> resultando ser la misma que se obtuvo por parte de la Universidad de Salford, en la que se afirmaba que las condiciones ambientales en un aula son aptas para influir en la calidad y nivel de aprendizaje y que es posible mejorar el rendimiento de los alumnos.<sup>17</sup>

De esta manera, se van a comentar dos estudios de gran relevancia en el campo de la neuroarquitectura ya que en ellos se engloban tanto aspectos globales como trata el estudio *Clever Classroom*, como factores concretos como el color, el cual podemos ver perfectamente en *The Influence of Color on Student Emotion, Heart Rate and Performance in Learning Environments*.

<sup>16</sup> '¿Puede El Diseño de Un Aula Mejorar El Rendimiento de Los Estudiantes? | UPF-BSM', 2017 <<https://www.bsm.upf.edu/es/noticias/nuevos-espacios-educativos-educacion-superior>> [accessed 1 May 2021].

<sup>17</sup> Peter Barrett and others, 'The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects', *Environment and Behavior*, 49.4 (2017), 425-51.

# CLEVER CLASSROOM

en el progreso general del alumnado de un 16%.<sup>18</sup> Además, esta fue la primera vez que se ha hallado una evidencia de que el diseño del espacio físico produzca algún efecto sobre el aprendizaje en un ámbito de la vida real.

Esto nos lleva a pensar que se debe prestar considerable atención al diseño del aula, es decir, el diseño del aula es posible considerarlo como parte activa de la facilitación del proceso de aprendizaje del alumno. (Figura 15) Esta investigación ha permitido un gran avance en una cuestión general para establecer la evidencia del impacto que ejerce el espacio en las personas. Además, estos hallazgos llevan a comprender mejor las características óptimas de otro tipo de edificios en el que se realicen actividades distintas al entorno educativo.

Será necesario que cualquier

Este estudio analizó el comportamiento de 3.766 alumnos de una edad comprendida entre los 5 y los 11 años de tres centros educativos pertenecientes al país anglosajón. (Figura 14) De esta manera, el núcleo de la investigación es el individuo, a lo que se le intercalan factores ambientales no construidos como lo es el profesorado y las características construidas, es decir, su entorno. Por otra parte, para medir el rendimiento, principalmente se basó en el progreso académico de los alumnos sujetos a la investigación, teniendo en cuenta sus calificaciones iniciales y sus calificaciones finales.

Uno de los hallazgos fundamentales de la investigación fue que las características físicas del aula influían en el progreso del aprendizaje de los alumnos en los campos evaluados como lo son la lectura, la escritura y las matemáticas. Esto produjo una variación



Figura 14. Aulas en su estado real, antes de ser sometidas a un estudio de Salford, Manchester. <https://www.detail.de/artikel/>

diseñador o profesor tome los hallazgos y los adapte a la situación a la que se va a enfrentar. Sin duda, habrá muchos otros factores en competencia que se deben tener en cuenta, pero se espera que las cuestiones que se destacan en este estudio no se excluyan inadvertidamente. Además, habrá formas de abordar los principios detrás de los factores óptimos que no se encuentran en esta muestra, pero que sin duda desarrollarán los diseñadores creativos y los profesores. (Figura 16)

Analizando alguno de los elementos independientemente, es posible comprobar como el diseño puede influir en las personas que están habitando el espacio. En el caso de la luz natural, ayuda a crear un ambiente

de bienestar físico y psicológico, generando grandes beneficios para las personas debido a que la luz natural es más difusa que la artificial, además de su valor y color el cual va variando a lo largo del día.<sup>18</sup>

Por otra parte, también podemos analizar el sonido ya que este también es un factor fundamental en el diseño de un aula. Dicha investigación muestra la posibilidad de proporcionar unas condiciones ideales no solo para la recepción de sonidos sino además para su producción. El control del ruido de fondo ayuda gratamente a mejorar la comunicación en el interior del espacio, promoviendo la eficiencia en el trabajo y el aprendizaje de los alumnos. Finalmente, el sonido es un factor fundamental para

estudiar el rendimiento académico y psicosocial de los alumnos.<sup>19</sup>

En el entorno educativo, cuando introducimos el concepto del color, se pueden entender desde dos perspectivas: una cuestión de preferencia o desde la funcionalidad. En este caso, este aspecto se centra en emplear el color con una finalidad funcional centrada en obtener una mayor capacidad de atención para aumentar el rendimiento de los alumnos, llegando a influir en el estado de ánimo de los participantes. De esta forma, se llega a la conclusión de que un espacio coloreado tiene un impacto significativo en el aprendizaje de los alumnos, independientemente de que los niños, que fueron objeto de estudio, tengan mayores preferencias por los colores brillantes.<sup>20</sup>

Estos factores, entre muchos otros no mencionados, permitieron un avance en el ámbito académico y del diseño, es decir, se consiguió estudiar la manera de optimizar el aprendizaje del aula, resultando ser una parte activa en el proceso del aprendizaje de los alumnos.

Finalmente, se debe mencionar que este estudio se realizó basando sus datos tanto en escuelas como alumnos procedentes de Inglaterra, es decir, está condicionado a aspectos geográficos y culturales del país anglosajón. En caso de que se pretenda aplicar dichos hallazgos en algún ámbito distinto, se deben tener en cuenta las anteriores disparidades. Además, esta investigación se ha centrado en unas métricas marcadas en el progreso del aprendizaje, es decir, existen objetivos que no se han abordado dentro de este proyecto.

Se ha conseguido un gran avance en la cuestión de establecer una evidencia de la

Significant Factors

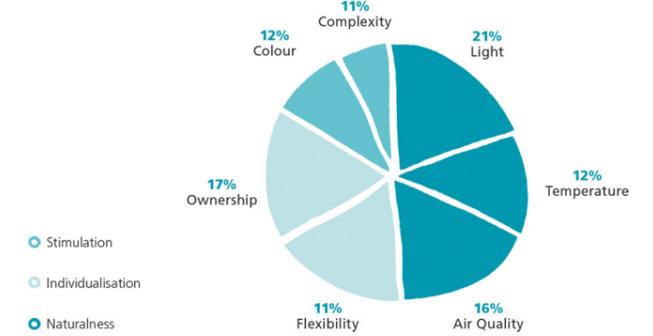


Figura 16. Criterios de diseño espacial y su influencia en el nivel de aprendizaje. Universidad de Salford, Manchester. <https://www.detail.de/artikel/clever-classrooms-32820/>

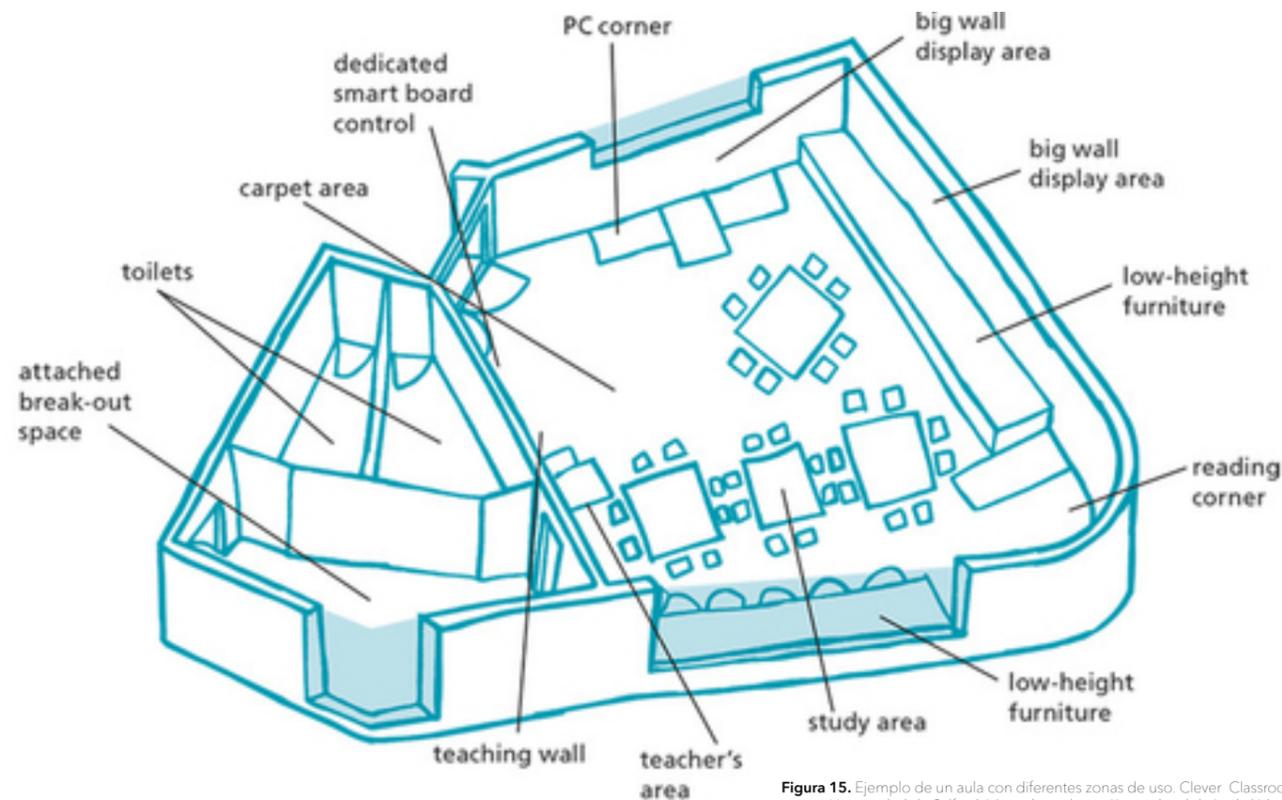


Figura 15. Ejemplo de un aula con diferentes zonas de uso. Clever Classroom. Universidad de Salford, Manchester. <https://www.detail.de/artikel/clever-classrooms-32820/>

influencia del espacio sobre las personas de una forma integral, siendo una investigación muy valiosa en el ámbito educativo, sobre todo en las escuelas primarias. De esta forma, es legítimo que este nuevo enfoque ayude a entender mejor cuáles son las particularidades óptimas del edificio contenedor.

<sup>18</sup> Peter Barrett, Yufan Zhang, and others, Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project, 2015 <<http://www.salford.ac.uk/cleverclassrooms>>

<sup>19</sup> Carl C. Crandell and Joseph J. Smaldino, 'Classroom Acoustics for Children with Normal Hearing and with Hearing Impairment', Language, Speech, and Hearing Services in Schools, 31.4 (2000), 362-70 <<https://doi.org/10.1044/0161-1461.3104.362>>

<sup>20</sup> C. Linares, J. L. Higuera-Trujillo, and J. Serra, 'Cold and Warm Coloured Classrooms. Effects on Students' Attention and Memory Measured through Psychological and Neurophysiological Responses.', Building and Environment, 196.107726 (2021).

## THE INFLUENCE OF COLOUR ON STUDENT EMOTION, HEART RATE AND PERFORMANCE IN LEARNING ENVIRONMENTS

El enfoque de la educación está cambiando debido a que los alumnos han ido evolucionando según sus capacidades. En el caso de estudiantes universitarios, preferimos estudiar en un espacio individual al requerir un alto nivel de concentración por tratarse de tareas más complejas que en el caso anterior. De esta manera, los factores esenciales como la luz, el color o el espacio consiguen enriquecer el ambiente de aprendizaje, teniendo una gran influencia en los estudiantes, incluso contribuyendo en su rendimiento.

En este caso, se trata de un estudio sobre la influencia del color en las aulas informáticas de los estudiantes universitarios. En dicho aspecto, los estudios sobre el color en el campo del diseño no se han concretado en el ámbito educativo, quedándose en lo residencial, laboral o comercial.

Siempre se nos ha dicho que los colores fríos son más relajantes mientras que los colores cálidos, al contrario, son estimulantes. Estos hallazgos vienen de la mano de los estudios de Hamed y Newport<sup>21</sup> que encontraron que el color influía en la fuerza de los niños. Por otra parte, también se ha demostrado que el color puede influir directamente en las emociones y el rendimiento por parte de Kwallek y Lewis,<sup>22</sup> quienes realizaron un estudio en el que los efectos de los colores influían en la productividad de los individuos en un periodo corto de tiempo.

También se ha llegado a la conclusión de que el entorno de estudio, que sea un espacio privado o un lugar diáfano; el color ambiental, es decir, el color predominante en el entorno, y el material de estudio tiene grandes efectos sobre el estado de ánimo, la satisfacción y motivación, además del rendimiento como nos muestra el

estudio de Stone.<sup>23</sup>

Por otra parte, el color también puede afectar al individuo en su estado emocional y fisiológico como señalaron Clarke y Costall,<sup>24</sup> alegando que existen colores catalogados como cómodos y relajantes, es decir, que son capaces de reducir el nivel de ansiedad del individuo. Al igual que existen colores cálidos que conocemos como estimulantes, los cuales estimulan los sentimientos humanos. En una escala intermedia, también existen colores intermedios que tienen menos impacto psicológico sobre el ser humano.<sup>24</sup> Además, hay evidencias de que existe una relación entre la emoción y el desempeño del individuo, según Kuschel, Forster y Denzler, tendiendo a una mejora de la capacidad resolutive.<sup>25</sup>

Hay estudios en los que se muestran cambios significativos en la frecuencia

cardíaca, es decir, tanto la luz como el color son capaces de afectar a la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la temperatura corporal y la visión.<sup>22</sup> Las investigaciones precedidas por Abbas, Kumar y Mclachlan<sup>26</sup> muestran como algunos colores como el rojo son estimulantes para las personas mientras que otros colores son calmantes.<sup>27</sup> En caso contrario, estudios realizados por Caldwell y Jones<sup>28</sup> nos muestran lo contrario, que no hay efectos en ninguno de los factores anteriormente mencionados. Estas contradicciones pueden llevarnos a entender que el tiempo de exposición del individuo es el factor detonante,<sup>24</sup> es decir, un tiempo de exposición corto no producirá efectos sobre el sujeto por lo que, para que se produzcan cambios significativos, el individuo debe adaptarse a las condiciones. (Figura 17)



Figura 17. La posición de los colores del estudio en los triángulos NCS. Swedish Standards Institute. Stockholm. 2004. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/col.21949>



Figura 18. Sala donde se realizaban las pruebas. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/col.21949>

Precedido por los anteriores estudios, *The Influence of Colour on Student Emotion, Heart Rate, and Performance in Learning Environments*,<sup>22</sup> tiene como objetivo examinar el rendimiento del aprendizaje en función del impacto de los colores, teniendo en cuenta la frecuencia cardíaca y las emociones. A partir de las investigaciones anteriores, se tuvo en cuenta que los colores como el azul y el amarillo eran colores adecuados para ámbitos educativos y se utilizaron como base. Por lo tanto, este estudio examinó qué colores eran adecuados, evaluando su impacto en el rendimiento del aprendizaje.<sup>22</sup>

Su objetivo fue investigar qué efectos producían los distintos colores en los estudiantes universitarios, además de su influencia en su aprendizaje, las emociones y la frecuencia cardíaca en las zonas de estudio

individual de las bibliotecas. (Figura 18)

Dicha investigación alegó que el color sí afectaba en los factores anteriormente mencionados, es decir, el tono y la blancura tuvieron un efecto significativo en las emociones de los participantes, clasificando a los colores pálidos como calmantes, resultando el azul y el amarillo positivos para los individuos.<sup>22</sup> Además, podemos desglosar la blancura y el tono. Por una parte, la blancura afectó significativamente al aprendizaje ya que se obtuvieron mejores resultados con colores vivos. Por otra parte, el tono influyó directamente en el tono, aumentando con colores cálidos como el rojo o el amarillo, contrario a los colores azulados. Esto significa que los colores tuvieron efectos fisiológicos y emocionales, facilitando el aprendizaje.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Hamid PN and Newport AG., 'Effect of Color on Physical Strength and Mood in Children', *Perceptual Motor Skills*, 69 (1989), 179-85.

<sup>22</sup> Aseel Al-Ayash and others, 'The Influence of Color on Student Emotion, Heart Rate, and Performance in Learning Environments', *Color Research and Application*, 41.2 (2016), 196-205 <<https://doi.org/10.1002/col.21949>>.

<sup>23</sup> Stone NJ, 'Designing Effective Study Environments', *J Environ Psycho*, 21 (2001), 179-90.

<sup>24</sup> Tom Clarke and Alan Costall, 'The Emotional Connotations of Color: A Qualitative Investigation', *Color Research and Application*, 33.5 (2008), 406-10 <<https://doi.org/10.1002/COL.20435>>

<sup>25</sup> Jennifer Olsen, 'The Effect of Color on Conscious and Unconscious Cognition', *Dietrich College Honors Theses*, 2010,

1-30 <<http://repository.cmu.edu/hsshonors/72/>>.

<sup>26</sup> Abbas N, Kumar D, and Mclachlan N, 'The Psychological and Physiological Effects of Light and Colour on Space Users', in *27th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006.

<sup>27</sup> Nadeen Abbas, Dinesh Kumar, and Neil Mclachlan, 'Measuring the Emotional and Physiological Effects of Light and Colour on Space Users' <<https://doi.org/10.5220/0001194200780086>>.

<sup>28</sup> John A Caldwell and Gary E Jones, 'The Effects of Exposure to Red and Blue Light on Physiological Indices and Time Estimation', *Http://Dx.Doi.Org/10.1068/P140019*, 14.1 (2016), 19-29 <<https://doi.org/10.1068/P140019>>.

## OBJETIVOS

El objeto principal del presente estudio es el de validar el panorama de 360° en HMD en el estudio de las capacidades cognitivas en el ámbito educativo. De esta forma, se hará uso de la tecnología de la realidad virtual como una herramienta para crear espacios a partir de simulaciones de carácter inmersivo para idear un aula representativa y sus distintas variantes.

Así se consigue evocar el estudio de los factores que pueden influir en el diseño para provocar el aumento del rendimiento del aprendizaje del alumnado, siendo estos la luz, la forma y el color. Además, este estudio pretende evaluar tres aspectos fundamentales en un entorno educativo como lo son la memoria, la atención y la motivación.

La intención del presente estudio es la de establecer unas diferencias significativas en función de la naturaleza del aula estudiada. Esta relación se realizó para analizar el rendimiento tanto de memoria como de atención.

## SUBOBJETIVOS

Como parte del presente estudio, es posible esclarecer distintos objetivos más concretos como lo son los siguientes:

- Cuantificar la sensación de presencia generada por simulaciones de aulas mediante panoramas 360° mostrados mediante tecnología HMD.

- Comparar las respuestas producidas en entornos virtuales con las respuestas de las tareas psicológicas producidas en entornos físicos.

- Comparar las respuestas producidas por la valoración psicométrica producida por el participante en función de si se encuentra en un aula real o en una virtual.

Estos objetivos están englobados dentro de un mismo objetivo general, explicado en el apartado anterior. Además, se pretende analizar estos objetivos anteriormente mencionados dentro de un contexto educativo.

Anterior a esta investigación, no se había realizado ningún tipo de validación con esta tecnología de simulación inmersiva como herramienta de estudio para el caso concreto del estudio de los efectos cognitivos y emocionales en un ámbito educativo como lo es un aula.

---

**CAPÍTULO 2: ESTUDIO EXPERIMENTAL**

Anterior a esta investigación, no se había realizado ningún tipo de validación con esta tecnología de simulación inmersiva como herramienta de estudio para el caso concreto del estudio de los efectos cognitivos y emocionales en un ámbito educativo como lo es un aula.

# ESTUDIO EXPERIMENTAL

Durante el proyecto, se ha llevado a cabo una fase experimental donde se pretende validar los objetivos anteriormente expuestos. En dicha etapa, los participantes realizaban unas tareas de atención y de memoria mientras visualizaban un aula universitaria mediante unas gafas de realidad virtual. Al finalizar las pruebas, se completaban unos formularios *self-report*. Esto se realizó de forma análoga con el espacio físico real, de manera que fuera posible comparar los resultados obtenidos en el espacio virtual con el espacio físico. (Figura 19)

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio forma parte de otro de mayor envergadura donde se cuestionan las aulas tanto a nivel formal como a nivel de iluminación y color. Ese proyecto de investigación lleva por título *"Smart Classroom: El diseño del aula para potenciar los procesos cognitivos del alumnado: una propuesta metodológica para evaluar las variables luz, color y forma"*. La aportación particular de este Trabajo Final de Grado es extraer conclusiones sobre si el espacio simulado a través de sistemas de visualización 3D genera en el participante una respuesta similar a la que se generaría en el espacio físico representado. De esta forma, esta validación implicaría que resultados obtenidos en los espacios virtuales serían aplicables a los espacios físicos.

Durante el transcurso de la fase experimental, se han realizado unas



Figura 19. Aproximación de la realidad virtual al campo arquitectónico. <https://factoria5.es/es/la-realidad-virtual-en-arquitectura/>

pruebas donde los participantes tenían que realizar una serie de tareas tanto de atención como de memoria a la vez que visualizaban un prototipo de aula universitaria mediante unas gafas de realidad virtual.

A continuación, se procederá a describir el trascurso de la prueba junto a cada elemento que la conforma, además de cómo se generan los estímulos y su posterior análisis.

## PARTICIPANTES

Para la realización de este estudio, al estar enfocado en un ámbito universitario, se pretende que los participantes sean lo más afines posibles a este entorno educativo por lo que deben ser universitarios o que hayan terminado recientemente sus estudios universitarios. De esta manera, también se acota el rango de edad de los participantes ya que todos estarán en un margen entre los 18 y los 24 años, siendo la media de edad de 22 años. Además, el sexo de los participantes, en este caso, ha sido equitativo entre hombres y mujeres.

Por otra parte, también se ha acotado el estudio a sujetos que sean de nacionalidad española para que no haya diferencias culturales respecto al diseño de las aulas o en

las distintas cuestiones con la intención de no interferir en los resultados finales del estudio. De esta forma, se ha pretendido asociar a los participantes lo máximo posible mediante los anteriores requisitos al prototipo de estudiante universitario español.

Finalmente, se planteó un número de participantes para realizar las pruebas que estuvieran disponibles en un margen horario ya que la duración total de cada una de las pruebas es de 2 horas por participante. Por lo que, finalmente, se han optado por 66 participantes, entre hombres y mujeres, en el ámbito virtual y 66 participantes en el espacio real.

## ESTÍMULOS

Para poder proceder con el siguiente análisis, será necesario recrear estos espacios arquitectónicos con la finalidad de comparar ambos entornos, tanto el físico como el virtual, además de establecer un número de variaciones del modelo con el objetivo de obtener una diferenciación significativa.

El aula en la que se van a desarrollar las pruebas consiste en un modelo de aula docente física de la universidad, resultando ser un aula representativa de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, ETSIE. Esta aula ha sido seleccionada por ser un aula representativa del aula de la universidad. Además, es un aula tipo a la que se le puede someter fácilmente a distintas modificaciones y variaciones.

Por otra parte, el aula virtual es una reproducción del aula física anteriormente mencionada ya que es un espacio

representativo del ámbito docente universitario. Estas reproducciones son necesarias para su siguiente análisis y evaluación de los factores de la luz, el color y la forma.

Ahora se procederá a explicar las aulas que se han empleado a lo largo de las pruebas, donde tenemos un aula real, un aula base y las distintas modificaciones de las aulas virtuales. Entonces, distinguiremos siempre entre el modelo real, siendo este un modelo de aula docente físicamente real entre los aularios de la universidad; un modelo base de aula virtual donde tendremos el prototipo de aula al que se le aplicarán las modificaciones de los parámetros anteriormente mencionados y las variaciones del modelo base donde se le adjudicarán distintos espectros de dichas variables, creando distintos modelos a partir del aula base donde se experimenta con la iluminación, el color y la forma.<sup>29</sup>



Figura 20. Aula representativa de la ETSIE. Instituto de Investigación en Bioingeniería.



Figura 21. Modelo de aula virtual. Instituto de Investigación en Bioingeniería.

## AULA REAL

Esta aula es un modelo representativo y además es factible someterla a distintos tipos de modificaciones en los aspectos fundamentales en los que se basa el estudio, como lo son la forma, la luz y el color.

El aula representativa tiene unas dimensiones de 16,50x8,80 m donde se puede ver que su disposición es rectangular, localizándose el acceso al interior del aula en el fondo de esta. No presenta ninguna ventana con iluminación natural y está completamente amueblada con una serie de filas de pupitres y sillas para el alumnado mientras que en la zona delantera presenta una tarima y un escritorio para el profesor, contando además con una pizarra y un proyector. Por otra parte, el aula está iluminada mediante unas luminarias empotradas en el techo a lo largo del aula. (Figura 20)

Esta aula es bastante familiar para la gran mayoría de los estudiantes. Desde la experiencia de los propios participantes, se percibe la misma sensación que el hecho de estar en un aula un día lectivo, es decir, es como si se estuviera dando clase ya que, al ser un aula representativa del aula de la universidad, todos los estudiantes que han participado en dicho estudio se sienten familiarizados con ella.

## AULA VIRTUAL

A partir de este modelo de aula real, se ha creado un escenario base virtual en función del aula física representativa mediante la que se irán generando variaciones atendiendo a una serie de variables como lo son la luz, el color y el espacio. De esta forma, se crean distintas aulas donde se van alterando estos parámetros y se perciben dichos estímulos. (Figura 21)

De esta forma, mediante una fase de modelado, se ha creado el modelo virtual a partir del programa *3D's Max*, creando el escenario base que posteriormente será expuesto a las variables que producirán los estímulos, es decir, a partir de este modelado base, se reproducirán los distintos estímulos en las diferentes variantes.

Finalmente, se han creado imágenes panorámicas de 360° durante una segunda fase de renderizado, originando a su vez las distintas variables a partir del escenario base modelado inicialmente. Dicha réplica virtual ha sido realizada mediante el formato de render panorámico de 360° y trabajada con la finalidad de proyectarla mediante un dispositivo HTC Vive,<sup>30</sup> es decir, unas gafas de realidad virtual, cuya resolución es de 2.160x1.200 píxeles.<sup>31</sup>

En el espacio virtual, se ha establecido un punto concreto donde estará situado el participante en la simulación. Dicho punto se encuentra localizado en la zona delantera del aula, a uno de los lados. El individuo se encuentra en uno de los pupitres, apoyado en la mesa, con una visión directa a la pizarra y el escritorio del profesor, como si estuviera en un aula física real. (Figura 22) Todo esto tiene como finalidad tener una visión lo más similar a un caso real, es decir, como si el alumno estuviera recibiendo una clase. Por otra parte, esta experiencia pretende ser lo más parecida a un caso real en el que el alumno esté sentado en un aula universitaria físicamente real.

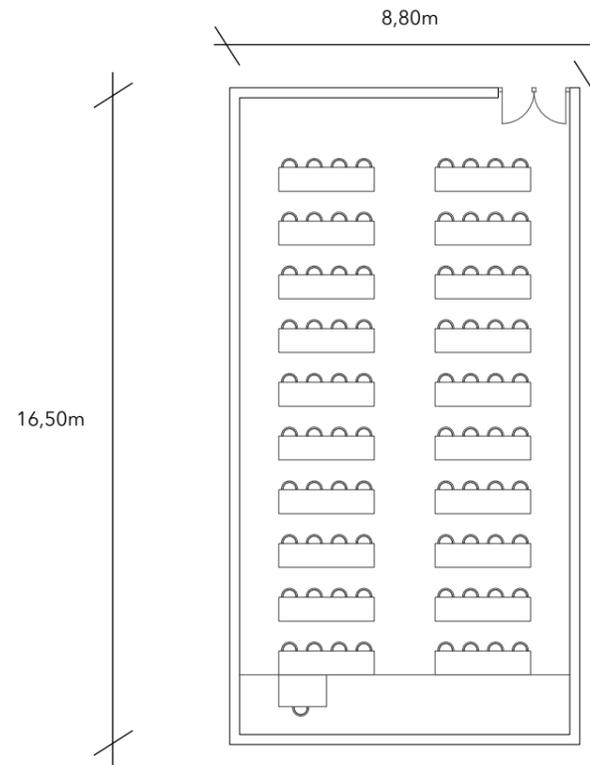


Figura 22. Plano del aula representativa de la ETSIE. Elaboración propia.

## RESPUESTA DEL PARTICIPANTE

La realización de las encuestas es un proceso presencial donde se entrevista individualmente a los participantes y se les somete a unas tareas que tendrán que realizar mientras visualizan el escenario con unas gafas de realidad virtual.

Esta serie de pruebas se realizaron en el Instituto de Investigación en Bioingeniería,<sup>32</sup> I3B, situado en la Ciudad Politécnica de la Innovación en la Universidad Politécnica de Valencia. Tanto los encuestadores como los participantes se trasladaron a las instalaciones habilitadas para poder ejercer el pase de encuestas. El recinto empleado fue una sala con todo el equipo preparado para la realización de las pruebas, además de que fuera es una estancia aislada del ruido exterior, el cual no interfirió en el

pase de la encuesta. (Figura 23) En dicho instituto se integran actividades de I+D mediante el uso de equipos multidisciplinares con la finalidad de lograr una mejora de las habilidades y el desarrollo humano mediante el uso y mejora de la tecnología.

<sup>29</sup> J. L. Higuera-Trujillo, J. L. T. Maldonado, and C. L. Millán, 'Psychological and Physiological Human Responses to Simulated and Real Environments: A Comparison between Photographs, 360 Panoramas, and Virtual Reality', *Applied Ergonomics*, 65 (2017), 398-409.

<sup>30</sup> 'Virtual Reality | HTC España' <<https://www.htc.com/es/virtual-reality/>> [accessed 14 July 2021]

<sup>31</sup> 'VIVE European Union | Discover Virtual Reality Beyond Imagination' <<https://www.vive.com/eu/>> [accessed 14 July 2021]

<sup>32</sup> 'I3B UPV' <<http://www.i3b.upv.es/web/en/>> [accessed 31 May 2021].

<sup>33</sup> 'Neuroarquitectura' <<http://www.i3b.upv.es/narch/es/>> [accessed 31 May 2021].

Este estudio se incluye dentro de los proyectos de neuroarquitectura.<sup>33</sup> En este caso, se realizan una serie de experimentos controlados donde se hace uso de una combinación entre las técnicas clásicas de la psicología ambiental utilizadas a lo largo de la historia y metodologías más modernas mediante el uso de tecnologías como la realidad virtual, entre otros.

A continuación, se va a proceder a describir completamente el proceso de ejecución de las encuestas mediante el protocolo empleado durante la fase experimental y cada una de las partes que la conforma individualmente.

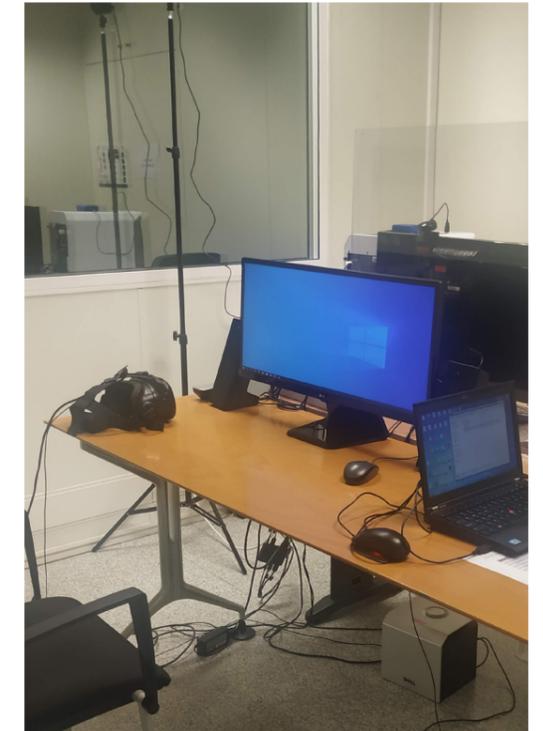


Figura 23. Sala donde se realizaron las pruebas. Elaboración propia.

## TAREAS DE RENDIMIENTO COGNITIVO

Durante la fase experimental, se han realizado una serie de tareas con la finalidad de evaluar el rendimiento cognitivo<sup>34</sup> de los participantes con el objeto de poder comparar dichos resultados con los obtenidos en el mismo ambiente pero siendo el caso del aula físicamente real. De esta forma, podemos establecer diferencias significativas entre lo ocurrido en un modelo real y un modelo virtual, pudiendo validar esta herramienta en la que se muestra como evocar en el usuario una respuesta similar a la generada en el espacio virtualmente representado.

Al finalizar dichas tareas, se procede al procesamiento de los datos obtenidos. Dicho estudio se realiza en

el laboratorio mediante técnicas de realidad virtual de carácter inmersivos. A partir de estas tareas, se obtienen unas respuestas psicológicas que permiten posteriormente examinar las habilidades de los participantes como lo son la memoria y la atención, las cuales se explicarán a continuación.

<sup>34</sup> C. Llinares Millán and others, 'The Influence of Classroom Width on Attention and Memory: Virtual-Reality-Based Task Performance and Neurophysiological Effects', *Building Research & Information*, 2021, 1-14.

## TAREA DE MEMORIA

En primer lugar, tenemos la tarea de memoria, la cual consiste en un ejercicio simple de escuchar y memorizar una serie de palabras reproducidas de forma oral mediante Loquendo TTS 7, un sintetizador de voz. En cada uno de los escenarios, se realizará esta tarea tres veces, por lo que se escucharían tres listas de palabras distintas.

Cada lista consta de un audio de 30 segundos con 15 palabras, teniendo 3 listas pregrabadas y resultando ser un total de 45 palabras en cada una de ellas, en las que hay un campo léxico común, es decir, tienen un concepto común, a excepción de una palabra. El usuario debe intentar recordar el máximo número posible de palabras y, finalmente, repetir, independiente del orden, tantas como sea posible en un tiempo de 30 segundos que el entrevistador estará monitorizando.<sup>35</sup> Lo que el entrevistador deberá tener en cuenta son los números de aciertos en dicha actividad, es decir, las Memoria\_Aciertos, siendo esta la métrica que se adoptará en la toma de resultados.

Dicha actividad de memoria es una tarea similar a las utilizadas en las pruebas del paradigma DRM, cuantificando el número de palabras recordadas por el participante.<sup>36</sup>

Esta tarea se realizará una vez finalizado el tiempo de observación del aula indicada. El participante deberá repetir el mayor número de palabras, independientemente del orden, en el tiempo fijado por el entrevistador, el cual cronometrará. (Figura 24) Además, el entrevistador deberá anotar las palabras que el individuo repita, indiferentemente de si es un acierto o un fallo, ya que eso se analizará posteriormente.



Figura 24. Participante realizando la tarea de atención.  
Elaboración propia.

## TAREA DE ATENCIÓN

La segunda tarea consta de un ejercicio de atención basado en el sentido auditivo. En este caso, se reproducirán una serie de sonidos mediante el uso de un programa que hará que se reproduzcan de manera aleatoria. El participante escuchará un total de cinco sonidos, siendo uno el estímulo al que deberá reaccionar, denominado *target*, al que reaccionará mediante un clic con el ratón mientras que los otros cuatro intentarán distraer al usuario, denominándose a estos sonidos distractores. Esto es similar a lo que se realizó en los *Auditory Continuous Performance Test*.<sup>37</sup> Esta misma tarea también se reproducirá un total de tres veces en cada uno de los escenarios, con un tiempo de 1500 ms entre cada set. En este caso, también se está evaluando la rapidez en la que reacciona el individuo al escuchar el sonido correcto.

Previamente, se le explica, por parte del entrevistador, al usuario en qué consiste exactamente la prueba de atención a la par que se le muestra cuáles son los estímulos a los que debe reaccionar y a cuáles debe evitar hacerlo.

Dicha tarea de atención consta de 8 objetivos y de 32 distractores, resultando

un total de 40 estímulos. De esta manera, hay un 20% de estímulos a los que el participante debe responder. Además, el sujeto tiene un tiempo en el que debe reaccionar de 750 ms en el que queda constancia de los errores, es decir, en caso de que el participante no responda, que reaccione demasiado lento o que lo haga a los sonidos distractores. Asimismo, también se monitoriza el tiempo de reacción.

En este caso, tendremos unas métricas que nos servirán para evaluar las tareas de atención, es decir, en este caso debemos tener en cuenta el tiempo que tarda el individuo en reaccionar al estímulo indicado y el número de errores que tiene. Lo que se ha cuantificado exactamente es el tiempo de reacción a la par que el número de errores. A estas métricas se las denominará Atención\_Tiempo y Atención\_Errores, respectivamente.

Dichos estímulos se mostraron de manera aleatoria, teniendo un mínimo de 800 ms y un máximo de 1.600 ms. La prueba de atención se mostró como una prueba de rendimiento cognitivo de carácter auditivo.

<sup>35</sup> 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.

<sup>36</sup> Beato, M. S., & Díez, E. (2011). False recognition production indexes in Spanish for 60 DRM lists with three critical words. *Behavior Research Methods*, 43(2), 499-507.

<sup>37</sup> Goldstein, J. M., Woodruff, P. W., O'Craven, K., Rosen, B. R., Tsuang, M. T., & Rosen, B. R. (1998). A functional magnetic resonance imaging study of auditory vigilance with low and high information processing demand. *Neuropsychology*, 12(4), 505-518.

## CUESTIONARIO PSICOMÉTRICO

Al finalizar las tareas de cada uno de los escenarios, el usuario procederá a realizar un cuestionario donde valorará su experiencia en cada prototipo de aula virtual, es decir,

## AUTOEVALUACIÓN COGNITIVA

En este cuestionario de autoevaluación cognitiva, se tratan tres aspectos fundamentales como lo son la atención, la memoria y la motivación, producida en dicha aula. Los participantes debían contestar a las cuestiones de la Tabla 2.

Finalmente, una de las cuestiones que se le hace al participante dentro de este apartado de preguntas es si en general le ha

el usuario deberá evaluar cómo cree que ha sido su experiencia realizando cada una de las tareas.

gustado, es decir, se hace una evaluación del entorno de una forma general. Esta cuestión se incluiría en la valoración del entorno.

El entrevistador procede a leer cada una de las preguntas anteriores al finalizar cada uno de los escenarios mientras el participante aún lleva colocados las gafas de realidad virtual, por lo que aún está presente en la simulación.

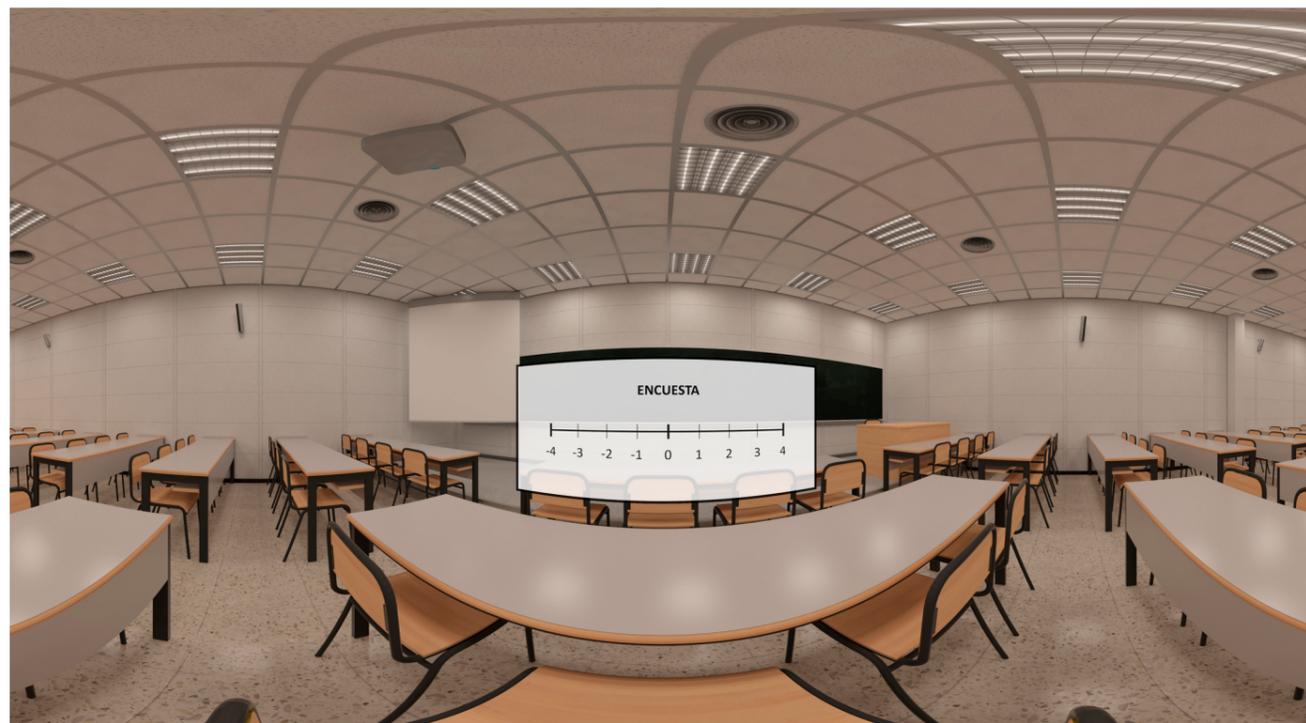


Figura 25. Aula virtual con encuesta. Instituto de Investigación en Bioingeniería.

mencionados anteriormente.

Además, en el presente cuestionario psicométrico también se tienen en cuenta aspectos como la valoración del entorno y la sensación de presencia que se explicarán a continuación.

La persona partícipe contestará cada una de las valoraciones mediante una escala de -4 a 4, siendo los números negativos las peores valoraciones y los positivos, las mejores. El usuario deberá valorar el espacio en función de si se ha sentido mejor o de si ese espacio le ha ayudado a fomentar o sentirse más cómodo dentro de los aspectos

## VALORACIÓN DEL ENTORNO

Por otra parte, también se realiza un cuestionario donde se valora el ambiente mediante la misma escala explicada previamente, es decir, de -4 a 4. (Figura 25) Lo que se pretende evaluar en este caso son aspectos como la funcionalidad, la calidez, el ruido del aula o la iluminación.

De esta manera, se valora la adecuación del entorno en el ámbito estudiado, es decir, en el universitario. Dicha valoración se realiza, al igual que la autoevaluación cognitiva, al finalizar las tareas asignadas en cada uno de los escenarios. El entrevistador leerá en voz alta cada una de las cuestiones y el participante responderá mediante una escala de -4 a 4 mientras aún lleva colocadas las gafas de realidad virtual. Las cuestiones realizadas fueron las enunciadas en la Tabla 2.

## SENSACIÓN DE PRESENCIA

Finalmente, se realiza un cuestionario de presencia con el que se pretende medir la sensación de presencia del usuario en las simulaciones desde un aspecto más general. Lo que se pretende analizar es esa sensación de presencia, es decir, el hecho de estar en dicha simulación virtual.<sup>38</sup> Estos cuestionarios los realizaba directamente el participante tras finalizar la experiencia. (Tabla 1)

En este caso, se debe monitorizar mediante un cuestionario SUS, *System Usability Scale*,<sup>39</sup> al finalizar la fase experimental, en el que se utiliza una escala distinta, de 1 a 7, valorados en una escala *Likert* con el objeto de comprobar que las simulaciones se puedan considerar satisfactorias, es decir, este cuestionario pretende validar esta metodología de experimentación ya que se intenta que el espacio recreado virtualmente y visualizado mediante gafas de realidad virtual pueda ser comprendido y emulado como un espacio real.

**Tabla 1.** Cuestionario de sensación de presencia. Elaboración propia

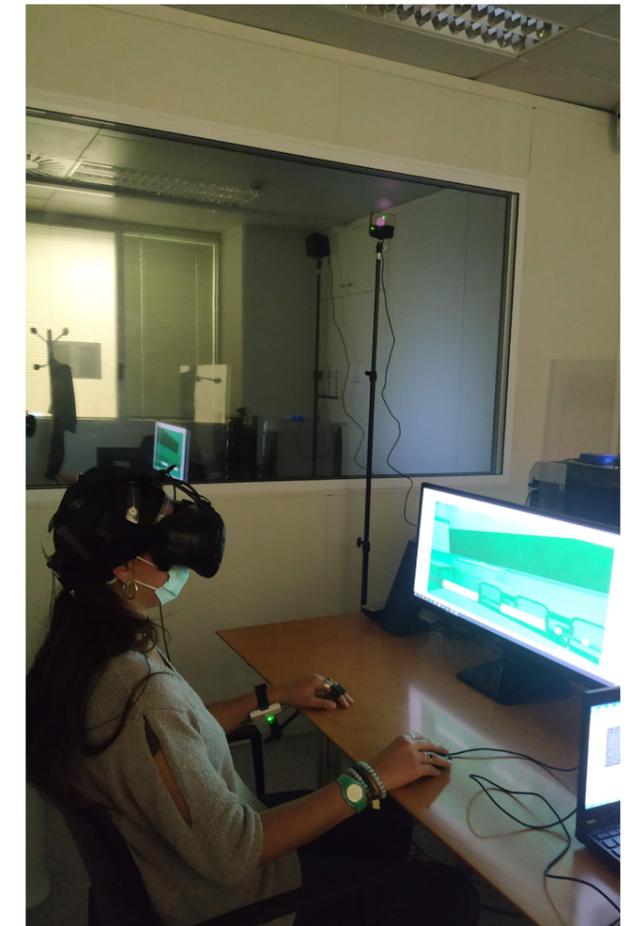
Aspectos	1 a 7
Tuve la sensación de estar ahí en el aula.	
Hubo momentos durante la experiencia en el que el aula era real para mí.	
Al pensar en el aula lo recuerdo más como un sitio en el que he estado.	
Mi mayor sensación fue la de estar en el aula.	
El recuerdo que tengo de estar en otro sitio parecido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

**Tabla 2.** Cuestionario de autoevaluación cognitiva y valoración del entorno del participante. Elaboración propia

Esta aula...	-4 a 4
Esta aula me parece apropiada para potenciar la memoria	
Esta aula me parece apropiada para potenciar la atención	
Esta aula me parece apropiada para potenciar la motivación	
El aula tiene un diseño...	-4 a 4
El aula tiene un diseño funcional	
Este aula tiene un diseño cálido y agradable	
El aula tiene un diseño que permite concentrarse	
El aula tiene un diseño actual	
El aula tiene un diseño con buena iluminación	
El aula tiene un diseño confortable	
El aula tiene un diseño confortable desde el punto de vista acústico.	
El ruido en el aula...	-4 a 4
El ruido en el aula afecta a la comprensión de los mensajes de las pruebas.	
El ruido en el aula es molesto.	

Lo que se entiende como la sensación de presencia es una percepción de "estar ahí",<sup>40</sup> al estar inmerso en la simulación ambiental. La forma que se emplea para medir esta sensación es mediante los cuestionarios anteriormente mencionados como cuestionarios SUS al final de cada una de las experiencias virtuales. Estos resultados son los que se toman como una cuantificación de presencia.<sup>41</sup>

Estos cuestionarios SUS se basan en el *System Usability Scale*, es decir, miden el nivel de usabilidad y de presencia. De esta forma, se consigue evaluar 6 factores que son los determinantes en el nivel de inmersión en el caso de un espacio virtual. Se emplea una escala del 1 al 7, anteriormente mencionada, de manera que el 1 es disconformidad mientras que el 7 es totalmente de acuerdo. Así es como se consigue comprobar si esta comparación entre espacio virtual y espacio real es completamente válida.



**Figura 26.** Participante durante la realización de la prueba. Elaboración propia.

<sup>38</sup> Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93

<sup>39</sup> Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994). Depth of Presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 130-144

<sup>40</sup> J. L. Higuera-Trujillo and others, 'El Espacio Digital: Comparativa de Las Últimas Técnicas de Visualización Arquitectónica', EGA.

Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica, 22.31 (2017), 102-11.  
<sup>41</sup> Juan Luis Higuera-Trujillo, Concepción Castellanos, and Carmen Linares, 'Educational Centres Design Tools. Virtual Reality for the Study of Attention and Memory Performance', *INTED2020 Proceedings*, 1 (2020), 4362-66 <<https://doi.org/10.21125/inted.2020.1209>>

# DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

## FASE 0 PREPARACIÓN DEL INDIVIDUO

Ahora se explicará el proceso que se ha realizado por parte del entrevistador, desde la propia experiencia personal, a la hora de ejecutar el pase de encuestas, dividiendo el desarrollo del experimento en fases con un orden numérico y correspondiéndose con las siguientes: fase de preparación (fase 0), fase de preexperiencias (fase 1), fase de experiencias (fase 2) y fase de postexperiencias (fase 3). (Figura 26)

En primer lugar, se recibe al individuo y se le dirige al recinto donde se realizarán las pruebas. Tras indicarle que tome asiento, lo primero que debe hacer es leer y firmar el consentimiento para enseguida colocarle los dispositivos de registro neurofisiológico. (Figura 27)

Una vez se haya comprobado que todos los dispositivos estén colocados correctamente y estén bien monitorizados, se realiza una prueba mediante el escenario base con las gafas de realidad virtual HTC colocadas, con la finalidad de que el participante se acostumbre al uso y a la visión con las gafas de realidad virtual. El sujeto visualizará el espacio mientras se le explica que en cada escenario deberá realizar una serie de valoraciones de cada uno de ellos. Una vez finalizada la preparación, se le retiran las gafas HTC.

Aún en la fase de preparación del participante, se le realiza el Test de Ishihara, donde se le muestra al sujeto 21 imágenes donde tiene que intentar contestar qué es lo que visualiza en cada una de las fotografías mientras el entrevistador anota la cantidad de fallos y aciertos que ha cometido, de forma que no se alteren los resultados obtenidos al final de la prueba. Esta prueba consiste en una serie de cartas de colores denominadas Cartas de Ishihara, donde hay una nube de puntos de colores que van variando de tamaño aleatoriamente donde se forma un número mediante dicho patrón. De esta forma, podemos detectar algún tipo de visión anómala o algún defecto visual ya que una visión normal es capaz de ver el número nítidamente.

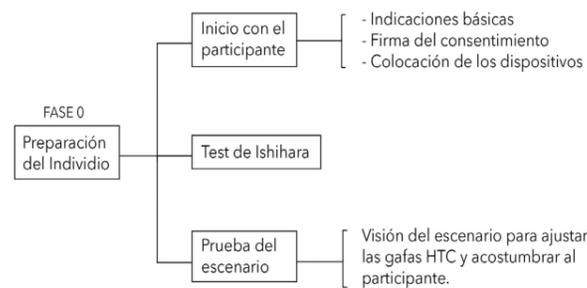


Figura 27. Esquema de la fase 0, fase de preparación. Elaboración propia.

## FASE 1 PREEXPERIENCIAS

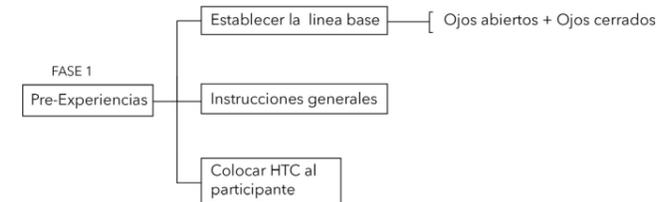


Figura 28. Esquema de la fase 1, fase de preexperiencias. Elaboración propia.

## FASE 2 EXPERIENCIAS

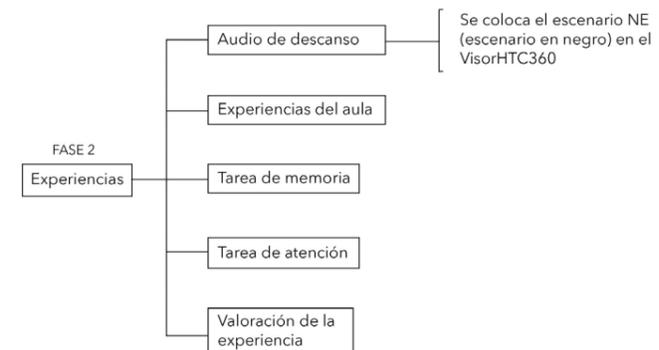


Figura 29. Esquema de la fase 2, fase de experiencias. Elaboración propia.

Una vez terminada la fase de preparación, se comienza a preparar al participante para el comienzo de la prueba, es decir, las preexperiencias. Al finalizar este proceso, se le explican las instrucciones generales de la prueba al participante y se le colocan las gafas de realidad virtual. (Figura 28)

En este caso, primero se escucha un audio de descanso donde no se observa ninguna imagen con la finalidad de que el sujeto se relaje completamente y, al finalizar este, se lanza el modelo base del aula, siendo este común para todos los participantes. El usuario tiene que visualizar el espacio durante 90 segundos cronometrados por el entrevistador. El espacio debe ser observado en profundidad, acostumbrando al usuario a este nuevo entorno virtual. De esta forma, el participante será capaz de ver el aula en todo su conjunto.

Al acabar, se procederá a explicarle al sujeto la realización de las tareas. En primer lugar, realizará un ejercicio de memoria, donde oirá una serie de palabras que tendrá que intentar memorizar mientras está presente en el aula y tendrá que repetir el mayor número de palabras en un tiempo de 30 segundos.

Luego, se procede a explicarle al participante la siguiente tarea, en este caso de atención, donde el usuario escuchará una serie de estímulos, debiendo reaccionar a uno de ellos haciendo *click* con el ratón mientras que no debe reaccionar a los otros sonidos distractores.

Cada una de estas tareas se deberán realizar tres veces consecutivas en cada uno de los escenarios, es decir, en primer lugar, se realizarán tres veces los ejercicios de memoria y a continuación se realizarán tres veces las tareas de atención. (Figura 29)

Al finalizar estos ejercicios, el participante procederá a realizar una valoración del espacio mediante la

escala anterior, siendo -4 los aspectos más negativos y 4 los aspectos positivos. El entrevistador leerá al sujeto unas valoraciones de los aspectos descritos en el cuestionario en relación con el espacio, la iluminación y la acústica y el usuario deberá valorarlas con la escala anterior. (Tabla 2)

### FASE 3 POSTEXPERIENCIAS

Una vez finalizada la fase de experiencias, es decir, al terminar las tareas y valoraciones en los cinco escenarios, (Figura 30) se le entregará un cuestionario final donde el individuo evaluará la sensación de presencia, valorando todas las experiencias en general, y realizará un cuestionario demográfico.

Al terminar de completar las anteriores encuestas, se le indica que ha terminado la prueba y se le acompaña a la salida. (Figura 31)

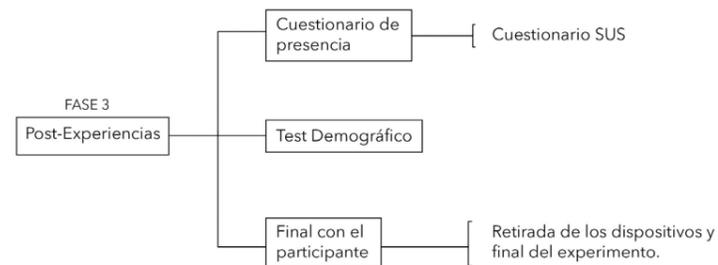


Figura 30. Esquema de la fase 3, fase de postexperiencias. Elaboración propia.



Figura 31. Zona del participante. Elaboración propia.

---

**CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En este apartado, se van a comentar y exponer los resultados obtenidos durante la fase de desarrollo del experimento. Se analizarán las medias obtenidas en cada una de las métricas y si se han producido diferencias significativas entre las dos realidades, la física y la virtual.

# RESULTADOS

A continuación, se interpretarán los resultados obtenidos de la presente investigación tanto de las tareas como de los cuestionarios anteriormente mencionados.

Los resultados que se presentarán a continuación vendrán indicados en una serie de gráficas de barras en los que se mostrarán las medias obtenidas para cada una de las métricas estudiadas. De esta forma, es posible comparar visualmente, en cada campo, los resultados conseguidos tanto en el aula física como en el aula virtual.<sup>29</sup>

En el caso del estudio de las diferencias significativas, se han realizado a partir del *Test de Kruskal Wallis* ya que los datos siguen una distribución no-normal (K-S,  $p < 0,05$ ). Además, siguiendo este mismo test, los valores medios que se van a mostrar se refieren al *Mean Rank*, es decir, la media del *ranking*.

Se va a proceder a interpretar los resultados conseguidos a partir de las tareas de rendimiento cognitivo, es decir, de la tarea de memoria y de la tarea de atención realizadas durante el desarrollo del estudio.

## TAREAS DE RENDIMIENTO COGNITIVO

## TAREA DE MEMORIA

Una vez finalizado el pase de las encuestas a todos los participantes, se procede a organizar los resultados obtenidos para poder analizarlos posteriormente. A continuación, se comentarán los resultados obtenidos, es decir, las medias alcanzadas en la tarea de memoria. (Figura 32)

En primer lugar, se denominarán a las métricas obtenidas como Memoria\_Aciertos. Aquí se puede observar que los resultados obtenidos durante la tarea de memoria son algo similares, obteniendo una media de 85,25 en el entorno físico mientras que en el aula virtual se ha obtenido una media de 93,54.

Por lo tanto, en este caso, en la tarea de memoria se ha obtenido que no existen diferencias significativas entre los dos tipos de espacios ya que el resultado obtenido por el *Test de Kruskal Wallis* ( $p = 0,305$ ) ha sido superior al valor de 0,05. De esta manera, es posible el hecho de realizar estudios similares ya sea en un espacio real o en un espacio virtual.

### Tarea de memoria

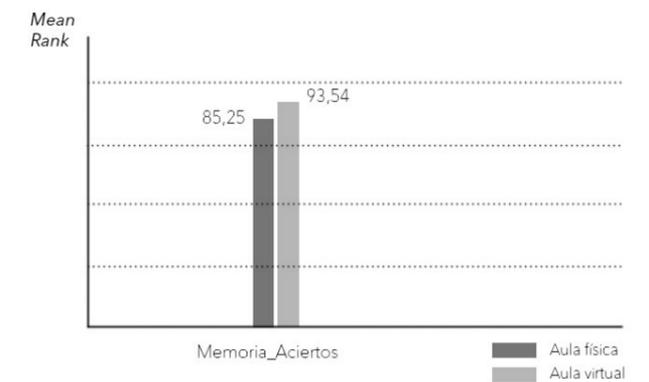


Figura 32. Gráfico de los resultados de la tarea de memoria  
Elaboración propia.

## TAREA DE ATENCIÓN

Ahora se va a proceder a analizar los resultados obtenidos tras la tarea de atención. En este caso, las métricas empleadas han sido dos: Atención\_Tiempo y Atención\_Errores ya que lo que se está estudiando en este caso es el tiempo de reacción del participante y los errores que ha cometido durante la prueba. (Figura 33)

En este caso, es posible observar los resultados obtenidos de las métricas tanto de Atención\_Tiempo como de Atención\_Errores. Al igual que en la tarea de memoria, los resultados alcanzados también son similares entre ellos. En primer lugar, en la métrica de Atención\_Tiempo se ha obtenido una media de 82,18 en el aula física mientras que en el aula virtual se ha obtenido una media de 93,05.

Tras analizar estos resultados después de realizar el *Test de Kruskal Wallis* ( $p=0,172$ ), se ha concluido que tampoco presentan diferencias significativas entre los dos entornos, ya sea un espacio real o virtual, es decir, es menor que el valor promedio de 0,05. Esto también ha ocurrido en el caso de la tarea de atención.

Ahora, se expondrán los resultados obtenidos para la métrica de Atención\_Errores, siendo estos muy semejantes a los expuestos anteriormente en este apartado. En el aula física se ha obtenido una media algo mayor que en la métrica anterior, siendo un resultado de 86,71 mientras que en el aula virtual ha sido ligeramente

menor, obteniendo una media de 90,26.

Esto significa que, tras analizar las posibles diferencias significativas entre ambos espacios, se ha concluido que tampoco se aprecian, es decir, el rendimiento del participante ha sido muy parecido en el aula física y en el aula virtual ( $p=0,653$ ).

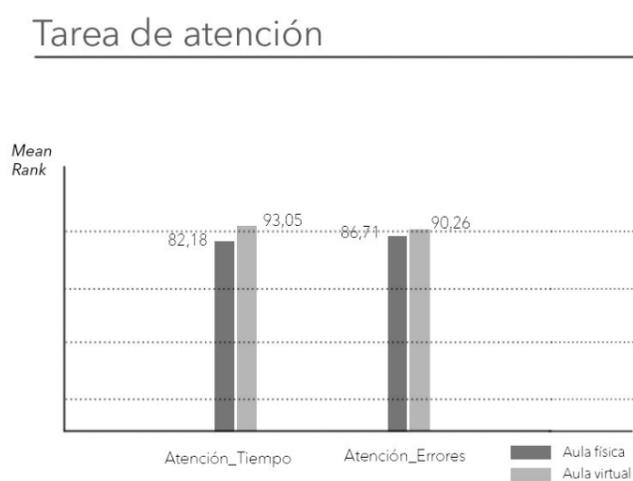


Figura 33. Gráfico de los resultados de la tarea de atención. Elaboración propia.

## CUESTIONARIOS PSICOMÉTRICOS

Ahora se va a proceder a exponer los resultados obtenidos del presente estudio de los cuestionarios psicométricos, es decir, se analizarán los resultados obtenidos de los

## SENSACIÓN DE PRESENCIA

Tras el análisis de los resultados obtenidos por los cuestionarios para evaluar la sensación de presencia por parte del participante, basados en los cuestionarios SUS explicados anteriormente, se han obtenido unos resultados para la simulación del aula virtual. El nivel medio ha sido de 32,45, estableciendo un máximo

## AUTOEVALUACIÓN COGNITIVA

En primer lugar, es necesario esclarecer las métricas que se van a emplear en el análisis de los resultados de autoevaluación cognitiva. Durante este cuestionario, se han evaluado tres categorías distintas, siendo estas la memoria, la atención y la motivación. De esta forma, se han nombrado las métricas como Valoración\_Memoria, Valoración\_Atención y Valoración\_Motivación. (Figura 34)

cuestionarios de autoevaluación cognitiva, valoración del entorno y sensación de presencia.

de 42. Al tener en cuenta estos resultados obtenidos por otros estudios<sup>42</sup> que han empleado tecnologías similares, estas simultaneidades se han considerado como satisfactorias.

<sup>42</sup> M Slater and A Steed, 'A Virtual Presence Counter', Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 9.5 (2000), 413-34.

Ahora, se van a analizar cada una de las métricas mencionadas anteriormente. En primer lugar, se tiene la valoración de la memoria, es decir, la Valoración\_Memoria. En este caso, las medias obtenidas difieren con mayor relevancia entre ellas que en los casos analizados anteriormente. En el aula física se ha obtenido un resultado de 110,41 mientras que en el aula virtual se ha

obtenido una media de 76,27, habiendo un mayor intervalo entre ellos respecto de los resultados anteriores.

De esta manera, se ha obtenido que, tras realizar el *Test de Kruskal Wallis*, se han concluido que existen diferencias significativas entre los dos entornos ( $p=0,00$ ), es decir, es menor que 0,05. Esto significa que esa diferencia es sustancial entre los dos espacios. Esto se refiere a que lo que los participantes han opinado del aula difiere significativamente en función de si se encuentran en un aula física o en un aula virtual.

En segundo lugar, tras analizar las métricas de la Valoración\_Atención, se han obtenido unas medias de 106,32 en el caso del aula física y de 78,70 en el caso del aula virtual. Como en el caso anterior, son valores que presentan un intervalo mayor que en los resultados de las tareas de rendimiento cognitivo.

En este caso, se ha valorado que existen diferencias significativas ( $p=0,000$ ),

siendo menor que el valor promedio de 0,05. Por lo tanto, como en el caso anterior, las opiniones obtenidas por los participantes se diferencian entre un espacio físicamente real de un espacio virtual.

Finalmente, la valoración de la motivación, es decir, la métrica denominada como Valoración\_Motivación, ha obtenido unas medias de 118,73 en el caso del espacio físico mientras que en el aula virtual ha obtenido una media de 71,32. Como hemos visto en las dos métricas anteriores, el intervalo entre estos dos valores es también muy grande en comparación con los obtenidos en el apartado anterior.

Esto significa que, tras analizar estos resultados, se ha concluido que existen diferencias significativas entre ambos espacios ( $p=0,000$ ), físico y virtual. Esto nos lleva a que las opiniones obtenidas en este aspecto no son parecidas entre los dos entornos.

## VALORACIÓN DEL ENTORNO

Para la valoración del entorno, vamos a preestablecer las métricas obtenidas a partir de los cuestionarios de valoración expuestos anteriormente. En este caso, tendremos las métricas siguientes en función de la valoración del entorno: Valoración\_Me gusta, Valoración\_Funcional, Valoración\_Cálido, Valoración\_Concentrarse, Valoración\_Actual y Valoración\_Iluminación artificial. A continuación, se van a exponer los resultados obtenidos individualmente. (Figura 35)

En primer lugar, los resultados conseguidos en la métrica de Valoración\_Me gusta son bastante dispares entre ellos ya que en el aula física se ha obtenido una media de 117,02 mientras que en el aula virtual la media se encuentra en un 72,34.

De esta forma, es posible comprobar tras la realización del *Test de Kruskal Wallis*

que existen diferencias significativas en la opinión general sobre el aula ( $p=0,000$ ). Esto significa que no es posible evaluar este aspecto ya que los resultados entre el aula real y el aula virtual no son similares debido a que son menores que el valor promedio de 0,05.

Por otra parte, tras analizar la métrica de Valoración\_Funcional, se encuentran unos resultados para el aula física de 93,77 mientras que la media obtenida para el entorno virtual es de 86,16. Aquí se encuentra que el intervalo es menor que en el caso anterior.

Esto significa que, tras comprobar las posibles diferencias significativas existentes, se ha concluido que no hay ( $p=0,325$ ) ya que el resultado es mayor que 0,05.

### Autoevaluación cognitiva

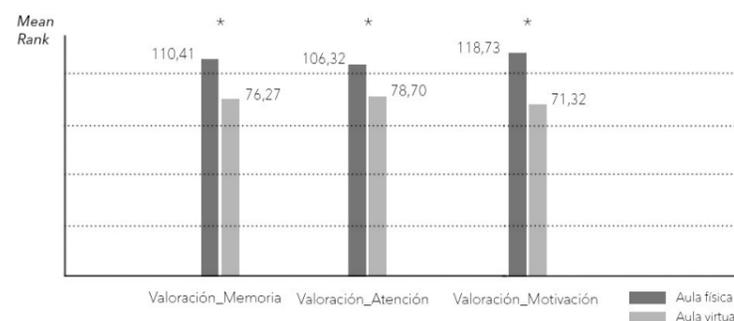


Figura 34. Gráfico de los resultados de la autoevaluación cognitiva. Elaboración propia.

### Valoración del entorno

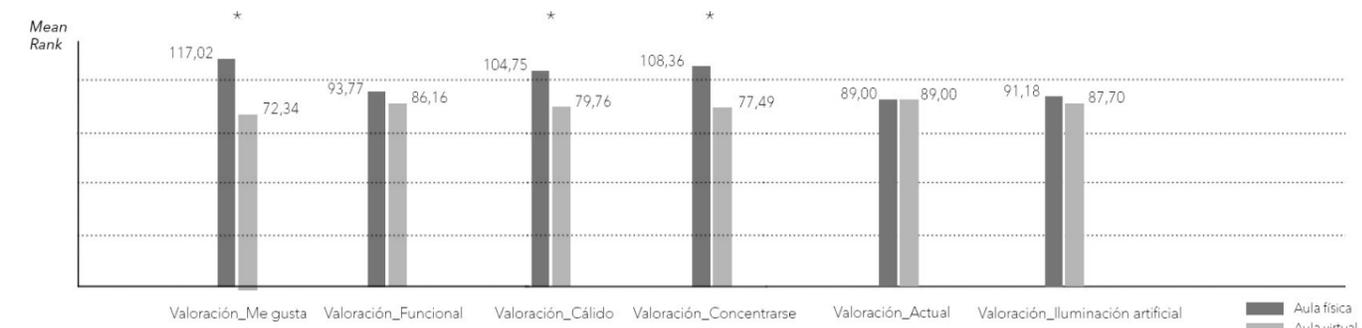


Figura 35. Gráfico de los resultados de la valoración del entorno. Elaboración propia.

En el caso de la Valoración\_Cálido, se ha comprobado que las medias conseguidas tras el análisis de los datos obtenidos son algo dispares ya que en el entorno físico se tiene un resultado de 104,75 mientras que en el espacio virtual se ha obtenido una media de 79,76.

Por ello, en este caso, se ha concluido que, sí que existen diferencias significativas entre los dos tipos de espacios ( $p=0,02$ ), siendo este menor que 0,05. Esto significa que sí es importante tener en cuenta que, para posibles estudios posteriores, el espacio influye significativamente en el individuo.

Tras analizar los datos de la métrica de Valoración\_Concentrarse se han obtenido que, en el aula real, las medias logradas son de 108,36 mientras que en el aula virtual el resultado obtenido es de 77,49. En este caso, se puede observar que el intervalo entre ambas estancias es algo dispar.

De esta manera, se ha concluido que sí que existen diferencias significativas ( $p=0,000$ ), es decir, se pueden apreciar diferencias significativas ya que el resultado es menor que el valor promedio de 0,05.

Por otro lado, en el apartado de métrica de Valoración\_Actual se han obtenido unas medias en el entorno físico de 89,00, al igual que en el espacio virtual. En este caso, los resultados conseguidos son exactamente iguales.

Por consiguiente, en este caso no se aprecian diferencias significativas ya que, al ser los resultados iguales ( $p=1,000$ ), por lo que es indiferente el realizar este estudio en un aula física o en un aula virtual.

Finalmente, tenemos la métrica de la Valoración\_Iluminación artificial ya que, en este caso, el aula no presenta luz natural. De esta forma, las medias obtenidas para el aula física son de 91,18 y en el espacio virtual son de 87,70. En este caso, el intervalo es muy pequeño en comparación con las métricas explicadas anteriormente.

Por ello, tras analizar si es posible la existencia de diferencias significativas, se ha concluido que no existen diferencias significativas ( $p=0,653$ ) debido a que es mayor que 0,05.

---

**CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES**

Finalmente, tras el respectivo análisis de los resultados, se han preestablecido unas conclusiones. De esta forma, podemos comprobar que es posible en algunos aspectos sustituir los entornos físicos por espacios virtuales en investigaciones futuras.

# CONCLUSIONES

El aula ha sido objeto de estudio desde hace décadas debido a la búsqueda del aumento y la optimización de las capacidades cognitivas y del rendimiento de los estudiantes. Así mismo, como los alumnos pasamos gran cantidad de horas dentro de las aulas, estos espacios tendrán una gran influencia en nuestro estado emocional y psicológico.

Todo esto se ha puesto bajo análisis a partir de estudios que preceden al presente trabajo con la finalidad de esclarecer unas ideas claves que otorgarían unas nociones sobre el diseño que ayuden a lograr el objetivo anteriormente mencionado. Todo esto se ha podido comprobar en estudios comentados a lo largo del trabajo como es el caso de Roger Ulrich<sup>3</sup>, quien demostró las influencias positivas del entorno en los pacientes hospitalarios. En un caso más concreto, tenemos las investigaciones de la universidad de Salford<sup>18</sup> o The Influence of Color on Student Emotion, Heart Rate and Performance in Learning Environments<sup>22</sup> en las que se afirma que el diseño del aula puede incentivar en una mejora del rendimiento del alumno.

Por ello, el presente análisis de la fase experimental realizada durante este trabajo pretende validar las herramientas de visualización 3D, además de validar el panorama de 360° en HMD en el estudio de las capacidades cognitivas en el ámbito educativo. Por ello, a partir de los

resultados obtenidos, se evaluará si existen o no diferencias significativas entre las respuestas de los participantes en el aula real o en la virtual.

Por otra parte, lo que realmente se debe tener en cuenta, independientemente de las medias obtenidas en cada una de las métricas, es si ha habido o no diferencias significativas. Por ello, esto es lo que valora la posibilidad de si es factible realizar un estudio desde estos parámetros, validando la realidad virtual como herramienta.

Analizando las métricas obtenidas en las tareas de rendimiento cognitivo, como se ha expuesto anteriormente, no se han obtenido diferencias significativas. Esto es de gran relevancia ya que, al no discernir entre los resultados obtenidos independientemente del espacio en el que el participante se encuentre, en el caso de pretender realizar un estudio con estos objetivos, es posible lograrlo mediante realidad virtual. Esto se debe a que los resultados, a nivel estadístico, no son sustanciales, es decir, no presentan diferencias significativas entre un entorno u otro.

Por el contrario, en el caso de las valoraciones de los participantes, sí que se han observado métricas donde sí que hay diferencias significativas mientras que, en otras no se aprecia ninguna distinción sustancial. Esto tiene una gran importancia,

como hemos mencionado anteriormente, en caso de querer realizar estudios de este ámbito. Por ello, en aquellos análisis donde se han obtenido diferencias significativas, no es posible aplicarlos a investigaciones de este tipo ya que influye la valoración del lugar en función del espacio, es decir, si es real o virtual. Esto se puede apreciar en métricas como Valoración\_Me gusta, Valoración\_Cálido o Valoración\_Concentrarse. Esto puede deberse a que los participantes se han sentido más cómodos y familiarizados con un entorno físicamente real ya que es algo a lo que están acostumbrados. De esta manera, es posible que se sobrevalore estas métricas por encima de un entorno virtual.

Por ello, es posible contemplar la validación de los estudios mediante herramientas de visualización de realidad virtual. Esto es algo que se ha podido observar en los resultados de las tareas de rendimiento cognitivo. De esta manera, mediante el presente estudio, se está validando completamente esta herramienta para la realización de futuros estudios.

En cambio, en otros aspectos de la valoración del entorno como lo son Valoración\_Funcional, Valoración\_Actual o Valoración\_Iluminación artificial no se producen diferencias significativas. Esto significa que es indiferente su posterior análisis en un entorno físicamente real

o en uno virtual ya que no se producirán alteraciones en los resultados obtenidos en ambas partes.

Aunque, por otro lado, como se ha visto en las métricas de valoración, si se pretende realizar un estudio sobre la opinión de las personas sobre un aula, no es una herramienta válida ya que, en este caso, influye que el entorno sea real o virtual. No obstante, a la hora de establecer una opinión sobre el espacio en el ámbito virtual, la gente tiende a dar una opinión con menor calificación.

Finalmente, cabe concluir que este tipo de hallazgos son de gran importancia a nivel arquitectónico y de diseño. De esta manera, a partir de estos estudios, es posible mejorar los espacios y adecuarlos de forma que se incremente la mejora del rendimiento de los estudiantes y de su proceso de aprendizaje. Por lo tanto, estos estudios pueden resultar interesantes tanto para el ámbito arquitectónico como para el docente.



# BI- BLIO- GRA- FÍA

'¿Puede El Diseño de Un Aula Mejorar El Rendimiento de Los Estudiantes? | UPF-BSM', 2017 <<https://www.bsm.upf.edu/es/noticias/nuevos-espacios-educativos-educacion-superior>> [accessed 1 May 2021]

Abbas, Nadeen, Dinesh Kumar, and Neil Mclachlan, 'Measuring the Emotional and Physiological Effects of Light and Colour on Space Users' <<https://doi.org/10.5220/0001194200780086>>

Al-Ayash, Aseel, Robert T. Kane, Dianne Smith, and Paul Green-Armytage, 'The Influence of Color on Student Emotion, Heart Rate, and Performance in Learning Environments', *Color Research and Application*, 41.2 (2016), 196-205 <<https://doi.org/10.1002/col.21949>>

Aliño, Carla, 'Neuroarquitectura, La Ciencia Que Mide Las Emociones Que Generan Los Espacios | Sociedad | Edición Comunitat Valenciana | Agencia EFE', 2021 <<https://www.efe.com/efe/comunitat-valenciana/sociedad/neuroarquitectura-la-ciencia-que-mide-las-emociones-generan-los-espacios/50000880-4548883>> [accessed 23 July 2021]

Aragonés, Juan Ignacio, and Florencio Jiménez Burillo, 'Introducción a la psicología ambiental', ed. by Juan Ignacio Aragonés and Florencio Jiménez Burillo, Alianza psicología (Madrid: Alianza, 1991)

Barrett, Peter, Fay Davies, Yufan Zhang, and Lucinda Barrett, 'The Holistic Impact of Classroom Spaces

on Learning in Specific Subjects', *Environment and Behavior*, 49.4 (2017), 425-51 <<https://doi.org/10.1177/0013916516648735>>

Barrett, Peter, Yufan Zhang, Fay Davies, and Lucinda Barrett, *Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project*, 2015 <<http://www.salford.ac.uk/cleverclassrooms>>

Caldwell, John A, and Gary E Jones, 'The Effects of Exposure to Red and Blue Light on Physiological Indices and Time Estimation', *Http://Dx.Doi.Org/10.1068/P140019*, 14.1 (2016), 19-29 <<https://doi.org/10.1068/P140019>>

Clarke, Tom, and Alan Costall, 'The Emotional Connotations of Color: A Qualitative Investigation', *Color Research and Application*, 33.5 (2008), 406-10 <<https://doi.org/10.1002/COL.20435>>

'Cómo Nuestra Casa Influye En Nuestro Bienestar - IKEA' <<https://www.ikea.com/es/es/ideas/como-nuestra-casa-influye-en-nuestro-bienestar-puba733b4e0>> [accessed 23 July 2021]

Crandell, Carl C., and Joseph J. Smaldino, 'Classroom Acoustics for Children with Normal Hearing and with Hearing Impairment', *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31.4 (2000), 362-70 <<https://doi.org/10.1044/0161-1461.3104.362>>

Higuera-Trujillo, J. L., C. Llinares, and E.

Macagno, 'The Cognitive-Emotional Design and Study of Architectural Space: A Scoping Review of Neuroarchitecture and Its Precursor Approaches.', *Sensors*, 21.6 (2021), 2193

Higuera-Trujillo, J.L., J. López-Tarruella Maldonado, C. Linares Millán, and S Iñarra Abad, 'El Espacio Digital: Comparativa de Las Últimas Técnicas de Visualización Arquitectónica.', *EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22.31 (2017), 102-11

Higuera-Trujillo, J.L., J.L.T. Maldonado, and C. L. Millán, 'Psychological and Physiological Human Responses to Simulated and Real Environments: A Comparison between Photographs, 360 Panoramas, and Virtual Reality.', *Applied Ergonomics*, 65 (2017), 398-409

Higuera-Trujillo, Juan Luis, Concepción Castellanos, and Carmen Linares, 'Educational Centres Design Tools. Virtual Reality for the Study of Attention and Memory Performance', *INTED2020 Proceedings*, 1 (2020), 4362-66 <<https://doi.org/10.21125/inted.2020.1209>>

'I3B UPV' <<http://www.i3b.upv.es/web/en/>> [accessed 31 May 2021]

Leonardo Oviedo, Gilberto, 'La Definición Del Concepto de Percepción En Psicología Con Base En La Teoría Gestalt', *Revista de Estudios Sociales*, 18.1 (2004), 89-96. <<https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.7440/res18.2004.08>>

Linares, C., J. L. Higuera-Trujillo, and J. Serra, 'Cold and Warm Coloured Classrooms. Effects on Students' Attention and Memory Measured through Psychological and Neurophysiological Responses.', *Building and Environment*, 196.107726 (2021)

Linares Millán, C., J. L. Higuera-Trujillo, A. Montañana i Aviñó, J. Torres, and C. Sentieri, 'The Influence of Classroom Width on Attention and Memory: Virtual-Reality-Based Task Performance and Neurophysiological Effects.', *Building Research & Information*, 2021, 1-14

Llorente, Analía, 'Qué Es La Neuroarquitectura y Cómo Puede Ayudarnos a Combatir El Estrés y Ser Más Creativos - BBC News Mundo', 2021 <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-56741621>> [accessed 8 July 2021]

Moser, Gabriel, 'La Psicología Ambiental En El Siglo 21: El Desafío Del Desarrollo Sustentable', *Revista de Psicología*, 12.2 (2003), 11-17 <<https://doi.org/10.5354/0719-0581.2003.17386>>

N, Abbas, Kumar D, and Mclachlan N, 'The Psychological and Physiological Effects of Light and Colour on Space Users', in *27th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006

'Neuroarquitectura' <<http://www.i3b.upv.es/narch/es/>> [accessed 31 May 2021]

NJ, Stone, 'Designing Effective Study Environments.', *J Environ Psycho*, 21 (2001), 179-90

Olsen, Jennifer, 'The Effect of Color on Conscious and Unconscious Cognition', *Dietrich College Honors Theses*, 2010, 1-30 <<http://repository.cmu.edu/hsshonors/72/>>

Páramo, Pablo, 'Psicología Ambiental'

PN, Hamid, and Newport AG., 'Effect of Color on Physical Strength and Mood in Children.', *Perceptual Motor Skills*, 69 (1989), 179-85

'Psicología | Definición | Diccionario de La Lengua Española | RAE - ASALE' <<https://dle.rae.es/psicologia>> [accessed 18 July 2021]

Rohrmann, B., and I. Bishop, 'Subjective Responses to Computer Simulations of Urban Environments', *Journal of Environmental Psychology*, 22.4 (2002), 319-31 <<https://doi.org/10.1006/jev.2001.0206>>

Sader, Marta, 'La Próxima Revolución Arquitectónica Está En TU CEREBRO | Architectural Digest España', 2019 <<https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/neuroarquitectura-la-proxima-revolucion-arquitectonica-esta-en-tu-cerebro/21975>> [accessed 23 July 2021]

Slater, M, and A Steed, 'A Virtual Presence Counter', *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9.5 (2000), 413-34

Sternberg, Esther M., and Matthew A. Wilson, 'Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground', *Cell*, 127.2 (2006), 239-42 <<https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.10.012>>

'TEMAS\_Neuroarquitectura | Healthy Architecture & City' <<http://grupo.us.es/hac/neuroarquitectura/>> [accessed 1 May 2021]

Ulrich, Roger S, 'Essay : Evidence-Based Health-Care Architecture', 2006, 38

'Virtual Reality | HTC España' <<https://www.htc.com/es/virtual-reality/>> [accessed 14 July 2021]

'VIVE European Union | Discover Virtual Reality Beyond Imagination' <<https://www.vive.com/eu/>> [accessed 14 July 2021]

Whitelaw, Alison, 'Introducing ANFA, the Academy of Neuroscience for Architecture', <http://Dx.Doi.Org/10.1080/17508975.2013.818764>, 5.SUPPL1 (2013), 1-3 <<https://doi.org/10.1080/17508975.2013.818764>>

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Incidencia de la luz y el color en el aula. Sergio Pirrome. Catch Light Classroom, Chile. 2011  
<https://landarquitectos.com/en/ficha-proyecto/54/catch-light-classrooms>

**Figura 2.** Imagen renderizada del uso del color en el sistema de aprendizaje. MASUNOESTUDIO. Concurso Colegio Proeduca. 2013.  
<https://www.masunostudio.com/proyecto/concurso-colegio-proeduca/>

**Figura 3.** Vista desde la habitación de un hospital.  
<https://www.marbellahospital.com/es/hospital.html>

**Figura 4.** Sede de Gas Natural considerada como un edificio enfermo. Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. Sede de Gas Natural. Barcelona. 2006.  
<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/sede-de-gas-natural-en-barcelona/>

**Figura 5.** Jonas Salk. Hulton-Deutsch. 1914-1995.  
<https://www.biography.com/scientist/jonas-salk>

**Figura 6.** Instuto Salk, diseñado por Louis Kahn para Jonas Salk.  
<https://www.latimes.com/entertainment/arts/miranda/la-et-cam-salk-institute-louis-kahn-20161107-htmllstory.html>

**Figura 7.** Leyes de la Gestalt aplicadas al diseño arquitectónico. Walt Disney Concert Hall.  
<https://revistailustres.com/r2/2018/07/05/el-diseno-arquitectonico-y-las-leyes-de-la-gestalt/>

**Figura 8.** Aplicación del método de estudio EDB en el campo arquitectónico.  
<https://www.hfmmagazine.com/articles/2978-how-to-employ-evidence-based-design>

**Figura 9.** Gafas de realidad virtual.  
<https://www.pexels.com/es-es/foto/adulto-dispositivo-futuro-entretenimiento-373905/>

**Figura 10.** Estereoscopio.  
<https://www.antiguedadestecnicas.com/productos/B-218.php>

**Figura 11.** Sensorama. [https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-virtual-reality-system\\_fig1\\_220474975](https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-virtual-reality-system_fig1_220474975)

**Figura 12.** La espada de Damocles, el primer sistema de realidad virtual. Ivan Sutherland.  
<https://niixer.com/index.php/2021/02/10/ivan-sutherland-realidad-virtual/>

**Figura 13.** Gafas de realidad virtual HTC VIVE.  
<https://www.pexels.com/es-es/foto/ciudad-hombre-gente-calle-8608229/>

**Figura 14.** Aulas en su estado inicial, antes de ser sometidas a estudio. Universidad de Salford. Manchester.  
<https://www.detail.de/artikel/clever-classrooms-32820/>

**Figura 15.** Ejemplo de un aula con diferentes zonas de uso. Clever Classroom. Universidad de Salford. Mancehster.  
<https://www.detail.de/artikel/clever-classrooms-32820/>

Medición del rendimiento cognitivo en el aula:  
Comparación espacio real vs. panorama 360°

**Figura 16.** Criterios de diseño espacial y su influencia en el nivel de aprendizaje. Universidad de Salford. Manchester.  
<https://www.detail.de/artikel/clever-classrooms-32820/>

**Figura 17.** La posición de los colores del estudio en los triángulos NCS. Swedish Standards Institute. Stockholm. 2004.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/col.21949>

**Figura 18.** Sala donde se realizaban las pruebas.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/col.21949>

**Figura 19.** Aproximación de la realidad virtual al campo arquitectónico.  
<https://factoria5.es/es/la-realidad-virtual-en-arquitectura/>

**Figura 20.** Aula representativa de la ETSIE. Instituto de Investigación en Bioingeniería.

**Figura 21.** Modelo de aula virtual. Instituto de Investigación en Bioingeniería.

**Figura 22.** Plano del aula representativa de la ETSIE. Elaboración propia.

**Figura 23.** Sala donde se realizaron las pruebas. Elaboración propia.

**Figura 24.** Participante realizando la tarea de atención. Elaboración propia.

**Figura 25.** Aula virtual con encuesta. Instituto de Investigación en Bioingeniería.

**Figura 26.** Participante durante la realización de la prueba. Elaboración propia.

**Figura 27.** Esquema de la fase 0, fase de preparación. Elaboración propia.

**Figura 28.** Esquema de la fase 1, fase de preexperiencias. Elaboración propia.

**Figura 29.** Esquema de la fase 2, fase de experiencias. Elaboración propia.

**Figura 30.** Esquema de la fase 3, fase de postexperiencias. Elaboración propia.

**Figura 31.** Zona del participante. Elaboración propia.

**Figura 32.** Gráfico de los resultados de la tarea de memoria. Elaboración propia.

**Figura 33.** Gráfico de los resultados de la tarea de atención. Elaboración propia.

**Figura 34.** Gráfico de los resultados de la autoevaluación cognitiva. Elaboración propia.

**Figura 35.** Gráfico de los resultados de la valoración del entorno. Elaboración propia.

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Cuestionario de sensación de presencia. Elaboración propia.

**Tabla 2.** Cuestionario de autoevaluación cognitiva y valoración del entorno del participante. Elaboración propia.

**Medición del rendimiento cognitivo en el aula. Comparación espacio real vs panorama 360°**  
Carolina Barrios García



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA