

# El efecto de la geometría del aula en el rendimiento de los estudiantes universitarios. Un estudio basado en Neuroarquitectura.

Trabajo Final de Máster

Máster de Gestión de Edificación



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN



Instituto de  
Investigación e  
Innovación en  
Bioingeniería

Autora:

Sánchez Sabina, Gisselle

Tutora Académica:

Llinares Millán, M<sup>a</sup> Carmen

Cotutor Académico:

Higuera Trujillo, Juan Luís

Diciembre 2020

# El efecto de la geometría del aula en el rendimiento de los estudiantes universitarios. Un estudio basado en neuroarquitectura.

*"La arquitectura es una pequeña parte de esta ecuación humana, pero para quienes la practicamos creemos en su potencial para marcar la diferencia, para iluminar y enriquecer la experiencia humana, para penetrar en las barreras del malentendido y para proporcionar un hermoso contexto para el drama de la vida"*

*Frank Gehry*

*A mi esposa Daniela por apoyarme desde un inicio  
A mis tutores M. Carmen y Juan Luis por las constantes revisiones, sugerencia y aliento.  
A mi cuñada Gabriela por la paciencia con la que leyó y apoyó la redacción del texto  
Y a mi familia de Cuba que a pesar de la distancia nunca dejaron de creer en mi.....*

## RESUMEN

---

Los estudiantes suelen pasar más de un 50% del tiempo en centros de formación, principalmente, en aulas. Para su diseño, la atención no se centra en determinar qué criterios adoptar en función de las necesidades emocionales de los alumnos y cómo potenciar el desarrollo de la educación; por el contrario, se rige por conceptos ergonómicos, higienistas, funcionales, económicos o estéticos. La Neuroarquitectura, como rama que emerge, fusiona estudios arquitectónicos con la investigación neurocientífica y de las ciencias del comportamiento. El empleo del diseño de espacios con base en la investigación neurocientífica supone un avance para la especialidad. Este estudio propone analizar la geometría del aula, en concreto su altura y cómo influye en el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes, a través del estudio de la respuesta psico-fisiológica. Para ello, se aplicarán los fundamentos de la neuroarquitectura y la simulación de entornos virtuales inmersivos, como parte de las investigaciones realizadas en la línea de Neuroarquitectura del Instituto de Universitario i3B de la Universidad Politécnica de Valencia.

Palabras claves: Neuroarquitectura, altura de techo, forma geometría, cuestionarios, pruebas EEG, realidad virtual.

## ABSTRACT

---

Students usually spend more than 50% of their time in schools, mainly in classrooms. For its design, the focus is not on determining what criteria to adopt based on the emotional needs of students and how to enhance the development of education; on the contrary, it is governed by ergonomic, hygienic, functional, economic or aesthetic concepts. Neuroarchitecture, as an emerging branch, fuses architectural studies with neuroscientific and behavioral science research. The use of space design based on neuroscientific research represents a breakthrough for the specialty. This study proposes to analyze the geometry of the classroom, specifically its height and how it influences the development of student learning, through the study of the psychophysiological response. For this, the fundamentals of neuroarchitecture and the simulation of immersive virtual environments will be applied, as part of the research carried out in the Neuroarchitecture line of the i3B University Institute of the Polytechnic University of Valencia.

Keywords: Neuroarchitecture, ceiling height, geometry shape, questionnaires, EEG tests, virtual reality.

# ÍNDICE

1	Introducción.....	9
1.1	Antecedentes. ....	9
1.2	Objetivos .....	10
1.3	Estructura del trabajo.....	11
2	Marco teórico .....	12
2.1	Neurociencia y Arquitectura: breve introducción.....	12
2.2	forma: la percepción y la interacción humana con el espacio geométrico. ....	17
2.3	Los parámetros geométricos en aulas de los espacios docentes universitarios 22	
2.3.1	El aula: papel y estructura.....	23
2.3.2	Legislación y normativa vigente.....	24
2.4	La influencia de los parámetros geométricos en las funciones cognitivas de atención y memoria en los estudiantes. ....	27
2.5	La medición psicofisiológica en el entorno y la respuesta del ser humano. ...	31
2.5.1	Medición de la respuesta afectiva y emocional basados en la respuesta consciente.....	31
2.5.2	Medición de la respuesta afectiva y emocional basados en la respuesta fisiológica. ....	33
2.6	La realidad virtual como técnica de visualización de estímulos.....	36
2.7	Conclusiones teóricas.....	38
3	Materiales y métodos .....	39
3.1	Estructura del estudio .....	40
3.1.1	Selección del Aula .....	40
3.1.2	Selección de los parámetros geométricos. ....	41
3.1.3	Generación de escenarios virtuales .....	43
3.1.4	Protocolo de investigación.....	44
3.2	Compilación de datos .....	46
3.2.1	Muestra .....	46
3.2.2	Visualización de estímulos .....	46
3.2.3	Tratamiento de datos. ....	47
4	Resultados .....	53



4.1	Análisis de la sensación de presencia. ....	53
4.2	Análisis de la respuesta psicológica (desempeño de las tareas de atención y memoria) .....	54
4.2.1	Análisis de resultados en tarea de Atención - Tiempo de Reacción. ....	55
4.2.2	Análisis de resultados en tarea de Atención-Errores .....	56
4.2.3	Análisis de resultados en tarea de Memoria.....	58
4.3	Análisis de la respuesta neurofisiológica .....	59
4.3.1	Análisis de resultados en datos obtenidos prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta, asociada al estado de alerta. ....	60
4.3.2	Análisis de resultados en datos obtenidos prueba fisiológica de EDA fásica, registradas por la actividad electrodérmicas.....	61
5	Discusión.....	63
6	Bibliografía .....	65
7	Anexos .....	71
7.1	Anexo 1 Cuestionario NA-PN2018-A1.1.....	71
7.2	Anexo 2 Protocolo de Investigación .....	78

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1 Instituto Salk en San Diego. Luis Khan. Tomado por Liao Yusheng Fuente: <a href="https://www.plataformaarquitectura.cl">https://www.plataformaarquitectura.cl</a> .....	12
Ilustración 2 Implementación de la realidad virtual en estudio. Variación de ambientes Fuente: Higuera-Trujillo et al., 2020 .....	15
Ilustración 3 Alcance del campo visual en el ser humano. Fuente: <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> .....	18
Ilustración 4 Imagen de dimensiones y elementos que conforman el espacio. Fuente: Elaboración propia.....	19
<i>Ilustración 5 Recreación de espacios según el estudio de Shemesh Fuente: Shemesh et al., 2017.....</i>	20
Ilustración 6 Niveles de regulación homeostática automatizada según Antonio R. Damasio Fuente: Traducción y elaboración propia según gráfico de Damasio,2003.....	20
Ilustración 7 Planta desarrollo derivado de la investigación de la movilidad de los estudiantes para la Free Univesity Berlin 1963. Fuente: <a href="http://www.fu-berlin.de">www.fu-berlin.de</a> .....	22
Ilustración 8 Desarrollo del espacio en un aula Fuente: Hertzberger, 2008.....	23
Ilustración 9 Representación de la normativa aplicada en Aularios. Fuente: Elaboración propia .....	26
Ilustración 10 Nuevo modelo de carga cognitiva. Traducción y elaboración propia basado en el esquema de Choi et al., 2014.....	28
Ilustración 11 Aula preparada para tareas el estudio. Fuente: Marchand et al., 2014 .	29
Ilustración 12 Identificación de los parámetros de Barret y colegas en un ambiente construido Fuente: Barrett et al., 2017.....	29
Ilustración 13 Entornos visuales inmersivos: gafas de realidad aumentada y entornos virtuales físicos. Fuentes: <a href="https://www.vive.com">https://www.vive.com</a> .....	36
Ilustración 14 Estructura de la Investigación Fuente: Elaboración propia. ....	39
Ilustración 15 Estado real. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 16 Versión Base de estudio. Fuente: Elaboración propia .....	41
Ilustración 17 Estructura del Aula utilizada para el estudio. Fuente: Olcina.F, 2019.....	41
Ilustración 18 Generación de los 27 escenarios visualizados para la variable de forma (1). Fuente: Elaboración propia. ....	43
Ilustración 19 Generación de los 27 escenarios visualizados para la variable de forma (2). Fuente: Elaboración propia. ....	44
Ilustración 20 Herramientas utilizadas para la generación y visualización de estímulos. Fuente: VIVE Pro, 2020 y Acer Predator, 2020.....	46
Ilustración 21 Imágenes del salón preparado para el estudio. Fuente Propia. ....	47
Ilustración 22 Dispositivo Shimmer para registro de actividad electrodérmicas. Fuente: Shimmer Sensing, 2020.....	51
Ilustración 23 Herramienta b-Alertx 10 para registro de señales EGG y colocación de los sensores. Fuente: iMotions, 2020 .....	52

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

---

Gráfica 1 Esquema metodológico. Fuente: Elaboración Propia .....	11
Gráfica 2 Relación de Procesos en Neuroarquitectura. Según E. Edelstein. Fuente Elaboración propia.....	13
Gráfica 3 Interacción entre Cerebro-Individuo-Medio Construido según E. Edelstein. Fuente: Elaboración Propia.....	14
Gráfica 4 Métodos de investigación en neuroarquitectura según Karakas & Yildiz, 2020. Fuente: Elaboración propia.....	14
Gráfica 5 Esquema gráfico de representación de la escala de Küller 1975. Fuente: Semantisk Milodeskribing.....	32
Gráfica 6 Comparativo de valores de respuesta electrodérmicas. Fuente: Flykt et al., 2007 .....	34
Gráfica 7 Representación gráfica de las señales de respuesta cardiaca. Fuente: Beauchaine, 2001 .....	34
Gráfica 8 Ejemplo típico de una época de EEG, que muestra el principio básico de la desincronización alfa. Fuente: Klimesch,1999. ....	35
Gráfica 9 Mapa de relaciones entre factores humanos, aspectos cognitivos y representación del conocimiento en el proceso de diseño del edificio según investigación de Daniel Paes y colaboradores. Fuente: Elaboración propia. ....	37
Gráfica 10 Resultado de test de Presencia Fuente: Elaboración propia.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Resumen de las teorías de percepción. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de Muntañola Thornberg (1986).....	18
Tabla 2 Asociación de conceptos con la altura de techo según investigación de Meyers- Levy y Zhu 2017. Fuente: Elaboración propia .....	30
Tabla 3 Selección de parámetros del "aula base". Fuente: Elaboración Propia. ....	41
Tabla 4 Configuraciones de los parámetros de la variable forma para los 27 escenarios visualizados por los participantes. Fuente: Elaboración propia. ....	42
Tabla 5 Tabla resumen con el desarrollo del protocolo de investigación (*En cursiva y entrecomillado, los comentarios a ser narrados por el entrevistador). Fuente: Elaboración propia.....	45
Tabla 6 Cuestionario para Test de presencia. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Tabla 7 Cuestionario de Autoevaluación cognitiva. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Tabla 8 Cuestionario de valoración del ambiente visualizado. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Tabla 9 Listado de palabras utilizado en la prueba de memoria. Fuente: Elaboración propia. ....	50

Tabla 10 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de ATENCIÓN-TIEMPO DE REACCIÓN. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Tabla 11 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de ATENCIÓN-ERRORES. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Tabla 12 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de MEMORIA. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 13 Medias para cada grupo de Altura. Fuente: Elaboración propia. ....	55
Tabla 14 Análisis ANOVA para revisar la correlación entre grupos. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Tabla 15 Resultados de POST HOC TEST. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Tabla 16 Resultados de Mann-Whitney Test. para la variable de ATENCIÓN-ERRORES. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 17 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para la variable de ATENCION - ERRORES. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Tabla 18 Resultados del análisis ANOVA para la variable de MEMORIA. Fuente. Elaboración propia.....	58
Tabla 19 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para los datos de la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 20 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para los datos de la prueba fisiológica de EDA fásica Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 21 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 22 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 23 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA fásica. Fuente: Elaboración propia. ....	61
Tabla 24 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA fásica (1). Fuente: Elaboración propia. ....	61
Tabla 25 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA fásica (2). Fuente: Elaboración propia. ....	62

# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 ANTECEDENTES.

La arquitectura es el arte y la ciencia de crear u alterar el medio físico, en función de las necesidades del ser humano. Aquellos que perciben la arquitectura como un arte de expresión reflejado en sus obras, y los que dan prioridad a los temas prácticos, difieren en conceptos, pero no niegan que el objetivo en común responde a la percepción o necesidad de un usuario final y de su estado emocional. Este concepto fundamenta el acto de una profesión compleja y contradictoria. Por lo que su desarrollo a través de la historia, ha sido una constante evolución y transformación de conceptos clásicos, probados en el tiempo a través de la experiencia y la tradición. Estos criterios adquiridos empíricamente se han trasfigurado por el uso de materiales y métodos que garantizan su veracidad.

Con estas formas tan arraigadas de desarrollar la arquitectura y la expresión del diseño, donde confluye la subjetividad y el análisis perceptual, ¿puede existir implicación de la ciencia dentro de esta materia?

La constante evolución de los avances científicos, la interrelación y el trabajo colaborativo entre ramas, la especialización de procesos, así como la intención de potenciar al máximo las necesidades físicas y emocionales de los usuarios ha ayudado a que evolucione el trabajo científico en la arquitectura.

La neuro-arquitectura surge de la singular mezcla de arquitectura y las ciencias del comportamiento. Es el constante dilema conceptual, es la contraposición de lo nuevo y lo viejo, el desarrollo en función de la actualización de la rama. Con la ayuda de la neurociencia y los avances tecnológicos se tiene el poder de recopilar las sensaciones psicofisiológicas del usuario en respuesta a un espacio o medio construido y con esas respuestas obtenidas diseñar espacios que respondan a sus necesidades.

La neuro-arquitectura, como rama que emerge, se encuentra propensa a la utilización de sus conceptos para la especulación y la mala praxis donde se encasillen las investigaciones de forma negativa. *Estos conceptos pueden seguir siendo una entidad extraña dentro del cuerpo vivo de la arquitectura* (Eberhard, 2009a). El buen empleo del diseño de espacios basado en la investigación neurocientífica supone un avance para la especialidad, y es deber de los arquitectos investigadores potenciar estos resultados. El estudio de las bases neurocientíficas subyacentes aportará nuevas perspectivas sobre el efecto de la arquitectura en sus usuarios. El desarrollo de estas investigaciones en función de los espacios públicos o de la interacción social repercutirá de manera positiva en el desarrollo de la sociedad.

Las instituciones educativas sólo se han centrado en mejorar las técnicas de formación, en función de las capacidades receptoras de los estudiantes incluyendo

comportamientos emocionales. Los parámetros de diseño actualmente utilizados en los centros educativos o aulas carecen de estos conceptos, se rigen por manuales o criterios funcionalistas y económicos. La arquitectura de los centros de enseñanza, en la mayoría de los casos, no se interrumpe a determinar cuáles serán los mejores criterios en función de las necesidades emocionales de los alumnos y cómo potenciar el desarrollo de la educación mediante la arquitectura. Esta arquitectura es el pasado, presente y futuro de las sociedades y ayuda a modificar las potencialidades de las generaciones que la trascienden (Mayoral-Campa & Pozo Bernal, 2017). Es así que, los avances científicos deben influir y ayudar al desarrollo de las nuevas generaciones.

Cada vez son más los estudios que hacen referencia a cómo el diseño interior de las aulas puede influir en el desarrollo cognitivo de los estudiantes (Barrett et al., 2017). Se trabaja dentro de la comunidad científica con los parámetros de color, la forma y la iluminación, donde se alcanzan resultados independientes muy alentadores. La utilización de tecnología inmersiva aporta infinidad de opciones, a la hora de trabajar con espacios, ya que no se necesitan ejecutar físicamente acelerando los estudios y diversificando las muestras.

Dentro de este contexto se inserta esta investigación, basada en el diseño de las formas de las aulas universitarias y cómo pueden mejorar las capacidades cognitivas de los estudiantes, como parte de las investigaciones realizadas en la línea de NeuroArquitectura del Instituto de Universitario i3B de la Universidad Politécnica de Valencia.

## 1.2 OBJETIVOS

El **objetivo principal** de esta investigación es analizar la influencia de la variación de los parámetros geométricos en un espacio, en concreto la altura del aula en un espacio docente, sobre la atención y la memoria de los estudiantes universitarios.

Objetivos específicos:

- 1- Analizar el marco teórico conceptual en neuroarquitectura en relación con investigaciones precedentes.
- 2- Describir los materiales, técnicas y métodos empleados en el trabajo de investigación.
- 3- Analizar la respuesta psicológica de los estudiantes a partir de la variación de altura en las aulas, mediante los resultados obtenidos en los cuestionarios de autoevaluación aplicados
- 4- Analizar la respuesta fisiológica de los estudiantes a partir de la variación de altura en las aulas, mediante los resultados obtenidos de las pruebas EEG y EDA fásica.

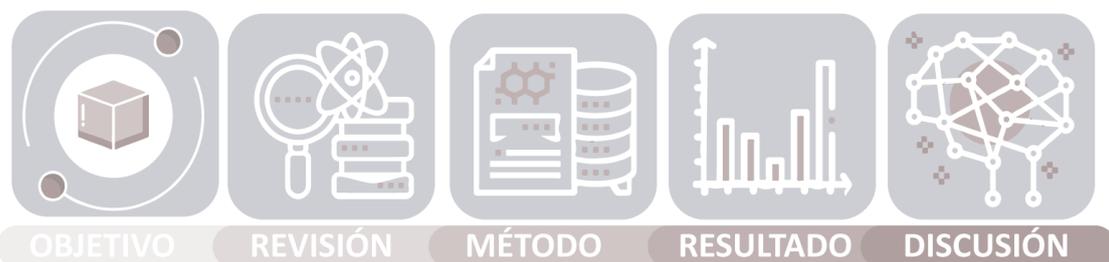
### 1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El trabajo a desarrollar, como resultado del ejercicio de investigación, mantiene una metodología estructurada en fases, por apartados, para una mayor comprensión del lector.

Se establece un apartado introductorio que aborda los antecedentes, pertinencia y motivo del proyecto. Se define el objetivo principal de la investigación y cada uno de los objetivos específicos. Continuando, en el apartado dos se establecen las bases teóricas, con revisiones a la bibliografía temática y acercamiento a los fundamentos críticos de esta investigación que aportarán claridad al entendimiento de conceptos y métodos aplicados. Se abordarán temas como: los parámetros de diseño utilizados en aulas o las técnicas de medición de la respuesta del ser humano.

Seguidamente se desarrolla el apartado tres, donde, se describirán las técnicas y medios utilizados con la muestra para el desarrollo de la investigación y todos los métodos de análisis empleados. Se describe el protocolo de investigación, así como la recopilación y registro de los estímulos psicológicos y fisiológicos de los estudiantes.

Por último, se despliega el capítulo cuatro, donde se exponen los resultados alcanzados. Se establecen las conclusiones principales de la investigación, las recomendaciones y los retos para el futuro.



Gráfica 1 Esquema metodológico. Fuente: Elaboración Propia

## 2 MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 NEUROCIENCIA Y ARQUITECTURA: BREVE INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas ha existido una gran respuesta y esfuerzo científico que vincula la neurociencia y la arquitectura. Es un hecho probado que las experiencias arquitectónicas y la percepción de medio ambiente construido están estrechamente vinculadas con nuestro desarrollo neuronal y la respuesta cerebral (Nacy Kanwisher 1997; Fred Gage 1998). Los primeros pasos a una nueva línea de investigación surgieron de la mano del desarrollo tecnológico y las nuevas técnicas de investigación neurocientífica, descifrando con datos concretos las respuestas cerebrales a estímulos específicos.

Los prejuicios en unir estas ramas del conocimiento tan dispares, hacían que pareciera una tarea imposible. Para algunos miembros de la comunidad científica, la arquitectura sólo refleja una cualidad estética. Los arquitectos, por otra parte, defienden la tesis de que de las prácticas que utilizan se ejecutan por conocimiento adquirido a través de los años o por conceptos funcionalistas y económicos inquebrantables. Un visionario arquitecto como Luis Khan, enlazó el camino de la comunicación con la comunidad científica, en la creación del instituto Salk de San Diego. Sus diálogos con el científico Jonas Salk y el amplio proceso de creación llevaron a Salk a indagar y recabar sus investigaciones en materia de arquitectura.

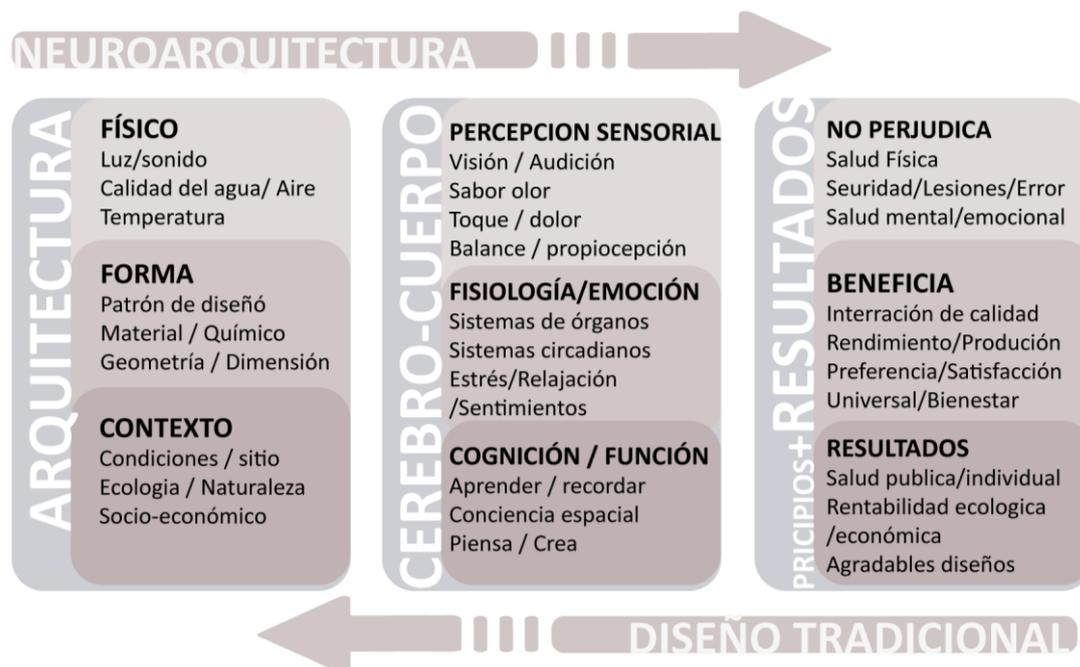


*Ilustración 1 Instituto Salk en San Diego. Luis Khan. Tomado por Liao Yusheng*  
 Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>

En el libro “Brain and Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture” (Eberhard, 2009b) Jon Paul Eberhard dedica su investigación al renombrado científico Jonas Salk, que estampó el camino de la investigación neurocientífica. Con esta publicación se marcó la pauta en la vinculación de estas dos disciplinas; fue una

definitiva declaración de intenciones. Enfocando las similitudes de las dos materias, a un proceso que funciona por respuestas de estímulos; así mismo, estudiar la respuesta humana al medio ambiente construido. Eberhard acerca a la comunidad científica y los arquitectos con el fin de obtener una colaboración interdisciplinaria con nuevos enfoques creativos y basados en investigación. También, acerca a la comunidad de arquitectos a una nueva fase de creación donde se utiliza la evidencia recopilada para establecer mejores decisiones de diseño. Eberhard fue promotor y fundador desde 2003 de la Academia de Neurociencia para la Arquitectura una institución completamente volcada a la divulgación y promoción del conocimiento que vincula la investigación de la neurociencia con la comprensión de las respuestas humanas al entorno construido. Este esfuerzo pionero dio paso a la creación de una nueva línea experimental de investigación: la **Neuroarquitectura**.

La neuroarquitectura intenta explicar o solucionar problemas a través de la recopilación de información psicofisiológica y neuronal, en colaboración con investigaciones científicas (neurociencia, psicología, ciencias del comportamiento, TIC), para generar un basamento teórico que ayude a mejorar el diseño, la producción y la enseñanza en la arquitectura, contribuyendo en función de las necesidades del usuario. Busca expandir nuestra comprensión de la influencia de los edificios en el cerebro, el cuerpo y el comportamiento (Edelstein, 2016). (Ver gráfica 2)



Gráfica 2 Relación de Procesos en Neuroarquitectura. Según E. Edelstein. Fuente Elaboración propia

La transformación e interpretación de la información arrojada por los métodos de investigación, son grandes aportes. Pero falta mucho trabajo científico en materia de neurociencia que nos permita saber con exactitud la fenomenología mental y la exactitud de la respuesta cerebral o conductual del ser humano. Por tanto, en estas

investigaciones se realizan estudios con parámetros cognitivos como guías de investigación como:

- Sensación y percepción (cómo percibimos el espacio construido)
- Aprendizaje y memoria (cómo influye el espacio construido en la realización de tareas)
- Emoción y afecto (emociones como estrés, calma o satisfacción)
- Movimiento (cómo nos orientamos en los espacios y discretizar las circulaciones)



Son disímiles las técnicas y la metodología a aplicar para recopilar la mayor cantidad de información (Ver gráfica 4). Como la incorporación de mapeos bio-sensoriales para desarrollar métricas de comportamiento. Las medidas observacionales individuales y grupales, importadas de las investigaciones de las ciencias del comportamiento. El uso



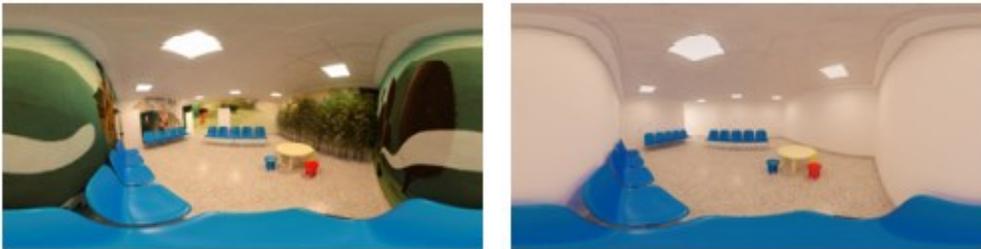
*Gráfica 4 Métodos de investigación en neuroarquitectura según Karakas & Yildiz, 2020. Fuente: Elaboración propia*

de sensores biológicos y técnicas con neuroimágenes para registrar la exposición asociada con respuestas neuronales y conductuales, como los escáneres de fMRI o los cascos de detección de EEG. La utilización de simulaciones inmersivas y herramientas digitales para el diseño virtual de espacios, donde se puede interactuar con diversidad de visualizaciones y poder experimentar con variables de diseños obteniendo mayor variedad de datos de referencia. Las técnicas y metodologías evolucionan con rapidez, a la par del desarrollo científico técnico, por lo que establece un sinfín de posibilidades y perspectivas crecientes en la materia.

Gracias a este acercamiento, **umentan los estudios que demuestran** la colaboración entre ramas y el contacto entre neurocientíficos y arquitectos es alentador. Surgen proyectos inspirados en el conocimiento científico, para construir ambientes que contribuyan al mejoramiento de la salud y el bienestar de las personas. Los temas de investigación y las líneas son variados, desde la calidad de espacios en el sistema de salud y la influencia en la respuesta de los pacientes, hasta la mejora del rendimiento de los alumnos a través del medio ambiente construido. Ejemplos de ello son los siguientes estudios:

- REDUCCIÓN DE ESTRÉS MULTISENSORIAL: UN ESTUDIO DE NEURO- ARQUITECTURA EN SALAS DE ESPERA PEDIÁTRICAS. (Higuera-Trujillo et al., 2020) :

Este estudio enfoca su análisis en el efecto que tiene el diseño de las salas de espera de pediatría sobre el nivel de estrés de los acompañantes. Midiendo los niveles de estrés psicológicos y neurofisiológicos en una muestra de 120 sujetos, primero en ambientes reales construidos y luego con las variaciones producidas en las salas a



*Ilustración 2 Implementación de la realidad virtual en estudio. Variación de ambientes Fuente: Higuera-Trujillo et al., 2020*

través de la implementación de herramientas de realidad virtual. El estudio arrojó que los parámetros sensoriales olfativos y de audición influyen mucho más en los niveles de estrés que lo reflejado visualmente. La contribución metodológica de esta investigación y el análisis de satisfacción ambiental combinado e interrelacionado con los parámetros neurofisiológicos son interesantes en el diseño de centros de salud.

- ILUMINACIÓN INTERIOR DE CRONO-BIOINGENIERÍA PARA MEJORAR LAS INSTALACIONES PARA EL ENVEJECIMIENTO Y EL TRASTORNO DE ALZHEIMER. (Ellis et al., 2013):

En este estudio se analiza cómo mejorar el entorno en las hospitalizaciones de adultos mayores o con trastornos de Alzheimer a través de la iluminación interior en el hospital Francis Country Houses. Se ejecuta desde la perspectiva de la crono-bioingeniería, un campo emergente que entremezcla la cronobiología con la ingeniería. En colaboración con un fabricante de luminarias LED trabajan para mejorar la iluminación ficticia y recrea la iluminación de luz diurna a través de la programación “daylightmimicking LED lighting system”. De esta forma se consigue crear entornos saludables a través del uso de la iluminación y evidenciando la interrelación de las investigaciones científicas y prácticas para la mejora del entorno construido.

Desde la perspectiva práctica los arquitectos cada vez son más conscientes de estas investigaciones incluso se ha popularizado la práctica del **Diseño Basado en Evidencia** (EDB, por sus siglas en inglés). EDB no es más que un recurso que parte de utilizar evidencia científica o práctica en el diseño arquitectónico. Este recurso se lleva aplicando desde el 2000, en principio se utiliza en los procesos de diseño y con herramientas de recopilación de datos e información empírica a través de cuestionarios e implicación con el usuario. El nuevo desarrollo alcanzado de investigaciones en neuroarquitectura aumenta las evidencias para aplicar métodos de diseño mejor fundamentados, con lo que, el EDB puede convertirse en un mecanismo que trace un puente entre la investigación científica y la práctica arquitectónica.

Las investigaciones aún siguen su curso y nos encontramos en una etapa exploratoria donde las promesas son mayores que los logros y la forja entre el vocabulario científico y la práctica arquitectura es una tarea ardua (Dougherty & Arbib, 2013). Aun se definen metodologías de aplicación y se ponen en práctica los estudios para validar sus hipótesis, por lo que experimentamos un renacimiento de las prácticas del diseño arquitectónico contemporáneo.

## 2.2 FORMA: LA PERCEPCIÓN Y LA INTERACCIÓN HUMANA CON EL ESPACIO GEOMÉTRICO.

Los procesos ópticos y físicos del sistema visual funcionan biológicamente igual en todos los individuos. Los objetos emiten y reflejan, a distinta escala, radiaciones luminosas, que ingresan en el globo ocular a través de la pupila. La estereometría ocular adapta el iris a los niveles de iluminación, ángulos y precisión de la visión. La luz que penetra se convierte en impulso nervioso que nuestro cerebro procesa para obtener la imagen.

La percepción de estos estímulos y en general de nuestro entorno va más allá del componente físico e incluye los procesos psicológicos dando lugar a la percepción visual.

Es decir, *la percepción visual implica la organización e interpretación mental que realizamos con el uso de la información sensorial visual para alcanzar la conciencia y la comprensión del entorno local, de objetos, eventos, situaciones, lugares, etc.* (Rojas, 2016)

Esta transducción visual, llevó a la comunidad científica a crear modelos y leyes visuales que describan las características del entorno físico. Uno de los modelos más conocidos y base psicológica en la interpretación moderna de los espacios arquitectónicos, son las Leyes de la Gestalt. Estás fueron fundamentales en la teoría racionalista y el planteamiento de la llamada arquitectura Vanguardista a inicios del siglo XX.

La Gestalt fue un movimiento psicológico alemán que surgió en la primera mitad del siglo XX, donde se predicen algunos principios del funcionamiento visual, basados en unir y relacionar grupos, con estímulos percibidos. Afirmaban que la mente simplifica el entorno visual con el fin de comprenderlo y adaptarse. *La escuela de la Gestalt en su momento fue criticada por carecer de mediciones cuantitativas y modelos matemáticos precisos, hoy en día existen muchos enfoques cuantitativos acerca de la teoría de la percepción de la Gestalt. Por ejemplo, los modelos de observadores ideales son una de las herramientas cuantitativas estándar en la investigación de la visión y existe una clara tendencia a tratar de aplicar esta herramienta a la percepción de la Gestalt y, por lo tanto, integrar la percepción de la Gestalt en la investigación de la visión general* (Wichmann & Herzog, 2016)

Las ciencias sociales y en especial la **psicología ambiental** se han vinculado estrechamente con las teorías arquitectónicas de composición y formas de expresión arquitectónica. *En la siguiente tabla puede verse un esquema de las influencias mutuas entre arquitectura y psicología, viendo cómo ni una ni la otra son hechos monolíticos e inamovibles, sino realidades múltiples y cambiamos en el tiempo y en el espacio.* (Muntañola Thornberg, 1986)

ARQUITECTURA	PSICOLOGÍA
Las tendencias expresionistas, dadaistas y surrealistas	Influencia del psicoanálisis en sus diferentes formas
Las tendencias del Internacional Style (Bauhaus, Mies Van der Rohe)	Psicología de la gestal y fisiologías de la percepción
Las tendencias del Stijl holandés y el cubismo	Psicología estructural, epistemológica, genética, etc
Las tendencias constructivistas rusas	Psicología constructivista inglesa
	Psicología de Luria de corte también constructivista
Tendencias racionalistas, con origen vernacular/Bruno Taut). Tipismo	Psicología social internacionalista (teñida de determinismo social)
Tendencias naturalistas, organicistas y morfológicas	Conductismo con base fisiológica

Tabla 1 Resumen de las teorías de percepción. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de Muntañola Thornberg (1986)

El hombre relaciona su campo visual, con un espacio o conjunto de espacios que los rodean, responde y procesa esta respuesta. El procesamiento de la respuesta visual y la síntesis de lo que percibimos se encuentran en el desarrollo de nuestras funciones cerebrales primitivas donde resolvemos y comprendemos el entorno para adaptarnos y sobrevivir.

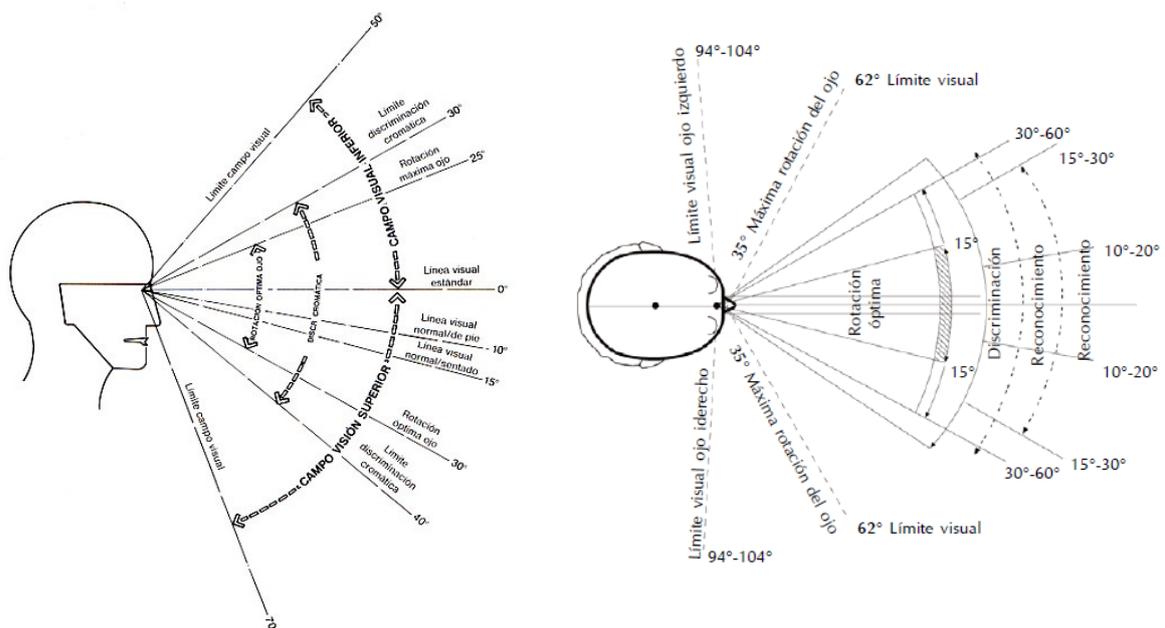
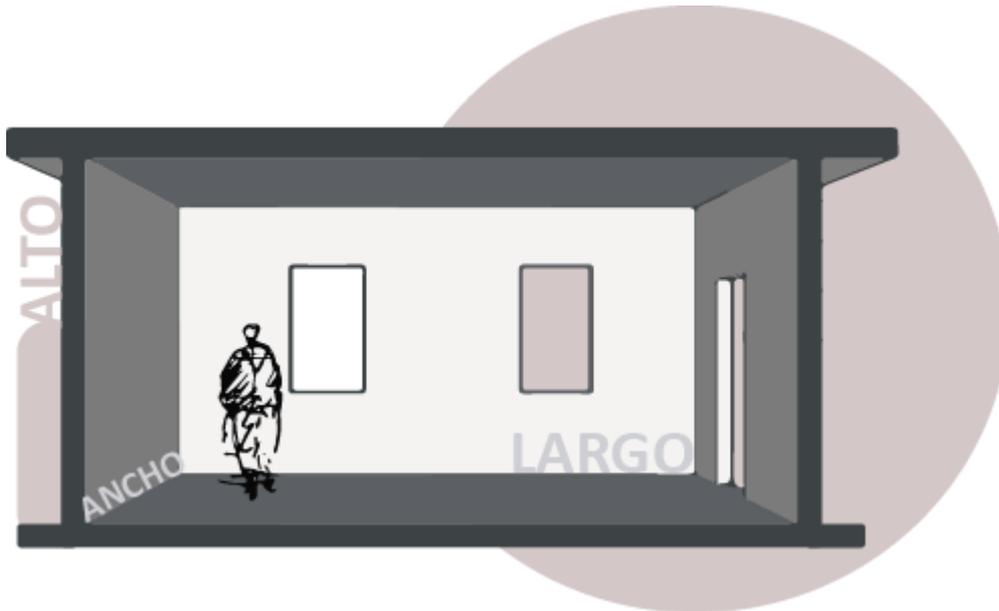


Ilustración 3 Alcance del campo visual en el ser humano. Fuente: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

En el contexto arquitectónico el espacio está determinado por límites visuales creados a través de una interacción con elementos físicos y nuestra percepción visual. *Cuando un espacio se configura se siente, se estructura con sus elementos, comienza a existir. La forma es la característica primaria para expresar un volumen y a su vez definidora de un espacio.* (Ching, 2015)

Ciertas formas se registran más fácil que otras, incluso antes de considerar su contenido y significado. En nuestro campo visual, las formas verticales se registran de manera más activa que los planos horizontales, esto se debe a que nuestro cerebro entiende las formas a través de sus ejes, contorno y contexto con otros elementos. Los planos verticales tienen relaciones proporcionales que se adaptan rápidamente a la amplitud del campo visual. Como en la antigüedad las esquinas, vanos y bordes eran elementos que se decoraban para mantener la relevancia y el poder de la composición arquitectónica.



*Ilustración 4 Imagen de dimensiones y elementos que conforman el espacio. Fuente: Elaboración propia*

En un espacio las dimensiones de ancho, largo y altura se corresponden con los elementos imperativos funcionales que configuran las características del mismo. Estos junto con elementos como color, textura, iluminación y acústica influyen en la percepción relativa del espacio. A lo largo del tiempo las dimensiones de los espacios en arquitectura, son el reflejo de la tradición y los materiales con los que tradicionalmente se diseñaba.

La neurociencia ha permitido el desarrollo de múltiples estudios donde se han podido demostrar con pruebas cuantitativas, la impresión y la percepción de los espacios y cómo influyen sus estructuras en las emociones a través de los impulsos neurosensoriales (Banaei et al., 2019; Glicksohn et al., 2017; Korpela et al., 2002; Roetzl et al., 2019; Shemesh et al., 2017, 2015; Vecchiato et al., 2015) Probando que tendemos a preferir espacios cuadrados relacionándolo con la sensación de seguridad y confort, mientras que los espacios curvos, se evidencian como más interesantes.

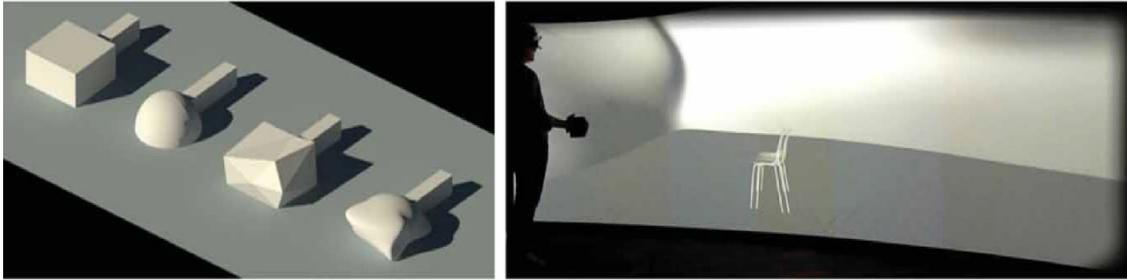


Ilustración 5 Recreación de espacios según el estudio de Shemesh Fuente: Shemesh et al., 2017

El medio construido con el que interactuamos regularmente se convierte, entonces, en un elemento de interacción con nuestro sistema nervioso. Por lo que nos encontramos en constante respuesta a los cambios que se desarrollan. Emitimos respuestas para mejorar nuestras posibilidades de supervivencia a los cambios detectados en el medio ambiente. Si nos encontramos en un espacio y el ruido o la iluminación no son adecuadas, se emitirán respuestas físicas y estas respuestas se podrán evidenciar físicamente en distintos niveles, tanto emocional como metabólico e inmunológico. (Damasio, 2003)

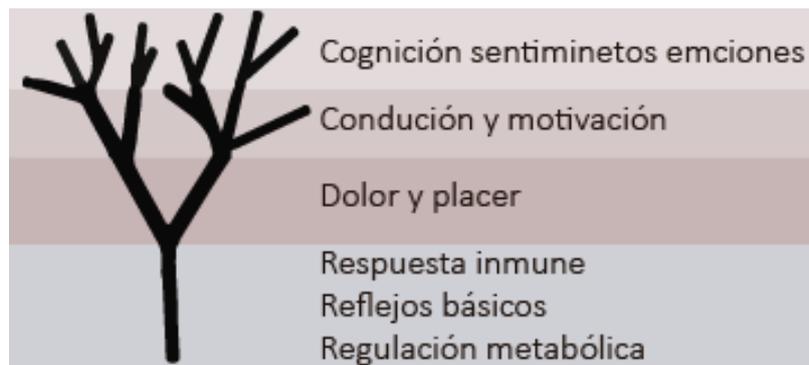


Ilustración 6 Niveles de regulación homeostática automatizada según Antonio R. Damasio Fuente: Traducción y elaboración propia según gráfico de Damasio, 2003

Mayoritariamente no somos conscientes de los efectos que causan la interacción con un medio construido o un espacio. El tiempo y la frecuencia de uso pueden influir en que notemos a corto o largo plazo la incidencia del espacio en el bienestar de las personas, lo que se desarrolla en muchos casos a nivel del subconsciente. Por ejemplo, la exposición a largo plazo en ambientes iluminados artificialmente puede provocar variaciones en el metabolismo, creando trastornos de sueño y problemas cardíacos severos

Aunque los arquitectos y psicólogos ambientales han estado discutiendo este tema durante mucho tiempo, los hallazgos recientes en neurociencia han aportado nuevos puntos de vista a tales discusiones. Con los exámenes de neuroimagen, las reacciones externas que las personas tienen en respuesta a los espacios, como los cambios de comportamiento, y los internos, que resultan en cambios de comportamiento, se pueden analizar fácilmente (de Paiva & Jedon, 2019)

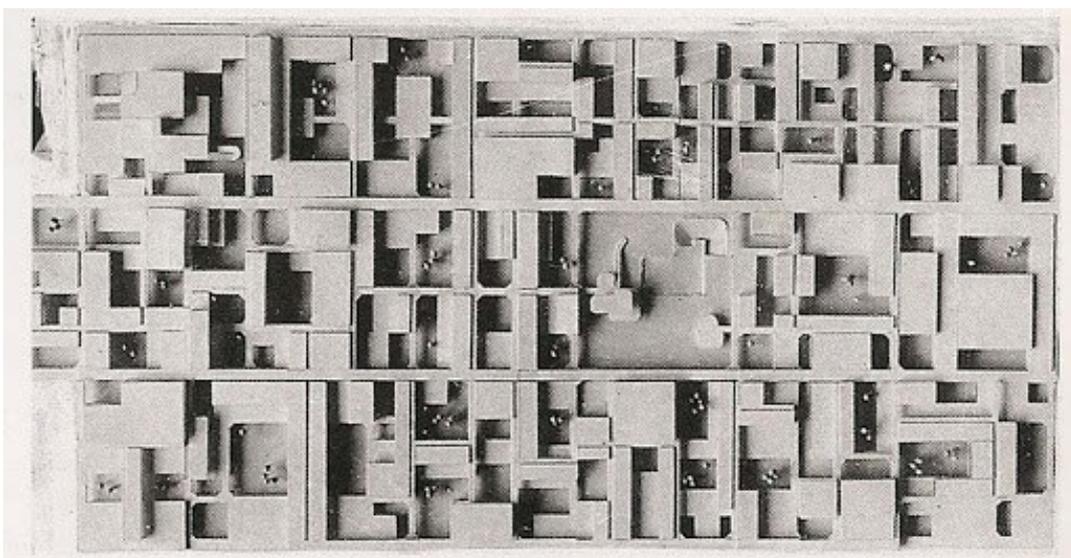
Podemos apreciar entonces, que la complejidad de la mente humana y la forma de interacción con el medio varían en función de los individuos. El análisis a desarrollar es multinivel y extenso en aplicación por la comunidad científica. Debemos utilizar enfoques multidimensionales e integradores para obtener respuestas completas a una cuestión sencilla, - ¿La forma geométrica de un espacio arquitectónico afecta a las personas? -.

## 2.3 LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN AULAS DE LOS ESPACIOS DOCENTES UNIVERSITARIOS

*“La aparición de la escuela era inevitable porque formaba parte de los deseos del hombre”. Luis Khan*

El origen de las universidades se remonta a la edad media, donde los conocimientos estaban custodiados por el clérigo, en su total dominio. No obstante, el empuje del comercio y la burguesía naciente en Europa presionó el desarrollo de permisos para la formación general de los más influyentes, sin pertenecer al servicio de la Iglesia, creándose así las primeras instituciones de formación general. La palabra Universidad proviene del latín *“universitās magistrōrum et scholārium”* que significa comunidad de profesores y académicos. Su fin es preparar a individuos con un nivel de conocimiento superior en una rama o profesión determinada, certificando esta responsabilidad con un título académico.

La universidad como institución ha evolucionado sus conceptos y ha ampliado su espectro de trabajo a través del tiempo, siendo un espacio adaptado a la realidad social, educativa y cultural. El diseño de los espacios docentes ha ido de la mano de la renovación de la pedagogía a mitad del siglo XX. Ha dejado de ser un bloque inmenso e impenetrable de conocimiento, sólo reservado para las clases adineradas, convirtiéndose en un espacio de interacción de conocimiento, abierto dinámico y con oportunidades para cada uno de los estudiantes que acoge. Como espacio arquitectónico ha variado su constitución, reflejando espacios flexibles, para trabajos colaborativos y variabilidad a través de un campus. Los arquitectos han renovado sus espacios adaptándolos a las necesidades de los estudiantes y al desarrollo tecnológico



*Ilustración 7 Planta desarrollo derivado de la investigación de la movilidad de los estudiantes para la Free Univesity Berlin 1963. Fuente: [www.fu-berlin.de](http://www.fu-berlin.de)*

### 2.3.1 El aula: papel y estructura.

Aula: salón preparado y acondicionado para impartir clases; es el espacio primordial en la estructura de un centro docente, donde se desarrolla la mayor parte de la actividad de instrucción. Es el espacio vital, en el que se produce la frecuente interacción entre el profesor y el alumno, donde se humaniza y se refleja el mayor grado de proximidad.

Esta estructura ha evolucionado a través del tiempo según las materias y los conocimientos que se imparten. Su disposición se configura en relación a ello y al mobiliario que se necesite tener. Por ejemplo, los laboratorios de clases prácticas, las aulas de dibujo técnico o salones de ordenadores para brindar a los alumnos todas las estrategias didácticas que permitan potenciar el desarrollo intelectual de la materia impartida.

El **aula de teoría**, a su vez, puede ser uno de los pilares fundamentales dentro de los espacios docente y uno de los que menos intervenciones ha tenido desde el punto de vista arquitectónico. El diseño de estos espacios se debe a conceptos ergonómicos, higienistas, funcionales y económicos (Campos Calvo-Sotelo & Cuenca Márquez, 2016). En principio, estos espacios están diseñados para aislar del contexto al estudiante y centrar la atención en el profesor. El profesor se coloca, así, en una plataforma elevada e imparte los conocimientos, exponiéndose y humanizando su figura con el fin de llegar a la personalización de la enseñanza, para que cada alumno se enfoque y absorba la mayor cantidad de conocimientos posibles

Las formas (en planta) de las aulas han sido en su mayoría ortogonales, cuadradas, o rectangulares. La altura del espacio, se determina en función a características estructurales del espacio. Estas dimensiones se encuentran marcadas por las tendencias antes mencionadas, o por manuales de composición arquitectónica como; el manual de proyectos realizado por E. Neufert, completo e indispensable en los estudios de arquitectura, las Normas y estándares para las construcciones escolares UNESCO , o el

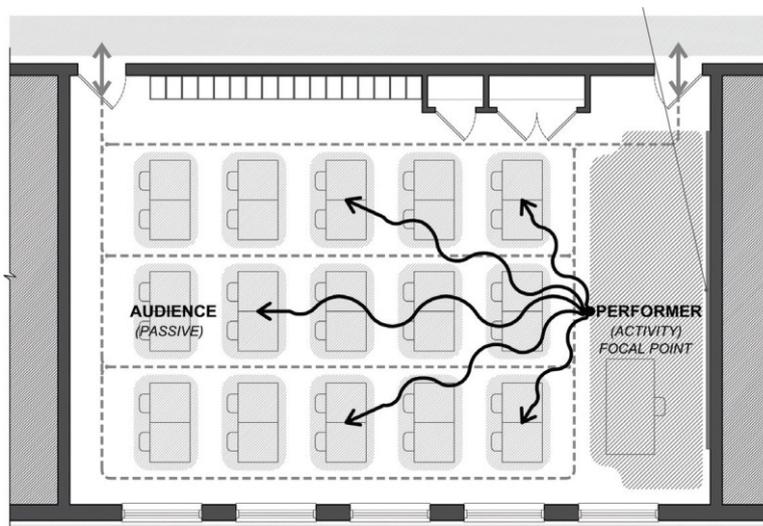


Ilustración 8 Desarrollo del espacio en un aula Fuente: Hertzberger, 2008

manual para Construcción de centros docentes Genralitat (CIEGSa); donde, se diversifican y exponen tipologías para estructurar centros docentes pero sin establecer criterios en función de la actividad principal en ella, aprender.

La actividad que se desarrolla en las clases de teoría en los espacios universitarios, en sí, es un ejercicio con una fuerte carga psicológica. La trascendencia y la recepción de la información por parte de los estudiantes es vital, por tanto, el entorno que lo condiciona influye en ello. Está comprobado, en el estudio citado anteriormente por Shemesh et al., 2017, que, las formas tridimensionales cuadradas u ortogonales, pueden transmitir seguridad estabilidad y fuerza dentro del ser humano. Trasponiéndolo a la estructura de las aulas de teoría, es un paso en el diseño compositivo, que debería convertirse en referente para arquitectos y expertos para estructurar los proyectos de aularios.

En los salones de teoría los manuales de diseño y los arquitectos deberían centrar su atención en cómo obtener la mayor respuesta y absorción de conocimientos por parte de los estudiantes, regir sus parámetros entorno a ello, basar el enfoque en un diseño receptivo. De esta forma, es importante elaborar un manual operacional probado en experiencia científica, sobre las dimensiones estándares que deba tener un aula de teoría para potenciar al máximo la concentración y atención del usuario.

### 2.3.2 Legislación y normativa vigente.

La educación superior en España ha pasado por un proceso de transformación y renovación de sus recursos. En los últimos años, marcada por la crisis económica y la iniciativa del ejecutivo de aplicar políticas sostenibles y de desarrollo, que incluyen la excelencia universitaria para mejor adaptabilidad de los futuros profesionales al medio social y económico europeo.

Las renovaciones educacionales, se han llevado a cabo también dentro del marco económico de la Unión Europea, pues son muchos los esfuerzos que destina la institución en materia de innovación para renovar el panorama educacional. Dispuesta por la implantación del Plan Bolonia, ha creado un espacio de convergencia europea, donde se unifican los sistemas de enseñanza, se garantiza flexibilidad, movilidad e integración de conocimientos e investigaciones. La creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha permitido la unificación de criterios, objetivos y visión, en cuanto a la constitución de leyes y reformas en materia educativa. La máxima se concentra en el aprendizaje centrado en la experiencia educativa del estudiante, aseguramiento de la calidad y el enfoque a elementos a través del resultado del aprendizaje. En términos de estructura las directrices establecidas por la EEES, abogan por la creación de recursos y estructuras sostenibles para apoyar el aprendizaje y así mejorar el sistema, e insiste en la necesidad de designar todos los recursos posibles para

apoyar la educación y la mejora continua del aprendizaje con un enfoque a largo plazo. (European forum for enhanced collaboration in teaching, 2017)

El principal compendio de leyes que regula el sistema de educación superior es el Código de Universidades, creado a partir de la aprobación de la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades. Este código se basa en la autonomía universitaria y en la autogestión del sistema por parte de las instituciones académicas, dando libertad a los centros de la propia gestión de sus recursos. Realza la universidad como una entidad viva que se adapta a los cambios y requerimientos de la sociedad (Código de Universidades, 2020). El código solo compete a normas sobre ordenación académica y titulaciones, normativa estudiantil, normativa sobre el personal docente investigador, Consejos de universidades, régimen disciplinario y normas de organización universitaria.

En cuanto a la estructura de recursos, creación y adaptación de centros se establece el Real Decreto 420/2015 donde se marcan las normas básicas para la creación, autorización y acreditación de universidades y centros universitarios para el desarrollo de sus actividades según la Ley Orgánica 6/2001. Según este texto, uno de los requisitos básicos para la creación y reconocimiento de universidades, en materia de estructura se basa en disponer de instalaciones, medios, y recursos adecuados para el cumplimiento de sus funciones (Sección 1ra, artículo 4d). En materia de instalaciones y espacios arquitectónicos, recoge el Anexo I que determina la superficie de los espacios en dependencia del número de alumnos que se prevea que van a utilizarlo simultáneamente. Según este anexo el mínimo de espacio docente en aulas es de:

- **Hasta cuarenta alumnos: 1 metro cincuenta centímetros cuadrados por alumno.**
- **De cuarenta alumnos en adelante: 1 metro y veinticinco centímetros cuadrados por alumno.**

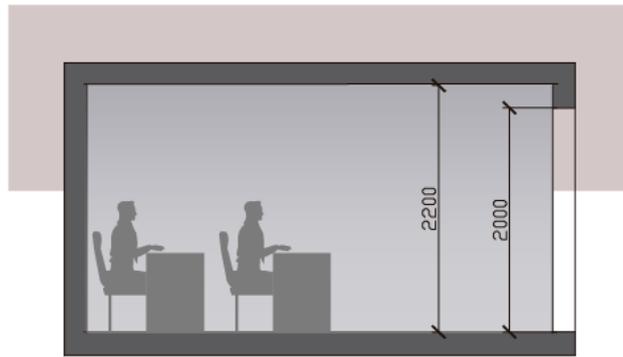
(Real Decreto 420/2015, de 29 de Mayo, de Creación, Reconocimiento, Autorización y Acreditación de Universidades y Centros Universitarios, 2015)

Las disposiciones autonómicas en relación a la creación, modificación o adición de universidades apuntalan las disposiciones estatales, matizando que las propuestas de modificación deberán ser presentadas por los Consejos de las universidades públicas y privadas, para así aprobar la propuesta por el Consell. Una vez aprobada la propuesta, en caso de las universidades públicas, con cargo al presupuesto de la Generalitat.

Desde el marco normativo de Edificación son muchas las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). El Código Técnico de la Edificación (CTE) es la normativa técnica que deben cumplir todos los proyectos de nueva creación o las rehabilitaciones que se realicen en edificaciones existentes. Con respecto a la forma en los espacios el CTE sólo hace referencia a la altura de los elementos fijos de la estructura (entiéndase techos, falsos

techos o iluminación), citando en el Documento Básico (DB) sobre las exigencias básicas de seguridad de utilización y accesibilidad (SUA):

- La altura libre de paso en zonas de circulación será, como mínimo, 2,10 m en zonas de uso restringido y **2,20 m en el resto de las zonas**. En los umbrales de las puertas la altura libre será 2 m, como mínimo. (Código técnico de la edificación. Libro 8, Parte II, Documento básico - DB SUA Seguridad de utilización y accesibilidad, 2008)



- Hasta cuarenta alumnos / Más de cuarenta alumnos

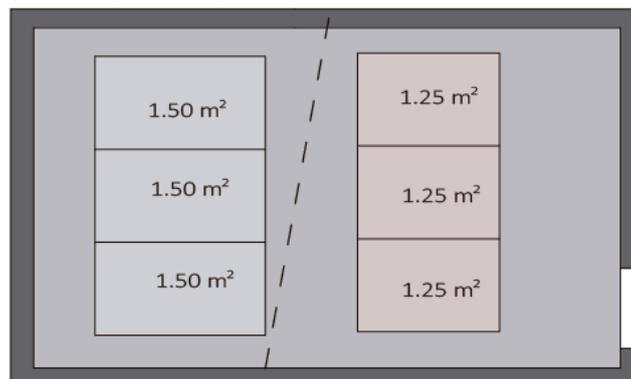


Ilustración 9 Representación de la normativa aplicada en Aularios. Fuente: Elaboración propia

En España el marco legal es variado y con diversas vías de actuación, en lo que se refiere a la arquitectura educativa universitaria, pero en esencia no existe un documento unificando criterios en cuanto a la construcción de espacios docentes universitarios.

## 2.4 LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN LAS FUNCIONES COGNITIVAS DE ATENCIÓN Y MEMORIA EN LOS ESTUDIANTES.

El aprendizaje es una respuesta natural humana fruto de la experiencia y su relación con el entorno. La absorción de información y procesamiento se hace más compleja y madura a través de los años. En el proceso de aprendizaje intervienen considerables habilidades cognitivas que ayudan a nuestro cerebro a procesar la información y comprenderla, como la memoria, la atención, el pensamiento análogo o la comprensión. La pedagogía o la psicología cognitiva se centran en el estudio teórico del proceso de aprendizaje, siempre desde una perspectiva observacional.

En un salón de clases, los estudiantes están expuestos a una carga extensa de información que deben procesar, las funciones de atención y memoria son primordiales para este proceso. La atención de los estudiantes depende de la concentración, la velocidad de respuesta y la atención selectiva. La memoria depende del desarrollo y la plasticidad cerebral y creación de esquemas mentales para captar la información y almacenarla.

Los estudios neurocientíficos describen a las funciones cognitivas como procesos cerebrales y redes neuronales, que permiten procesar la información percibida en interacción de los sucesos que nos rodean, formulando nuestra conciencia, pensamiento voluntario y respuesta al medio. La Arquitectura Cognitiva Humana (ACH) es la estructura biológica que utilizan los expertos para analizar el sistema cognitivo y su relación con la estructura funcional del cerebro. La activación de las redes neuronales de nuestro sistema cognitivo se encuentra distribuido en todas las áreas del cerebro, pero el procesamiento y la conciencia de un pensamiento elaborado se aloja en el sistema tálamo-cortical.

La ACH se compone de una memoria a largo plazo (MLP) y una memoria de trabajo (MT). La MT no puede almacenar mucha información cuando es nueva, desconocida o compleja. La información adquirida a través del tiempo, se desarrolla y aloja en la MLP donde se estructuran los esquemas cognitivos. Los esquemas permiten que la MT agrupe y procese más fácil la información, almacenando el conocimiento mediante incorporación o fragmentación de varios elementos. La Teoría de la Carga Cognitiva elaborada 1994 por Fred Paas y Van Merriënboer explica el proceso de aprendizaje en su relación con las funciones y estructuras cognitivas del ser humano. Esta teoría ha actualizado el modelo desde su planteamiento. Ha incorporado como factor que influye en el aprendizaje, las características del entorno físico, refiriéndose a toda la gama de propiedades físicas de un lugar donde se lleva a cabo la enseñanza y el aprendizaje (Choi et al., 2014), siendo un paso teórico fundamental para exponer que el entorno físico es un factor causal en la carga cognitiva y por lo tanto determinante para el aprendizaje y el rendimiento de los alumnos.

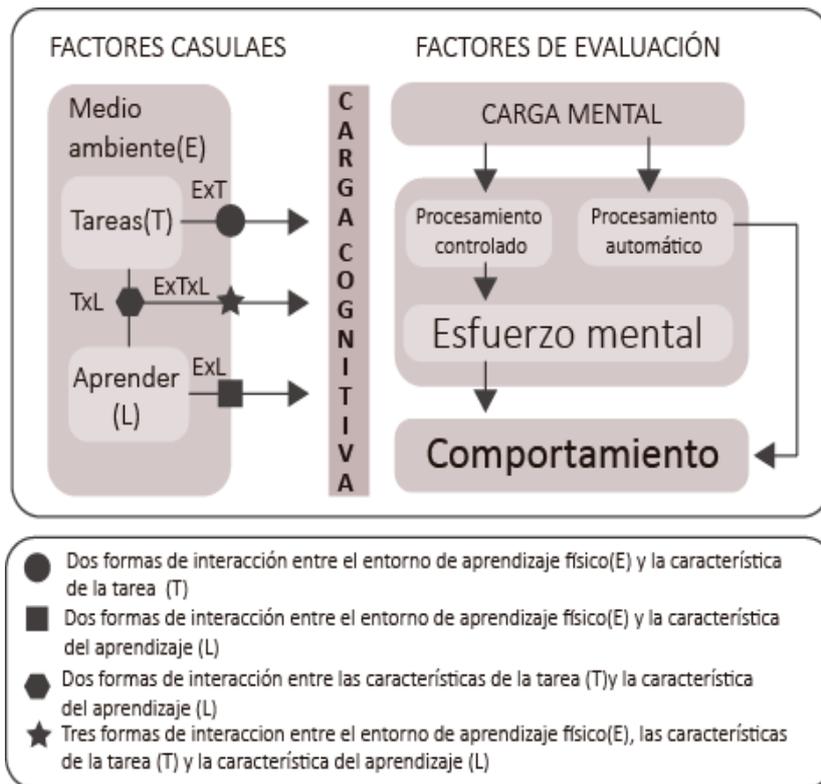


Ilustración 10 Nuevo modelo de carga cognitiva. Traducción y elaboración propia basado en el esquema de Choi et al., 2014

Investigaciones actuales han demostrado la influencia que tienen los parámetros del entorno en el desarrollo del proceso de aprendizaje. Se han aislado los parámetros para evaluar la incidencia individual de cada elemento. Los elementos formales del entorno que más se han trabajado son la temperatura del espacio, el ruido, iluminación, el color o la altura del techo. A continuación, en esta exploración teórica, detallaremos parte de estas investigaciones y sus resultados.

- EL IMPACTO DEL AMBIENTE CONSTRUIDO EN EL AULA EN LAS PERCEPCIONES Y EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES (Marchand et al., 2014)

Este estudio centra su análisis en los factores combinados de luz, sonido, temperatura y su impacto en el aprendizaje de los estudiantes de pregrado norteamericanos, durante las tareas de escucha y lectura. Se elaboró un escenario normal y un escenario negativo (fuera de la zona de confort) con tareas complejas. Las dimensiones del salón de clases preparado fueron de 21x31x10 pies (6,40x9,45x3,05 metros) preparado con sensores para la medición de los parámetros ambientales. La evaluación del estado emocional de los estudiantes se realizó a través de encuestas SVT y la respuesta a la valoración espacial por encuestas de experiencia ambiental. El análisis estadístico de los parámetros se



Ilustración 11 Aula preparada para tareas el estudio. Fuente: Marchand et al., 2014

realizó mediante modelos de ANOVA factorial de 2x2. Como resultado se probó que los estudiantes en un entorno deficiente disminuyen el rendimiento en tareas de escucha o atención, mientras que en tareas de lectura y comprensión pueden aislar las distracciones y obtener mejores resultados El aporte de este trabajo se centra en el uso múltiples modalidades de tareas con distintas cargas cognitivas que intervienen en el proceso de aprendizaje.

- EL IMPACTO HOLÍSTICO DE LOS ESPACIOS EN EL AULA EN EL APRENDIZAJE DE TEMAS ESPECÍFICOS: (Barrett et al., 2017):

Este estudio es uno de los más grandes en su tipo en Reino Unido, donde se evaluaron 153 aulas y 3766 alumnos entre 5 y 11 años para valorar el impacto del diseño físico de las aulas en el progreso de aprendizaje. Examinando diez parámetros constructivos de luz, sonido, temperatura, calidad del aire, vínculos con la naturaleza, propiedad, flexibilidad, complejidad y color. Seleccionaron 30 escuelas, con aulas con características estructurales variadas creando una base de datos extensa. Se registraron con contadores las condiciones ambientales de los espacios. Se contrastaron con los rendimientos de los estudiantes mediante sus evaluaciones

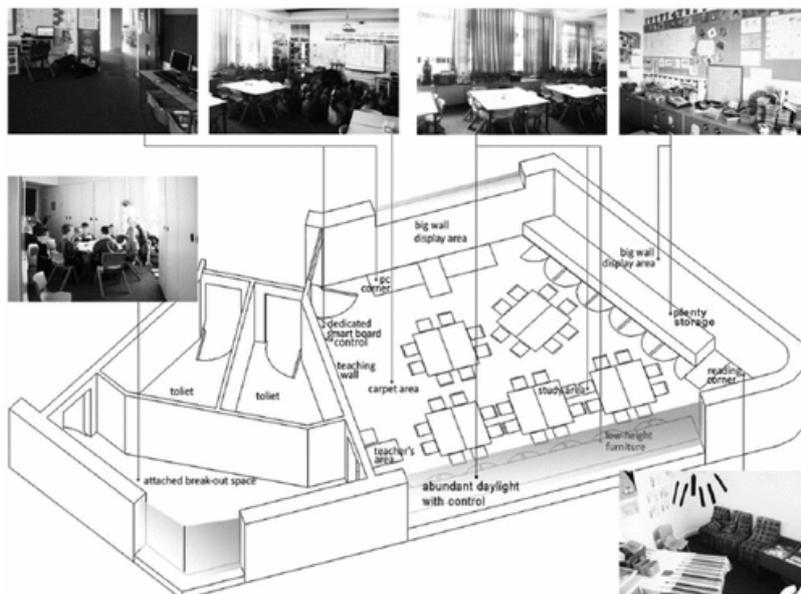


Ilustración 12 Identificación de los parámetros de Barret y colegas en un ambiente construido Fuente: Barrett et al., 2017

durante un año en las materias de Lectura, Escritura y Matemáticas. Aplicaron un análisis bivariado para contrastar los datos empleando un modelo de regresión lineal multinivel. Los resultados del estudio arrojaron que la influencia de los parámetros individualmente y en correlación mostró una variabilidad de un 16% en el rendimiento de los estudiantes. La magnitud detallada de este estudio y el alto grado de granularidad de parámetros y muestras es uno de los aportes más importantes, además de enfocar su razón en la mejora y la calidad de las clases en infantes.

- LA INFLUENCIA DE LA ALTURA DEL TECHO: EL EFECTO DE IMPRIMACIÓN SOBRE EL TIPO DE PROCESAMIENTO QUE LAS PERSONAS EMPLEAN. (Meyers-Levy & Zhu, 2007)

Esta investigación nos acerca al análisis de la altura del techo, como parámetro del medio físico y cómo afecta la manera en que procesamos la información. Se propone desde una perspectiva comercial, donde la altura puede afectar la manera misma en que los consumidores procesan información y, por lo tanto, cómo responden a los productos con los que interactúan. El trabajo se basó en tres modelos experimentales distintos que relacionaban la altura del techo (entre 8 y 14 pies) y las sensaciones percibidas, por estudiantes universitarios a tareas específicas. Una de las conclusiones derivadas del análisis establece que la conciencia de un individuo sobre la influencia del techo se percibe sólo cuando se identifican variaciones notables en la altura de los espacios. El aporte fundamental fue la conclusión de la influencia de la altura del techo en asociación con conceptos emocionales y el tipo procesamiento de un individuo (Ver tabla 2).

Altura del techo	Asociación de conceptos	Tipo de procesamiento	Resultados
Alto	Libertad-Afinidad-Creatividad	Relacional	Integración de datos y abstracción
Bajo	Confinamiento-	Objetivo-Específico	Análisis separados y específicos relativos a datos concretos.

*Tabla 2 Asociación de conceptos con la altura de techo según investigación de Meyers-Levy y Zhu 2017.  
Fuente: Elaboración propia*

## 2.5 LA MEDICIÓN PSICOFISIOLÓGICA EN EL ENTORNO Y LA RESPUESTA DEL SER HUMANO.

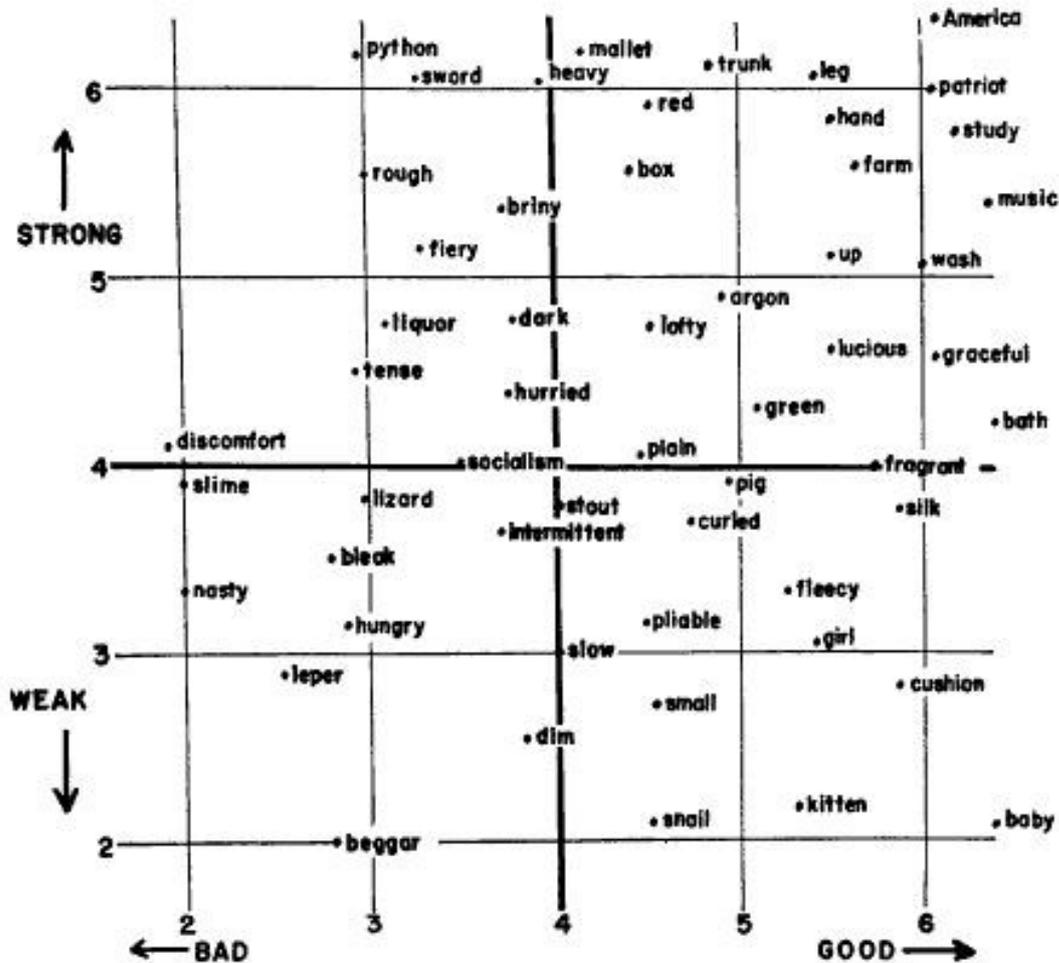
En la investigación del comportamiento en humanos, no se ha establecido un método exacto para descifrar todas las incógnitas que se presentan, debido a la complejidad de su estructura cerebral y emocional. Los científicos plantean enfoques multidimensionales para llegar a un análisis certero de la respuesta. En neuroarquitectura, los modelos de investigación son complejos, ya que los procedimientos se basan en el registro de mediciones tanto físicas como emocionales.

### 2.5.1 Medición de la respuesta afectiva y emocional basados en la respuesta consciente.

Las herramientas de captación de la respuesta psicológica se han establecido mediante diversas metodologías como la observación, el trazado de mapas, entrevistas, grupos de interés, experimentos o cuestionarios, basados en la autoevaluación donde los sujetos responden conscientemente. Estas técnicas se pueden medir de manera cualitativa o cuantitativa en relación con el objetivo de la investigación y muchas se pueden solapar y mezclar para obtener mayores resultados. La realización de cuestionario ha sido una de las herramientas más utilizadas. Permite traducir variables empíricas en respuestas cuantificadas de modo rápido y eficaz (López-Tarruella Maldonado, 2017).

Para la medición de la respuesta emocional, nos basamos en las investigaciones elaboradas por psicólogos ambientales y conductistas, que llevan más de medio siglo validando la respuesta afectiva de los individuos al entorno. Los modelos más destacados para medir la respuesta afectiva en individuos, son los proporcionados investigadores como Rikard Küller, Albert Mehrabian y James A. Russell. Estos se basan en el análisis de escalas semánticas y cómo percibimos el entorno a través de las emociones.

La Descripción Semántica de Espacios (Semantisk Milodeskribing, SMB) (Küller, 1975) es un método para medir y describir la percepción del medio ambiente. Refiere que la percepción del entorno se puede representar en un número limitado de dimensiones significativas. La escala de calificación semántica de Küller se compone de: agrado (pleasantness), complejidad (complexity), unidad (unity), demarcación espacial (enclosedness), potencia (potency), status social (social status), familiaridad (affection) y originalidad (originality). La escala de Küller es una herramienta útil para medir la impresión de los individuos en el entorno, se ha utilizado en diversas investigaciones con valiosos resultados (“Health and behavior of children in classrooms with and without Windows” (Küller & Lindsten, 1992); “Color, arousal, and performance: A comparison of three experiments” (Küller et al., 2009)).



Gráfica 5 Esquema gráfico de representación de la escala de Küller 1975. Fuente: Semantisk Milodeskribing

Partiendo de la base de la semántica diferencial de Osgood y sus dimensiones básicas (fijadas en: evaluación (bueno/malo), potencia (fuerte/débil) y actividad (activo/pasivo) (Osgood et al., 1959)), Russell y Mehrabian desarrollan una investigación de escalas emocionales (Russell & Mehrabian, 1977), en el que realizan un estudio de informe verbal de regresión. Detallan un cuestionario de evaluación de espacios en relación con las emociones denominado como Modelo de Estado Emocional (PAD). En su investigación utilizan tres dimensiones independientes y bipolares para definir adecuadamente los estados emocionales, Placer (agradable-desagradable), Excitación (excitación-no excitación) y Dominio (dominación-sumisión). Plantearon una investigación con una muestra de alrededor de 300 sujetos y más de 150 términos que denotan emociones en escalas semánticas de tipo diferencial.

Las escalas semánticas emocionales de estos investigadores son de mucha utilidad para establecer la estructura de los cuestionarios y obtener resultados cuantitativos. Obtener resultados empíricos a través de cualidades subjetivas es una tarea compleja y dinámica, requiere cuestionarios a medida, donde se definan con exactitud las variables a evaluar y la correcta selección de la muestra.

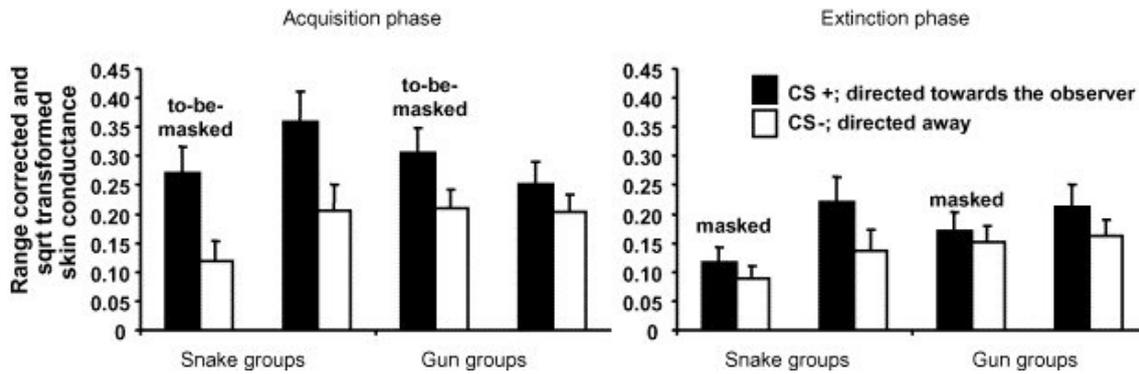
## 2.5.2 Medición de la respuesta afectiva y emocional basados en la respuesta fisiológica.

La medición basada en la respuesta fisiológica humana ha avanzado de manera progresiva a la par del desarrollo tecnológico de escáneres y sensores eléctricos. Las medidas fisiológicas son cada vez más utilizadas en los estudios relacionados con la emoción y la cognición para establecer comparaciones y resultados precisos en relación con los métodos tradicionalmente utilizados.

La actividad del sistema nervioso autónomo (SNA) es vista como un componente importante de la respuesta emocional en muchas teorías recientes de la emoción (Kreibig, 2010) basados en la perspectiva de la *especificidad autonómica de las emociones*. El sistema nervioso autónomo (SNA) es una red de nervios y ganglios que controla involuntariamente parámetros fisiológicos y mantiene la homeostasis interna y las respuestas al estrés. El SNA inerva estructuras en los sistemas cardiovascular, pulmonar, endocrino, exocrino, gastrointestinal, urogenital y **nervioso central**, e influye en el metabolismo y en la regulación térmica. El SNA se divide en dos partes: el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP) (Duke, 2006). La concordancia entre el comportamiento, lo cognitivo y lo fisiológico está implícita en la existencia de estados emocionales específicos de SNA, en el que estos elementos están armonizados de acuerdo con su valor adaptativo (Friedman et al., 2014).

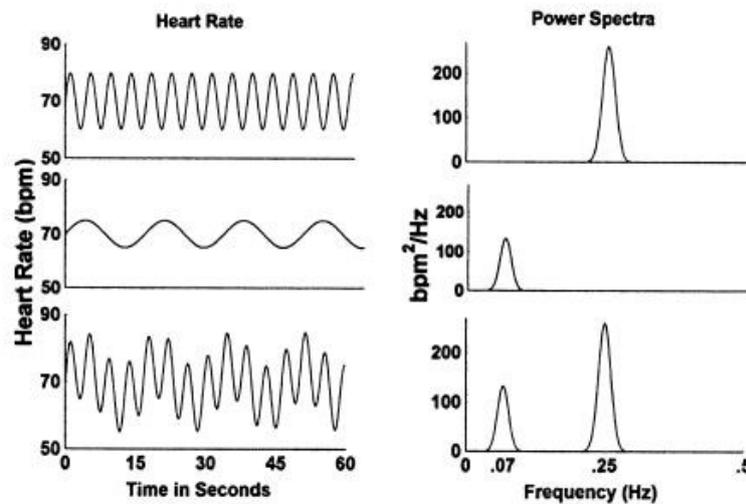
En diversos estudios del SNA en la emoción (Ekman et al., 1983; Epstein et al., 1975; Etzel et al., 2006; Flykt et al., 2007) se han utilizado las mediciones de la respuesta cardiovascular, electrodérmicas y la actividad cerebral debido a que los sistemas integradores más complejos en el hipotálamo influyen en los subsistemas autónomos del tronco encefálico. Los registros de estas respuestas se obtienen midiendo los cambios eléctricos con electrodos con una precisión de milisegundos y mínimamente invasivas.

La respuesta electrodérmicas (EDA) se mide a través de electrodos colocados en la piel y recogen el nivel de conductancia cutánea y se graba en un receptor donde se registra la frecuencia de muestreo. Para medir los resultados se pueden utilizar diversos parámetros como: la tasa de respuesta de conductancia cutánea no específica (nSRR), la respuesta de conductancia cutánea evocada (Scr), la amplitud de respuesta de conductancia cutánea espontánea (SRA) o el nivel de conductancia cutánea (Scl), entre otros.



Gráfica 6 Comparativo de valores de respuesta electrodérmica. Fuente: Flykt et al., 2007

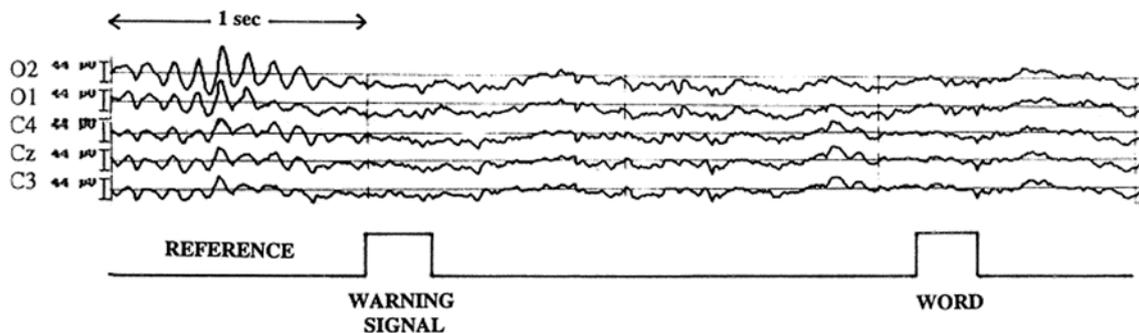
Para registrar la actividad cardiovascular se utiliza los electrocardiogramas (ECG), que son las representaciones gráficas de la actividad cardíaca eléctrica. Para medir los resultados se pueden utilizar diversos parámetros como: la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), el análisis del dominio de frecuencia o la relación de baja frecuencia/alta frecuencia (LF/HF, oscilando entre 0,04-0,15Hz/ 0,15-0,4Hz respectivamente), el coeficiente de variabilidad temporal (Cvt), la desviación estándar de las diferencias sucesivas (SDSD) o el porcentaje de intervalos normales sucesivos de RR sinusal >50 ms (pNN50), entre otros.



Gráfica 7 Representación gráfica de las señales de respuesta cardíaca. Fuente: Beauchaine, 2001

Señales de frecuencia cardíaca ficticias y espectros de potencia asociados. Señales de frecuencia cardíaca ficticias y espectros de potencia asociados. Los paneles superiores representan pura variabilidad de alta frecuencia (0.25 Hz), asociada con RSA. Los paneles centrales representan variabilidad de baja frecuencia (0.07 Hz), principalmente de origen simpático y no neuronal. Los paneles inferiores representan la señal combinada, incluidas las frecuencias altas y bajas componentes. Las señales de frecuencia cardíaca reales incluyen potencia espectral a frecuencias adicionales.

Para medir la respuesta fisiológica neuronal se emplean los escáneres de fMRI o los electroencefalogramas (EEG) para registrar la actividad bioeléctrica del cerebro. El procedimiento de electroencefalografía o EEG ha generado mayor confianza dentro de la comunidad científica, ya que es una técnica menos invasiva y sus instrumentos en la mayoría son portátiles por lo que permite libertad de movimientos e interacción, cuando se realizan estudios ambientales. Así mismo se ha demostrado que el empleo de técnicas de EEG puede ser muy útil en investigaciones relacionadas con el rendimiento cognitivo y de la memoria (Klimesch, 1999). Para medir los resultados se pueden utilizar diversos parámetros como: los registros de variaciones y desincronizaciones en la banda theta y alfa, los cambios de potencia en las bandas o la desviación estándar de las bandas de potencia, entre otros.



Gráfica 8 Ejemplo típico de una época de EEG, que muestra el principio básico de la desincronización alfa. Fuente: Klimesch, 1999.

Muchos de los datos reflejados en estos exámenes son cada vez más utilizados por la comunidad científica, ya que reportan datos a tiempo real de la respuesta fisiológica, resultando de gran ayuda para contrastar los métodos tradicionalmente utilizados.

## 2.6 LA REALIDAD VIRTUAL COMO TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN DE ESTÍMULOS

La realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) consiste en la simulación gráfica de ambientes mediante tecnología informática. En principio estas simulaciones se utilizaron para experiencias en el campo del entretenimiento, pero actualmente se implementan en diversidad de campos para simular y representar visualmente espacios y la relación con el usuario. La tecnología para implementar las simulaciones con realidad virtual se encuentra avanzada, se generan modelos con gran complejidad y detalle que asemejan a entornos reales.

Los entornos virtuales inmersivos (IVE, por sus siglas en inglés) se desarrollaron a partir del desarrollo de las tecnologías VR, permitiendo sumergir al usuario en entornos virtuales realistas. Incluye al usuario dentro del ambiente a través de dispositivos montados en cabeza (gafas o cascos virtuales), utilizando seguimiento y renderizado basado en la posición de la cabeza en tiempo real. Esta experiencia sumerge al sujeto en un ambiente virtual con total autonomía, traduciendo, incluso, los movimientos corporales mediante mandos de juegos o joystick.



*Ilustración 13 Entornos visuales inmersivos: gafas de realidad aumentada y entornos virtuales físicos. Fuentes: <https://www.vive.com>*

La industria de consumo y manufactura fue la primera en incorporar los entornos virtuales en la investigación al analizar la experiencia del usuario para el diseño de producto. El desarrollo de la construcción de modelos basado en información (BIM, por sus siglas en inglés) ha permitido la colaboración de varios programas en la creación de modelos más eficaces y realistas. En el diseño arquitectónico las técnicas de realidad virtual son herramientas cada vez más utilizadas para representar un ambiente y recoger la impresión del cliente o usuario final. La investigación realizada por Daniel Paes plantea un modelo de relaciones en el proceso de diseño de un edificio, donde la representación virtual se corresponde con un componente importante en la relación arquitecto-cliente,

permitiendo una mayor eficacia de los modelos y la satisfacción del usuario final. (Paes & Irizarry, 2016)



Gráfica 9 Mapa de relaciones entre factores humanos, aspectos cognitivos y representación del conocimiento en el proceso de diseño del edificio según investigación de Daniel Paes y colaboradores. Fuente: Elaboración propia.

La utilización de VR (IVE, CAVE o pantalla escritorio) en la investigación científica es cada vez más común para diseñar los ambientes de estudio. Se han aplicado en diversos campos como los espacios sanitarios (Higuera-Trujillo et al., 2020; Persky & McBride, 2009), la psicología conductual (Loomis et al., 1999), la industria o el diseño arquitectónico (Davies, 2004; Paes & Irizarry, 2016). Varias son las ventajas al utilizar estas tecnologías en los estudios de investigación:

- Entorno realista donde cada elemento del ambiente construido puede ser modificado o controlado de forma mecánica, por lo que no se mezclan factores externos, obteniéndose resultados precisos.
- Se incluye a los usuarios en entornos donde pueden interactuar en tiempo real con el contenido del entorno recreado.
- El costo y la aplicación de esta tecnología supone una rentabilidad mayor frente a la creación de espacios reales, pues se pueden realizar múltiples variaciones en cuanto a rediseño espacial y cambios de características en las visualizaciones.

La discusión por parte de los expertos en el uso de estas tecnologías se centra en la sensación de presencia del usuario. Los factores relacionados con la atmósfera y el nivel de legibilidad espacial, aun deberían ser analizados. Así mismo la respuesta a la relación hombre-máquina depende de cada usuario, la sensibilidad y familiaridad de estas tecnologías difiere según edad, experiencia y cultura.

Los modelos inmersivos en la investigación son útiles y bien aceptados por los participantes en los estudios realizados (Tseng et al., 2017). Se ha podido comprobar en los estudios de comportamiento, que cuanto más se parezca una representación ambiental al entorno del mundo real que imita, se espera que las respuestas de los usuarios más realistas serán (Freeman et al., 2000). El uso de tecnologías de realidad virtual en la investigación científica se ha convertido en un acierto total, un medio alternativo, rentable, saludable que arroja resultados veraces en el análisis.

## 2.7 CONCLUSIONES TEÓRICAS

La utilización del marco teórico de la nueva línea experimental de Neuroarquitectura abre un camino de convergencia entre las investigaciones neurocientíficas y el diseño arquitectónico. Las investigaciones centran su curso en la mejora del diseño de espacios y la implicación del bienestar para los usuarios. Aún se están definiendo metodologías de aplicación y se ponen en práctica los estudios para validar sus hipótesis concretas, pero los resultados son alentadores experimentando un renacimiento de las prácticas del diseño arquitectónico contemporáneo.

Las investigaciones analizadas ratifican la hipótesis de que la percepción y el uso de los espacios a corto, medio o largo plazo influyen física y emocionalmente en las personas. Muchos de estos resultados dependen del tiempo y tipo de interacción que realicemos, pero debemos generar conciencia sobre la importancia del medio construido y el impacto que puede crear socialmente.

El aula como espacio arquitectónico constituye un pilar dentro de los espacios docentes. Los alumnos reciben gran parte de sus conocimientos en ella; por tanto, se evidencia con ejemplos de investigaciones recientes cómo las funciones cognitivas de atención y memoria de los estudiantes en clases, se ven afectadas positiva o negativamente por la forma geométrica del espacio. Por tanto, es importante, elaborar un manual operacional probado en experiencia científica, sobre las dimensiones estándares que deba tener un aula de teoría para potenciar al máximo la concentración y atención del usuario.

Para investigar y elaborar la mejor estrategia a desarrollar en el estudio se analizaron con ejemplos prácticos los métodos más utilizados para la medición psicofisiológica. Asimismo, se evidencia la viabilidad del uso de tecnologías inmersivas de realidad virtual en la investigación científica como medio alternativo para la interacción en espacios construidos, ya que resulta un medio alternativo rentable, saludable que arroja resultados veraces en el análisis. Convenimos utilizar diversos enfoques y métodos que arrojen la mayor cantidad de información para analizar la respuesta psicológica y fisiológica y obtener resultados completos.

En este capítulo presentamos una modesta revisión teórica que constituye la base fundamental para realizar la estructura de la investigación y las pruebas en el laboratorio.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

---

En la parte experimental de esta investigación se realizaron una serie de pruebas para evaluar la respuesta de los estudiantes al entorno construido. Las pruebas se generan a través de una serie de tareas que realizan un grupo de participantes mientras se encuentran sumergidos en un escenario virtual. El presente estudio forma parte de un proyecto de investigación que evalúa también los parámetros de color e iluminación de título “El diseño de aula para potenciar los procesos cognitivos del alumnado: una propuesta metodológica para evaluar las variables luz, color y forma” (BIA2017-86157-R, Ministerio de Economía y Competitividad). Las pruebas correspondientes a las tres variables se realizaron al unísono de manera conjunta, intentando que los participantes no fueran conscientes de las variaciones concretas de los parámetros estudiados.

En la Ilustración 14 se muestran la estructura fundamental del experimento. Uno se centra en el protocolo utilizado, las muestras y la selección de criterios (fase instrumental). La segunda parte se centra en la fase de valoración y obtención de datos (fase experimental).

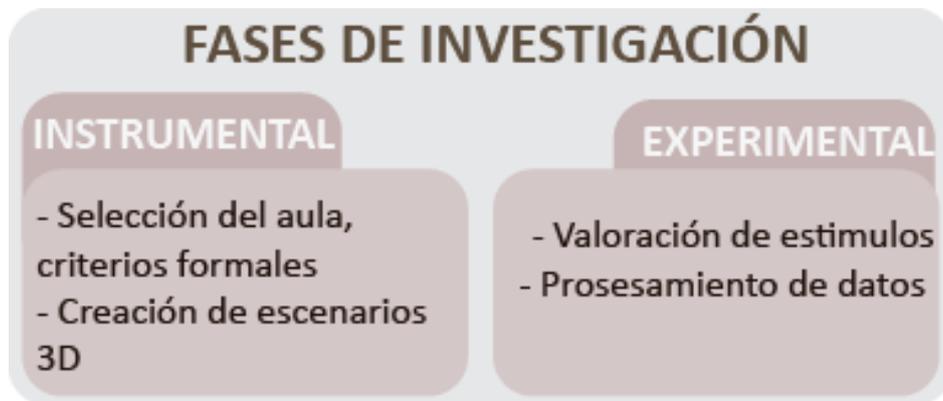


Ilustración 14 Estructura de la Investigación Fuente: Elaboración propia.

### 3.1 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

La primera parte del estudio se centra en la estructura y concepción del protocolo de investigación. Se alistan los medios para llevar a cabo una recopilación de datos eficiente, es una fase de toma de decisiones. Sólo interviene el equipo involucrado en el trabajo de investigación. Se realiza la selección del aula, y los parámetros y criterios por los que se generaran los escenarios virtuales.

#### 3.1.1 Selección del Aula

El aula elegida corresponde a una simulación de un aula real perteneciente a la Universidad Politécnica de València, en concreto corresponde a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (ETSIE). La elección de dicha aula se ha basado en los siguientes aspectos, los cuales debía cumplir estrictamente:

- Ser un aula representativa del espacio docente universitario.
- A su vez, debía contener diferentes variables para permitir su modificación.

La reproducción digital del aula seleccionada tiene algunas diferencias en relación con el aula real pues era necesaria su modificación para que se adaptara a los otros parámetros del estudio como color e iluminación.



*Ilustración 15 Estado real. Fuente: Elaboración propia*



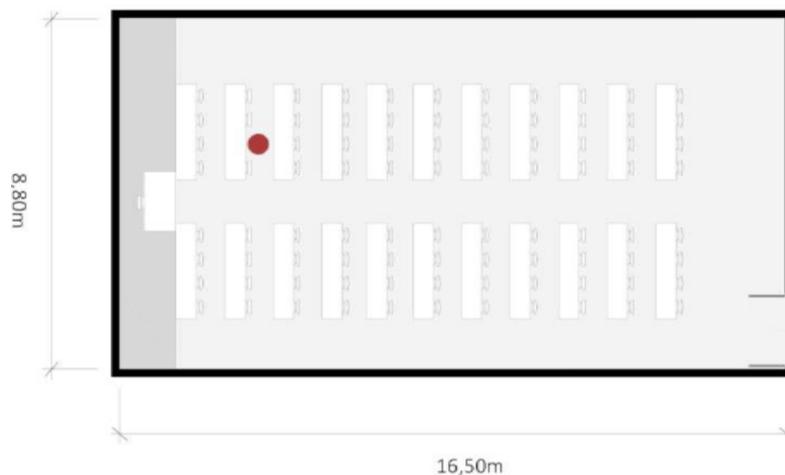
Il·lustració 16 Versió Base de estudi. Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Selecció de los parámetros geométricos.

Para la selecció de los parámetros geométricos a analizar se tomaron la altura, el ancho del aula y la distancia a la pizarra del observador. Juntos constituyen los principales parámetros relacionados con el volumen percibido por parte del observador (considerando que su punto de atenció se focaliza al frente). Como diseño de partida se tomaron las relativas al "aula base" (la réplica virtual adaptada), considerando por tanto las medidas reales del aula ESTIE.

ETSIE	Largo	Ancho	Alto	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	(metros)	(metros)	(metros)	(l*a*h) m3	(l/a)	(l/h)	(a/h)	(l-a/l-h)	(a-l/a-h)
28	16,46	8,83	3,802	552,589	1,864	4,329	2,322	0,603	-1,517

Tabla 3 Selecció de parámetros del "aula base". Fuente: Elaboración Propia.



Il·lustració 17 Estructura del Aula utilizada para el estudio. Fuente: Olcina.F, 2019.

Partiendo de ello se establecieron las configuraciones de parámetros para los diferentes escenarios. Para cada parámetro se aplicó una modificación de X-0.6m y X-1.2m; siendo X la dimensión del “aula base”. La combinatoria, una matriz de 3x3, dio lugar a 27 configuraciones diferentes. La tabla las muestra pormenorizadamente. Como se ha comentado, este estudio forma parte de un proyecto más amplio, en el que se analizaron los principales parámetros relacionados con el volumen. En este trabajo se mostrará, sin embargo, únicamente los resultados correspondientes a la altura del techo.

SERIE FORMA			
Código	Techo	Ancho	Pizarra
ETSIE			
58	X – 1’2 m	X m	X
60	X – 1’2 m	X – 0’6 m	X
62	X – 1’2 m	X – 1’2 m	X
64	X – 1’2 m	X m	X – 0’6 m
66	X – 1’2 m	X – 0’6 m	X – 0’6 m
68	X – 1’2 m	X – 1’2 m	X – 0’6 m
70	X – 1’2 m	X m	X – 1,2 m
72	X – 1’2 m	X – 0’6 m	X – 1,2 m
74	X – 1’2 m	X – 1’2 m	X – 1,2 m
76	X – 0’6 m	X m	X
78	X – 0’6 m	X – 0’6 m	X
80	X – 0’6 m	X – 1’2 m	X
82	X – 0’6 m	X m	X – 0’6 m
84	X – 0’6 m	X – 0’6 m	X – 0’6 m
86	X – 0’6 m	X – 1’2 m	X – 0’6 m
88	X – 0’6 m	X m	X – 1,2 m
90	X – 0’6 m	X – 0’6 m	X – 1,2 m
92	X – 0’6 m	X – 1’2 m	X – 1,2 m
28	X m	X m	X
94	X m	X – 0’6 m	X
96	X m	X – 1’2 m	X
98	X m	X m	X – 0’6 m
100	X m	X – 0’6 m	X – 0’6 m
102	X m	X – 1’2 m	X – 0’6 m
104	X m	X m	X – 1,2 m
106	X m	X – 0’6 m	X – 1,2 m
108	X m	X – 1’2 m	X – 1,2 m

Tabla 4 Configuraciones de los parámetros de la variable forma para los 27 escenarios visualizados por los participantes. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3 Generación de escenarios virtuales

Los modelos se reprodujeron digitalmente según las dimensiones del “aula base” y la matriz de combinaciones. El modelado tridimensional fue elaborado utilizando Rhinoceros (v5, McNeel). Los materiales y luces finales se aplicaron utilizando Autodesk 3ds Max v2015 (Autodesk Inc., 2015) y su renderizado fue ejecutado en Vray (V-Ray Para 3ds Max Chaos Group, 2015). Como punto de visión se estableció el correspondiente a un estudiante sentado en el segundo puesto de la segunda fila de la derecha, y como perspectiva la correspondiente a una mirada centrada y normal a la superficie de la pizarra. El formato de salida de las imágenes fue en JPG, configuradas como panoramas de 360º y con resoluciones de 6000 × 3000 píxeles a 300 puntos por pulgada. La ilustración 18 muestra las diferentes combinaciones de simulaciones empleadas para esta experiencia

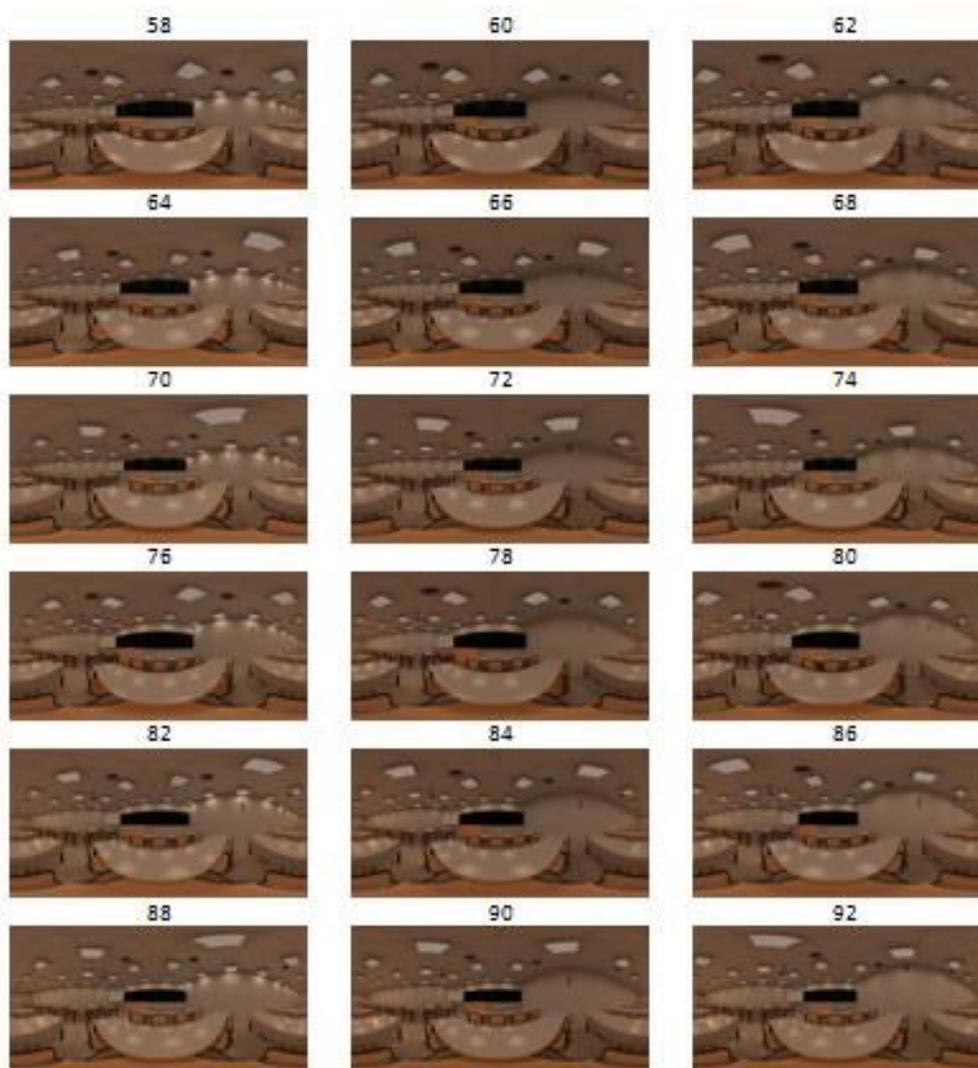


Ilustración 18 Generación de los 27 escenarios visualizados para la variable de forma (1). Fuente: Elaboración propia.

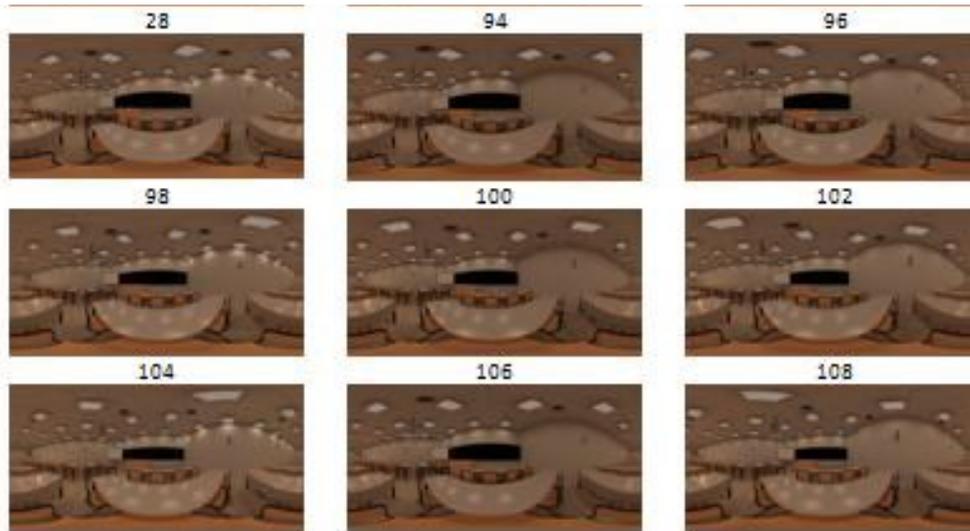


Ilustración 19 Generación de los 27 escenarios visualizados para la variable de forma (2). Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Protocolo de investigación

Para la realización de la presente investigación se estructuró un protocolo a seguir rigurosamente. Cada uno de los sujetos involucrados en el estudio visualizó cinco escenarios diferentes, siempre intercalando los diferentes parámetros (iluminación, forma y color) con el fin de que los participantes no centraran la atención en un solo parámetro. Se desarrollaron dos tareas, una de “Atención” y otra de “Memoria” por cada uno de los escenarios visualizados. Al final de cada visualización se realizó la valoración del escenario a través de un cuestionario de autoevaluación.

A continuación, se refleja una tabla resumen con el desarrollo del protocolo, el detalle de su estructura se detalla en el Anexo 2. Se estimó la duración total de las pruebas para cada sujeto será de 80 a 90 minutos aproximadamente.

CONCEPTO		TIEMPO (MINUTOS)	
Preparación	<b>INICIO CON EL PARTICIPANTE</b> Recepción, indicaciones básicas, firma del consentimiento, cuestionariodemográfico, y colocación de dispositivos de registro neurofisiológico.	≈9	↓
	<b>TEST DE ISHIHARA</b> El entrevistador muestra las 21 imágenes, y apunta si acierta o no la solución.	≈1	
	<b>PRUEBA ESCENARIO BASE</b> Visión del escenario “BA”. Para ajustar las HTC y acostumbrar al participante. 0. “Visualiza el espacio, y cuando te sientas cómodo podemos continuamos”. 1. El entrevistador lanza la versión “_EN” de “BA”. “Durante la prueba verás este tipo de estímulos. Llegado el momento te preguntaré valoraciones sobre el espacio, que tendrás que valorar mediante una escala como esta”. Tras esto, el entrevistador retira las gafas al sujeto con cuidado.	≈1	
<b>EJECUTAR ESTUDIO IMOTIONS</b>	≈0		

	El entrevistador ejecuta el estudio, según lo indicado en el protocolo.		
	<b>LÍNEA BASE</b> Ojos Abiertos + Ojos Cerrados	3 (1'5+1'5)	
	<b>INSTRUCCIONES GENERALES</b> <i>"A continuación escucharás un audio. Después te verás inmerso en un espacio. Imagina que es un aula universitaria en la que recibes clase. Obsérvala durante 90 segundos. Después realizarás una serie de tareas y cuestionarios. En los cuestionarios no hay respuestas correctas ni incorrectas. No emplees demasiado tiempo, y da la que mejor describa cómo te sientes. Esto se repetirá seis veces".</i>	≈1	
	<b>COLOCAR HTC EN PARTICIPANTE</b> El entrevistador ajusta las gafas al participante, con cuidado de no interferir con los electrodos.	≈1	
Experiencias (en iMotions)	<b>AUDIO DE DESCANSO</b> El entrevistador lanza el escenario "NE" en la aplicación VisorHTC360. Es un escenario negro. <i>"Por favor, escucha este audio e intenta relajarte mientras lo haces".</i>	1	→#1→#2→#3→#4→#5→#6 (Anexo 1)
	<b>EXPERIENCIA DEL AULA</b> El entrevistador lanza el escenario elegido (Anexo 1). Pulsa "Ctrl+F5" al iniciar la visión, y "Ctrl+F8" tras 1 minuto.	1	
	<b>TAREA DE MEMORIA</b> <i>"A continuación escucharás una lista de palabras. Intenta recordarlas. Después se te pedirá que las repitas sin importar su orden en un tiempo de 30 segundos. Esto se repetirá tres veces".</i> El entrevistador lanza tres listas en audio (Anexo 2). Tras su reproducción, pide que repita las palabras. El entrevistador apunta todas. Después las filtra en acierto o error (Anexo 3).	3	
	<b>TAREA DE ATENCIÓN</b> <i>"A continuación escucharás una serie sonidos. Debes reaccionar lo antes posible ante un estímulo haciendo un solo clic de ratón, y evitar hacerlo con otros. El estímulo al que debes reaccionar es este...; y el estímulo al que no, es este...".</i> El entrevistador ejecuta la aplicación.	4	
	<b>VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA</b> El entrevistador lanza la versión "_EN" del escenario en que se encuentre. Y pregunta las valoraciones de los aspectos descritos en el cuestionario. Tras esto, si tiene que visualizar otro escenario se vuelve al principio de "Experiencias". Sólo si está visualizando el escenario "01" o "02", se pasaría el cuestionario Motivación (siguiente fila) antes de volver al principio de "Experiencias". Si es el último escenario se le retiran las gafas.	≈1	
	<b>CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]</b> <i>"Por favor, completa el siguiente cuestionario".</i> El entrevistador retira las gafas con cuidado. Tras esto, se le vuelven a ajustar las gafas y se vuelve al principio de "Experiencias" para visualizar el siguiente escenario.	≈1	
	<b>CUESTIONARIO DE PRESENCIA</b> Cuestionario SUS, para toda las experiencias en general	≈1	
Post-experiencias	<b>FINAL CON EL PARTICIPANTE</b> Retirada de dispositivos, acompañamiento a la salida	≈4	← 1
	<b>TOTAL</b>	≈81	

Tabla 5 Tabla resumen con el desarrollo del protocolo de investigación (\*En cursiva y entrecorriado, los comentarios a ser narrados por el entrevistador). Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 COMPILACIÓN DE DATOS

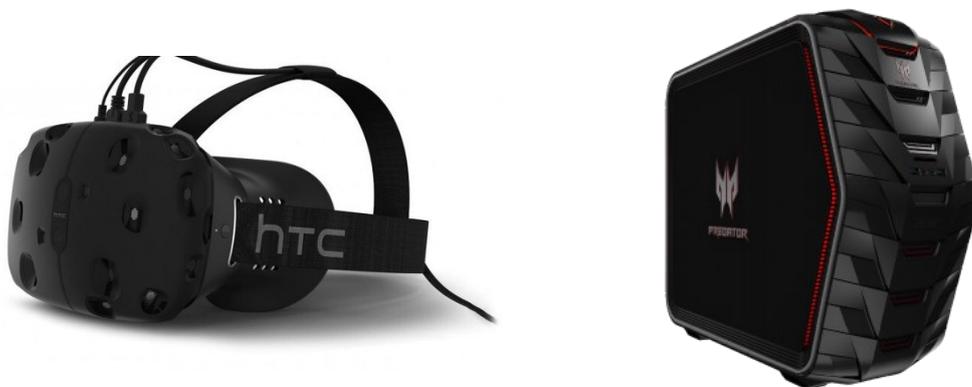
La segunda parte del estudio se centra en la recogida y procesamiento de los datos según el protocolo de investigación. Se preparan las visualizaciones y se ejecutan las tareas por los participantes. En esta etapa se precisa de la interacción de los técnicos con los participantes para la ejecución de las pruebas.

### 3.2.1 Muestra

Para el estudio se marcó como referencia que los participantes fueran estudiantes que se encontraran dentro del rango de edad de 18 a 30 años entre mujeres y hombres. Para evitar la dispersión en los resultados debido a diferencias culturales también se acotó la muestra según nacionalidad, permitiendo únicamente sujetos españoles. Estas restricciones intentan acercar la muestra seleccionada al perfil de un estudiante universitario español tipo que se corresponde con el mayor porcentaje de sujetos que utilizan las instalaciones de la universidad. La muestra estuvo balanceada en sexo, contando con 48 mujeres y 39 hombres. La edad media fue de 23.5 años.

### 3.2.2 Visualización de estímulos

La prueba de estructuró para la visualización de estímulos a través del uso de tecnología inmersiva de realidad virtual. Se utilizaron sistemas de simulación ambiental a nivel visual, como el dispositivo HTC Vive (*VIVE Pro*, 2020.) comúnmente conocidas como unas gafas de realidad virtual. Estas gafas de VR contienen 32 sensores para cubrir los 360º de desplazamiento con una resolución de 2160x1200 píxeles, un campo de visión de 110º y una frecuencia de actualización de 90 Hz. El dispositivo VR se conectó a un un PC de investigación Predator G6 (*Acer Predator*, 2020.), mediante DisplayPort 1.2 y USB 3.0.



*Ilustración 20 Herramientas utilizadas para la generación y visualización de estímulos. Fuente: VIVE Pro, 2020 y Acer Predator, 2020*



Ilustración 21 Imágenes del salón preparado para el estudio. Fuente Propia.

### 3.2.3 Tratamiento de datos.

Para este estudio, fundamentado en los principios de la neuroarquitectura, se realizó un registro de los datos utilizando cuestionarios, ejecución de tareas y autoevaluaciones ya probados en los estudios de ciencias del comportamiento y el registro de elementos biométricos y señales neurofisiológicas utilizados en los estudios de neurociencia.

#### 3.2.3.1 Registros psicológicos

##### **CUESTIONARIOS**

En la estructura de la investigación, se elaboraron varios modelos de cuestionarios para registrar la impresión psicológica de los participantes.

##### **Test de Presencia**

El test de presencia se basa en el SUS questionnaire, llamado así por las iniciales de los autores Slater, Usoh y Steed, que en su estudio desarrollado en 1994 probaron el nivel de inmersión en entornos virtuales de varios participantes (Slater et al., 1994). Este test se considera una herramienta confiable y rápida para medir la sensación de presencia (la sensación de “estar ahí”, en una simulación virtual). Se basa en siete ítems valorados mediante una escala Likert de 1 a 7. La finalidad de dicho test es la comprobación de que los escenarios virtuales se aproximan lo máximo posible a la realidad.

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

Tabla 6 Cuestionario para Test de presencia. Fuente: Elaboración propia.

### Autoevaluación Cognitiva

Para este punto, los sujetos responden a una serie de cuestiones relacionadas con el escenario recién proyectado, en relación a las pruebas y su motivación al hacerlas. La escala de la valoración es de -4 a 4 en una escala de Likert (Likert, 1932), según cree el sujeto que el entorno visualizado ha fomentado, o no, alguno de los aspectos (memoria, atención y motivación) en el desarrollo de la tarea.

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

Tabla 7 Cuestionario de Autoevaluación cognitiva. Fuente: Elaboración propia.

### Valoración Ambiente

El test de valoración ambiental es un cuestionario que también está valorado en una escala Likert(Likert, 1932) de -4 a 4, siendo -4 la puntuación más baja donde el sujeto está en desacuerdo con la descripción y 4 la que el sujeto cree más adecuada con diferentes aspectos relacionados con el escenario proyectado. Algunos de ellos son, por ejemplo, en qué grado le gusta el escenario o ambiente que están visualizando, la funcionalidad que puede tener, la calidez, en qué grado permite concentrarse, si le parece un aula actual y el grado de iluminación natural e iluminación artificial.

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

Tabla 8 Cuestionario de valoración del ambiente visualizado. Fuente: Elaboración propia.

## TAREAS DESARROLLADAS EN LAS VISUALIZACIONES

Las tareas de memoria y atención se desarrollan como ejercicio central de la investigación. Los registros de estas tareas representan el objetivo del trabajo y la búsqueda de respuestas a las incógnitas presentadas.

### Tarea de Memoria

En la tarea de memoria el sujeto escuchaba un total de 3 audios por visualización. Cada audio contenía una lista de 15 palabras (relacionadas entre sí) que debía memorizar. Una vez finalizado el audio, el sujeto debía nombrar cada palabra que recordaba. El procedimiento de esta tarea ha sido basado en el estudio de Alonso et al. (2004), donde se prueba la utilidad de las listas de palabras compuestas por 15 asociados para estudios complejos de distorsión de memoria. A continuación, se adjunta el repertorio de listas con sus respectivas series de palabras:

LISTA					
LISTA 1	LISTA 2	LISTA 3	LISTA 4	LISTA 5	LISTA 6
película	fuego	dolor	día	pie	música
arte	cigarro	daño	luna	cordón	cuerdas
televisión	chimenea	herida	oscuridad	tacón	tocar
oscuro	tabaco	rotura	estrellas	bota	española
visión	gris	fútbol	negra	andar	eléctrica
actor	incendio	pierna	dormir	zapatilla	flamenco
teatro	fumar	grave	luz	suela	canción
mudo	señal	roto	sueño	sandalia	rock
butaca	olor	accidente	vida	cuero	concierto
pantalla	leña	fractura	cielo	incómodo	piano
espectáculo	sucio	corte	fiesta	media	punteo
vídeo	indio	rodilla	soledad	caminar	tambor
estreno	hoguera	brazo	larga	apretado	acordes
proyector	ceniza	enfermedad	juerga	calzado	acústica
entretenido	aire	rasguño	miedo	betún	clásica
LISTA 7	LISTA 8	LISTA 9	LISTA 10	LISTA 11	LISTA 12
sitio	alas	música	amor	soldado	maullido
aquí	volar	canto	rojo	militar	arañazo
parte	colores	melodía	latido	guardia	ratón
mancha	gusano	cuan	vida	general	uñas
campo	bonita	voz	sangre	ejército	tejado
espacio	belleza	letra	partido	policía	felino
monte	jardín	ritmo	orégano	mili	bigotes
punto	efecto	nana	roto	batallón	liebre
allí	libre	tono	infarto	represión	persa
éste	insecto	sonata	león	regimiento	pardo
estar	parque	ópera	bombear	oficial	mascota
rincón	frágil	guitarra	caliente	infantería	fiereza
región	larva	armonía	vena	guerra	casabel
ciudad	oruga	festival	alma	coronel	angora
origen	planta	villancico	arteria	aviación	suave
LISTA 13	LISTA 14	LISTA 15	LISTA 16	LISTA 17	LISTA 18

alegría	paz	cuello	leer	puerta	rey
juerga	muerte	alta	lectura	cerradura	reina
diversión	lucha	zoo	letras	abrir	espinas
baile	horror	selva	hojas	llavero	diamantes
marcha	odio	manchas	estudiar	candado	real
verbena	sangre	África	entretenimiento	iglesia	oro
noche	violencia	árbol	aprender	cerrojo	cabeza
guateque	destrucción	grande	sabiduría	metal	laurel
grande	fusil	sabana	página	coche	funeral
feliz	mal	larga	estantería	maestra	princesa
música	batalla	jungla	enciclopedia	entrar	dorada
champán	armas	avestruz	cultura	cerrar	diadema
feria	fatal	safari	capítulo	blindada	aro
disfraces	sucio	patas	biblioteca	agujero	patria
confetis	fría	lechuga	cuento	bolso	poder

Tabla 9 Listado de palabras utilizado en la prueba de memoria. Fuente: Elaboración propia.

## Tarea de Atención

La tarea consiste en un ejercicio de atención. El sujeto recibe la instrucción por parte del entrevistador/a que identifique un sonido (sonido objetivo) dentro de un conjunto de sonidos similares, y que al escucharlo (sonido objetivo) tiene que hacer clic con el ratón lo más rápido posible. Al mismo tiempo, debe evitar hacerlo ante otros cuatro (sonidos distractores). En total, el sujeto escuchaba 120 sonidos de manera aleatoria en tres rondas por escenario. El procedimiento de esta tarea ha sido basado en el estudio de Seidman et al., (1998, donde demuestran el impacto de las tareas de vigilancia auditiva con el desarrollo de la memoria de trabajo y el filtrado de interferencias a la red activada. Este estudio se considera una referencia pues logró establecer correlaciones entre el rendimiento y la activación a través de estos ejercicios.

### 3.2.3.2 Registros Fisiológicos

Para registrar toda la información aportada por los sujetos se modeló la secuencia de la prueba en el programa iMotions (*iMotions*, 2020), donde se registraron y sincronizaron los datos recogidos por los dispositivos biométricos conectados en los participantes

#### **ACTIVIDAD ELECTRODERMICA (EDA O ELECTRODERMAL ACTIVITY)**

Se utilizó para registrar los parámetros de conductancia de la piel y así registrar fisiológicamente la actividad externa a los estímulos presentados. Para el registro de los datos EDA se utilizó un dispositivo Shimmer 3 GSR + grabando a 128 Hz (Shimmer Sensing, 2020). El análisis de los datos se realizó gracias al toolbox Ledalab (v.3.4.9), funcionando en Matlab (v.2016a). Este estudio facilita, entre otras métricas, la diferenciación de dos factores relacionados con la respuesta, siendo la fásica una respuesta ágil y esporádica, fuertemente ligada a la conducta ante un estímulo; y la tónica una respuesta más pausada vinculada al nivel basal.



Ilustración 22 Dispositivo Shimmer para registro de actividad electrodérmicas. Fuente: Shimmer Sensing, 2020

### **VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA (HRV O HEART-RATE VARIABILITY)**

Para el registro de los datos HRV se utilizó un dispositivo b-Alert X10 registrando en 256 Hz (iMotions, 2020.) El análisis de los datos de la señal raw se realizó gracias al toolbox HRVAS (v.2019-03-21), funcionando en Matlab (v.2016a). El pre-procesado consistió en: (1) detección de los puntos R mediante el algoritmo Pan-Tompkins (Pan y Tompkins, 1985); y (2) diagnóstico visual de latidos ectópicos y sus correcciones, y eliminación de intervalos demasiado ruidosos. El análisis trató los intervalos entre latidos resultantes en el tiempo-frecuencia según Welch (Welch, 1967), considerándose unas frecuencias de 0.05-0.15 Hz para LF y 0.15-0.4 Hz para la HF (Berntson et al., 1997).

Este estudio facilita, entre otras métricas, la clasificación espectral con el fin de diferenciar dos bandas de frecuencia. Por una parte, la vinculada con el sistema simpático (incremento de la excitación) o LF; por otra parte, la relacionada con el sistema parasimpático (incremento de la relajación) o HF.

### **ELECTROENCEFALOGRAMA O EGG**

Para registrar la señal EGG también se utilizó el dispositivo b-Alertx10 (iMotions, 2020). Para el correcto funcionamiento de los sensores de espuma pegados al “sensor trip”, se utilizó crema conductora. La señal fue pre-procesada y analizada usando el toolbox EEGLAB (v14.0.0b) a través de Matlab (v.2016a). En este trabajo, se calculó la métrica

de la banda high beta (21-30 hz) del electrodo C3, relacionada con el estrés y asociada con el nivel de alerta (Marzbani, H et al, 2016)).



*Ilustración 23 Herramienta b-Alertx 10 para registro de señales EGG y colocación de los sensores. Fuente: iMotions, 2020*

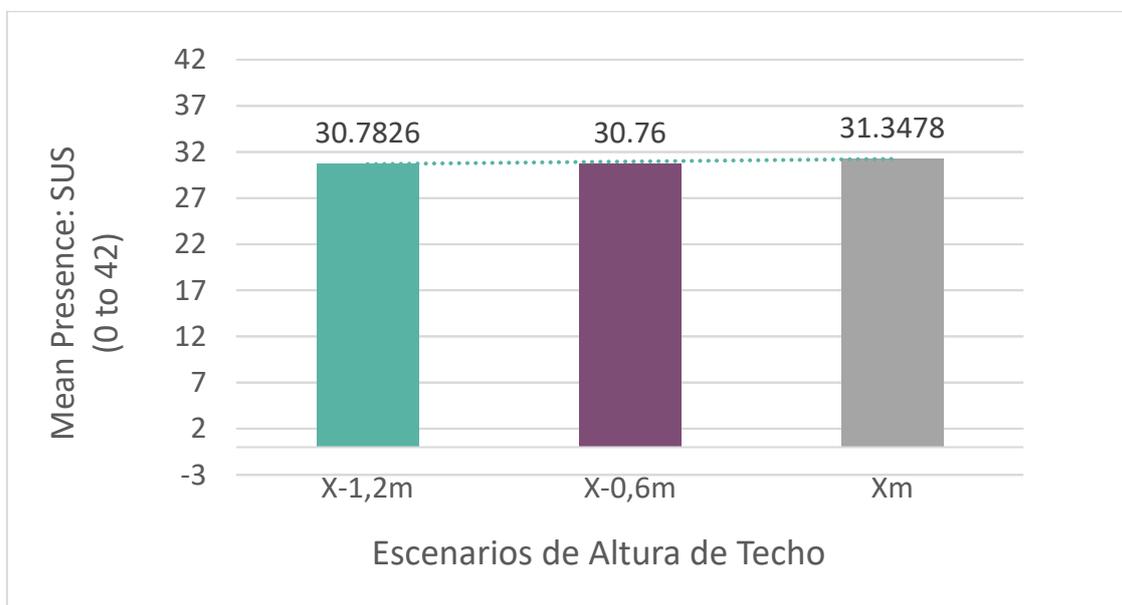
## 4 RESULTADOS

El análisis y compilación de datos para obtener resultados se realizó a través del programa estadístico SPSS (*Software SPSS, IBM, 2020*). Los resultados más interesantes relacionados con la geometría del aula, se registraron para la variable de altura de techo. Se realizaron las comparaciones de los datos de la respuesta psicológica y neurofisiológica de los participantes, para las tres alturas correspondientes de los escenarios visualizados (Xm, X-0.6m, X-1.2m).

### 4.1 ANÁLISIS DE LA SENSACIÓN DE PRESENCIA.

El primer paso antes de analizar los datos fue determinar la veracidad de la sensación de presencia que tuvieron los participantes al interactuar con escenarios virtuales. Para ello se comprobaron las puntuaciones del cuestionario de autoevaluación que se realizaba al finalizar la prueba con el sujeto.

La variable Presencia \_Sum es la suma de las 6 variables de presencia (las variables van de 1-7 de forma que el máximo nivel de presencia se alcanza en el valor 42). Excepto casos muy concretos los valores son bastante elevados. Por tanto, consideramos que en general los escenarios transmitían una buena sensación de presencia, ya que las sumatorias de las puntuaciones superan el valor de 30. Ver gráfica 10



Gráfica 10 Resultado de test de Presencia Fuente: Elaboración propia

## 4.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA PSICOLÓGICA (DESEMPEÑO DE LAS TAREAS DE ATENCIÓN Y MEMORIA)

Analizamos la respuesta psicológica según el desempeño de las tareas de atención y memoria, variables de atención– tiempo de reacción. Aplicamos técnicas estadísticas de comparación con el programa de análisis estadístico de SPSS (*Software SPSS, IBM, 2020*). Las técnicas a utilizar dependen de la distribución de las variables y si, los datos recogidos, siguen estadísticamente una distribución normal o no. Para comprobar si se distribuyen de manera normal aplicamos el test Z de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) sobre los datos recopilados como resultados de las tres pruebas psicológicas realizadas.

Si los valores de significación en el test aplicado son  $>0,05$  aplicamos análisis de la varianza para comparar entre varios grupos (ANOVA). Si es  $<0,05$  aplicamos técnicas no paramétricas (Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952)). Sólo aplicamos técnicas de comparación entre medias y entre grupos.

- En el caso del análisis obtenido con los datos de la prueba psicológica de atención-tiempo de reacción, sí, podemos aplicar análisis ANOVA ya que el valor resultante de aplicar el test de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) arrojó un valor de 0.281. Ver tabla 10

		Atención_ Tiempo_ medio_ Objet
N		222
Normal Parameters <sup>a, b</sup>	Mean	433,4684
	Std. Deviation	39,75999
Most Extreme Differences	Absolute	,066
	Positive	,066
	Negative	-,066
Kolmogorov-Smirnov Z		,990
Asymp. Sig. (2-tailed)		,281

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Tabla 10 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de ATENCIÓN-TIEMPO DE REACCIÓN. Fuente: Elaboración propia.

- En el caso del análisis obtenido con los datos de la prueba psicológica de atención-errores cometidos, aplicamos técnicas no paramétricas de análisis

		Errores
N		240
Normal Parameters <sup>a, b</sup>	Mean	1,00
	Std. Deviation	1,120
Most Extreme Differences	Absolute	,275
	Positive	,275
	Negative	-,186
Kolmogorov-Smirnov Z		4,260
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

a. Test distribution is Normal.

Tabla 11 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de ATENCIÓN-ERRORES. Fuente: Elaboración propia.

estadístico, ya que el valor resultante de aplicar el test de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) arrojó un valor de 0.00. Ver tabla 11

- En el caso del análisis obtenido con los datos de la prueba psicológica de aciertos en memoria, si podemos aplicar análisis ANOVA ya que el valor resultante de aplicar el test de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) arrojó un valor de 0.190. Ver tabla 12

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		memoria_ aciertos
N		207
Normal Parameters <sup>a..b</sup>	Mean	,72340320
	Std. Deviation	,094845399
Most Extreme Differences	Absolute	,075
	Positive	,075
	Negative	-,063
Kolmogorov-Smirnov Z		1,084
Asymp. Sig. (2-tailed)		,190

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Tabla 12 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para variables de MEMORIA. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Análisis de resultados en tarea de Atención - Tiempo de Reacción.

En este análisis estadístico lo que se pretende es observar si existen diferencias en el desempeño de la tarea de atención (tiempo de reacción) en función de las tres alturas del aula con la que interactuaron los sujetos. Utilizamos técnicas de comparación y análisis de varianza que nos permiten analizar si existen saltos significativos entre las medias de cada grupo de datos.

En la tabla13 se observan las medias para cada grupo, apenas existe diferencia entre las medias de los grupos x-1,2 y x-0,6; la diferencia fundamental se produce en Xm, con un tiempo de reacción más largo. Por lo que podemos observar que en este grupo de Xm se aumenta el tiempo de reacción, por lo que se percibe como peor atención.

**Descriptives**

Atención	Tiempo me	io Objet	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
							Lower Bound	Upper Bound		
X-1.2m			66	425,4899	38,91611	4,79024	415,9232	435,0567	363,75	507,38
X-0.6m			78	426,7265	36,08268	4,08556	418,5912	434,8619	363,33	510,00
Xm			78	446,9613	40,88804	4,62966	437,7425	456,1802	384,58	513,35
Total			222	433,4684	39,75999	2,86852	428,2094	438,7274	363,33	513,35

Tabla 13 Medias para cada grupo de Altura. Fuente: Elaboración propia.

Ejecutamos el análisis ANOVA para verificar los datos proporcionados por la comparación entre las medias de los tres grupos. Buscando la correlación de las diferencias significativas entre los grupos. según la tabla 14. Este valor nos indica que sí que hay diferencias ( $<0,05$ ) que son significativas, pero no nos indica dónde se encuentran las diferencias significativas.

**ANOVA**

Atención Tiempo medio Objet

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21947,239	2	10973,620	7,340	,001
Within Groups	327422,099	219	1495,078		
Total	349369,338	221			

Tabla 14 Análisis ANOVA para revisar la correlación entre grupos. Fuente: Elaboración propia.

Para tener una mayor información y concretar dónde se producen las diferencias cuando tenemos subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí, realizamos un Post Hoc Test.

### Post Hoc Tests

**Multiple Comparisons**

Atención\_Tiempo\_medio\_Objeto  
Bonferroni

(I) Forma TECHO	(J) Forma TECHO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
X-1.2m	X-0.6m	-1,23659	6,46687	1,000	-16,8380	14,3648
	Xm	-21,47140*	6,46687	,003	-37,0728	-5,8700
X-0.6m	X-1.2m	1,23659	6,46687	1,000	-14,3648	16,8380
	Xm	-20,23481*	6,19155	,004	-35,1720	-5,2976
Xm	X-1.2m	21,47140*	6,46687	,003	5,8700	37,0728
	X-0.6m	20,23481*	6,19155	,004	5,2976	35,1720

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Tabla 15 Resultados de POST HOC TEST. Fuente: Elaboración propia.

Esta prueba Post-Hoc, sirve para distinguir dónde se producen las diferencias significativas en concreto. En los valores  $<0,05$ , se produce entre Xm y las otras dos medidas, sin embargo, no hay diferencias entre las alturas de techo más bajas. Por lo que corroboramos que en este grupo Xm se aumenta el tiempo de reacción, y se percibe como peor atención.

#### 4.2.2 Análisis de resultados en tarea de Atención-Errores

Debido a que los resultados de los datos recogidos para esta prueba no siguen una distribución normal, se deben aplicar otras técnicas de análisis para obtención de

resultados. Aplicamos la técnica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952). Esta corrección, no nos da las medias aritméticas de cada grupo, sino las medias en rangos, porque no se distribuye siguiendo una normal, pero su interpretación es similar. Ver tabla 16.

Ranks			
Errores	Forma TECHO	N	Mean Rank
	X-1.2m	78	121,08
	X-0.6m	75	104,54
	Xm	87	133,74
	Total	240	

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	Errores
Chi-Square	8,090
df	2
Asymp. Sig.	,018

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Forma\_TECHO

Tabla 17 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para la variable de ATENCION -ERRORES. Fuente: Elaboración propia.

Este valor nos indica que sí que hay diferencias (<0,05) que son significativas (pero no nos indica dónde se encuentran las diferencias). Para saber en concreto dónde se producen las diferencias aplicamos la prueba de Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947), que cruza y estudia los rangos de dos en dos.

**Mann-Whitney Test**

Ranks				
Errores	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	X-1.2m	78	82,02	6397,50
	X-0.6m	75	71,78	5383,50
	Total	153		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	Errores
Mann-Whitney U	2533,500
Wilcoxon W	5383,500
Z	-1,538
Asymp. Sig. (2-tailed)	,124

a. Grouping Variable: Forma\_TECHO

**Mann-Whitney Test**

Ranks				
Errores	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	X-1.2m	78	78,56	6127,50
	Xm	87	86,98	7567,50
	Total	165		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	Errores
Mann-Whitney U	3046,500
Wilcoxon W	6127,500
Z	-1,191
Asymp. Sig. (2-tailed)	,234

a. Grouping Variable: Forma\_TECHO

**Mann-Whitney Test**

Ranks				
Errores	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	X-0.6m	75	70,76	5307,00
	Xm	87	90,76	7896,00
	Total	162		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	Errores
Mann-Whitney U	2457,000
Wilcoxon W	5307,000
Z	2,897
Asymp. Sig. (2-tailed)	,004

a. Grouping Variable: Forma\_TECHO

Tabla 16 Resultados de Mann-Whitney Test. para la variable de ATENCIÓN-ERRORES. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las tablas, sólo se producen diferencias significativas entre X-0,6m y Xm, en la columna “mean ranks” de la tabla 17, por lo que se aprecia un valor medio de errores más elevado en el caso de altura de techo más elevada.

Si estos resultados se repiten en variables no transmétricas puede que se necesite incorporar una variable de altura de techo más en el análisis, para ver si existe un punto de inflexión en el más para comparar.

#### 4.2.3 Análisis de resultados en tarea de Memoria

Cuando se pasa a detallar el análisis ANOVA para estos grupos de datos, no se detectan diferencias significativas en el desempeño de la prueba de memoria en función de la altura del techo del aula.

**Descriptives**

memoria\_aciertos

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
X-1.2m	66	,73112890	,089932943	,011069980	,70902062	,75323718	,610282	,910424
X-0.6m	69	,70776415	,093613257	,011269712	,68527579	,73025251	,520981	,887231
Xm	72	,73130873	,099729135	,011753191	,70787353	,75474393	,539683	,872195
Total	207	,72340320	,094845399	,006592211	,71040635	,73640005	,520981	,910424

**ANOVA**

memoria\_aciertos

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,025	2	,013	1,413	,246
Within Groups	1,828	204	,009		
Total	1,853	206			

#### Post Hoc Tests

**Multiple Comparisons**

memoria\_aciertos  
Bonferroni

(i) Forma TECHO	(j) Forma TECHO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
X-1.2m	X-0.6m	,023364750	,016297398	,460	-,01597527	,06270477
	Xm	-,000179829	,016130552	1,000	-,03911711	,03875745
X-0.6m	X-1.2m	-,023364750	,016297398	,460	-,06270477	,01597527
	Xm	-,023544579	,015946548	,424	-,06203769	,01494853
Xm	X-1.2m	,000179829	,016130552	1,000	-,03875745	,03911711
	X-0.6m	,023544579	,015946548	,424	-,01494853	,06203769

Tabla 18 Resultados del análisis ANOVA para la variable de MEMORIA. Fuente. Elaboración propia.

### 4.3 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NEUROFISIOLÓGICA

Analizamos la respuesta neurofisiológica según los datos recogidos en el programa programa iMotions v6.4 (*iMotions,2020.*) para la monitorización de las ondas EEG F3 Highbeta asociado al estado de alerta y los datos tomados de la prueba de EDA fásica. Aplicamos técnicas estadísticas de comparación con el programa de análisis estadístico de SPSS (*Software SPSS, IBM,2020*). Las técnicas a utilizar dependen de la distribución de las variables y si los datos recogidos, siguen estadísticamente una distribución normal o no. Para comprobar si se distribuyen de manera normal aplicamos el test Z de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) sobre los datos recopilados como resultados de las tres pruebas psicológicas realizadas.

- Para el caso del análisis obtenido con los datos de la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta, asociada al estado de alerta, debemos aplicar técnicas no paramétricas de análisis estadístico, ya que el valor resultante de aplicar el test de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) arrojó un valor de 0.00. Ver tabla 19.

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		EEG_F3_HighBeta_nor
N		177
Normal Parameters <sup>a..b</sup>	Mean	1,0098
	Std. Deviation	2,94689
Most Extreme Differences	Absolute	,422
	Positive	,422
	Negative	-,368
Kolmogorov-Smirnov Z		5,611
Asymp. Sig. (2-tailed)		<u>,000</u>

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Tabla 19 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para los datos de la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta.  
Fuente: Elaboración propia.

- Para el caso del análisis obtenido con los datos de la prueba fisiológica de EDA fásica, registradas por la actividad electrodérmicas, debemos también aplicar técnicas no paramétricas de análisis estadístico, ya que el valor resultante de aplicar el test de Kolmogórov-Smirnov (Smirnov, 1939) arrojó un valor de 0.01. Ver tabla 20.

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		EDA_fasica_nor
N		96
Normal Parameters <sup>a..b</sup>	Mean	2,7586
	Std. Deviation	3,33236
Most Extreme Differences	Absolute	,208
	Positive	,206
	Negative	-,208
Kolmogorov-Smirnov Z		2,035
Asymp. Sig. (2-tailed)		<u>,001</u>

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Tabla 20 Resultado de test de Kolmogórov-Smirnov para los datos de la prueba fisiológica de EDA fásica  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1 Análisis de resultados en datos obtenidos prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta, asociada al estado de alerta.

Debido a que los resultados de los datos recogidos para esta prueba no siguen una distribución normal, se deben aplicar otras técnicas de análisis no paramétricos para obtención de resultados. Como en los casos analizados anteriormente, estas técnicas no dan las medias paramétricas, sino las medias en rangos, pero su interpretación es la misma. Aplicamos la técnica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952)

#### Kruskal-Wallis Test

Ranks			
	Forma TECHO	N	Mean Rank
EEG_F3_HighBeta_nor	X-1.2m	60	92,00
	X-0.6m	66	99,77
	Xm	51	71,53
	Total	177	

Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	EEG_F3_HighBeta_nor
Chi-Square	9,054
df	2
Asymp. Sig.	.011

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Forma\_TECHO

Tabla 21 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta. Fuente: Elaboración propia.

El valor arrojado en este test es de .011, indicando que sí que hay diferencias significativas en la respuesta del sujeto medida a partir del EEG al modificar la altura del techo del aula (<0,05). Sin embargo, este test no nos indica dónde se encuentran las diferencias. Para saber en concreto dónde se producen las diferencias aplicamos la prueba de Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947), que cruza y estudia los rangos de dos en dos.

Ranks				
	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
EEG_F3_HighBeta_nor	X-0.6m	66	66,91	4416,00
	Xm	51	48,76	2487,00
	Total	117		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	EEG_F3_HighBeta_nor
Mann-Whitney U	1161,000
Wilcoxon W	2487,000
Z	-2,870
Asymp. Sig. (2-tailed)	.004

Ranks				
	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
EEG_F4_HighBeta_nor	X-1.2m	60	62,45	3747,00
	Xm	51	48,41	2469,00
	Total	111		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	EEG_F3_HighBeta_nor
Mann-Whitney U	1161,000
Wilcoxon W	2469,000
Z	-2,184
Asymp. Sig. (2-tailed)	.029

Ranks				
	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
EEG_F3_HighBeta_nor	X-1.2m	60	60,35	3621,00
	X-0.6m	66	66,36	4380,00
	Total	126		

Test Statistics <sup>a</sup>	
	EEG_F3_HighBeta_nor
Mann-Whitney U	1791,000
Wilcoxon W	3621,000

Tabla 22 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EEG F3 Highbeta. Fuente: Elaboración propia.

En este análisis se puede comprobar que sólo se producen diferencias significativas entre la altura de techo más alta y las otras dos medidas inferiores, por lo que se comprueba que el sistema de alerta está más activado en las alturas de techo más bajas.

#### 4.3.2 Análisis de resultados en datos obtenidos prueba fisiológica de EDA fásica, registradas por la actividad electrodérmicas.

Como en los anteriores análisis, los resultados de los datos recogidos para esta prueba no siguen una distribución normal, se deben aplicar otras técnicas de análisis no paramétricos para obtención de resultados. Aplicamos la técnica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952):

#### Kruskal-Wallis Test

	Forma TECHO	N	Mean Rank
EDA_fasica_nor	X-1.2m	48	67,06
	X-0.6m	39	52,54
	Xm	27	47,67
	Total	114	

	EDA_fasica_nor
Chi-Square	7,291
df	2
Asymp. Sig.	.026

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Forma\_TECHO

Tabla 23 Resultados de la técnica de Kruskal-Wallis para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA fásica. Fuente: Elaboración propia.

El valor arrojado en este test es de .026, indicando que sí que hay diferencias (<0,05) que son significativas (pero no nos indica dónde se encuentran las diferencias). Para saber en concreto donde se producen las diferencias aplicamos la prueba de Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947), que cruza y estudia los rangos de dos en dos.

	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
EDA_fasica_nor	X-1.2m	48	49,06	2355,00
	X-0.6m	39	37,77	1473,00
	Total	87		

	EDA_fasica_nor
Mann-Whitney U	693,000
Wilcoxon W	1473,000
Z	-2,075
Asymp. Sig. (2-tailed)	.038

a. Grouping Variable: Forma\_TECHO

	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
EDA_fasica_nor	X-1.2m	48	42,50	2040,00
	Xm	27	30,00	810,00
	Total	75		

	EDA_fasica_nor
Mann-Whitney U	432,000
Wilcoxon W	810,000
Z	-2,306
Asymp. Sig. (2-tailed)	.017

a. Grouping Variable: Forma\_TECHO

Tabla 24 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA fásica (1). Fuente: Elaboración propia.

		Ranks			Test Statistics <sup>a</sup>	
EDA_fasica_nor	Forma TECHO	N	Mean Rank	Sum of Ranks		EDA_fasica_nor
	X-0.6m	39	34,77	1356,00	Mann-Whitney U	477,000
	Xm	27	31,67	855,00	Wilcoxon W	855,000
	Total	66			Z	-.518
					Asymp. Sig. (2-tailed)	.518

a. Grouping Variable:  
Forma\_TECHO

Tabla 25 Resultados de Mann-Whitney Test para los datos obtenidos en la prueba fisiológica de EDA física (2).  
 Fuente: Elaboración propia.

En este análisis como en el caso anterior se ha podido comprobar que sólo se producen diferencias significativas entre la altura de techo más alta y las otras dos medidas inferiores, por lo que se comprueba que el sistema de alerta está más activado en las alturas de techo más bajas.

## 5 DISCUSIÓN

---

Este trabajo, como se ha comentado anteriormente, forma parte del proyecto de investigación más complejo con un objetivo más amplio, incluyendo además el estudio de los parámetros de color e iluminación del espacio docente. La contribución de este trabajo a dicho proyecto es la de ofrecer resultados que demuestren la influencia de la altura del espacio.

Al realizar un estudio basado en la Neuroarquitectura utilizamos los principios teóricos para la elaboración y desarrollo de la investigación como: evidenciar la influencia del medio construido en el desarrollo social de las personas, evaluar el registro de emociones y sensaciones a través de técnicas de investigación neurocientífica y la elaboración de alternativas y soluciones arquitectónicas basadas en el estudio científico para mejorar la calidad y el bienestar del usuario de los espacios.

La utilización de la técnica de realidad virtual como medio de visualización de escenarios, teóricamente proporciona una alternativa para generar variaciones en los espacios. Su uso en el modelo de investigación resultó de gran utilidad. Probamos, asimismo, que investigaciones científicas pueden utilizar este método de trabajo satisfactoriamente, demostrándolo según los datos arrojados por el cuestionario de sensación de presencia, donde los sujetos reaccionaron positivamente.

A partir de los resultados descritos se obtienen conclusiones alentadoras para la investigación y refuerzan la base teórica de que un estudio multinivel es indispensable para obtener respuestas contundentes basadas en la experiencia científica.

Según el análisis de los resultados para medir la respuesta psicológica de los sujetos para las tareas de atención y memoria podemos reflejar que:

- Para las tareas de atención-tiempo de reacción y cantidad de errores cometidos se aprecia que, a mayor altura el tiempo de reacción de los participantes es mayor y el valor medio de errores es mayor, por lo que se evidencia un deterioro y pérdida de atención.
- En cuanto a las tareas de memoria con relación a la altura del aula no se registraron diferencias significativas en el desempeño de la prueba.

El análisis de los resultados para medir la respuesta fisiológica de los individuos para prueba fisiológica de EEG F3 High beta, asociada al estado de alerta y EDA fásica, reflejan que el sistema de alerta está más activado en alturas de techos más bajas. Por tanto, a alturas de techo más altas el cuerpo evidencia un estado de alerta menor y con ello mayor distracción. (Ver tabla con resumen de resultados)

Los resultados según el modelo de la carga cognitiva refuerzan la tesis de que la geometría del espacio influye sobre la realización de tareas con carga cognitiva. Refuerzan las tesis de las investigaciones citadas anteriormente, donde se recoge que, para alturas de techos más bajas, procesamos con mayor agilidad, reflejándose en las

pruebas fisiológicas que arrojan que nuestro cuerpo se encuentra en mayor estado de alerta.

Para futuras investigaciones debemos tener en cuenta que en la prueba de cantidad de errores los datos revelaron como estas variables son transmétricas, siendo recomendable incorporar otra variable en altura para establecer un punto de inflexión que aporte además otra opción más para comparar. Recomendamos ampliar la muestra de sujetos utilizados para reforzar los resultados y realizar el estudio en escenarios reales y comparar los resultados obtenidos. En futuras investigaciones se deberá ampliar el alcance teniendo en cuenta una visión más holística de las variables y revisar la influencia de todos los parámetros como geometría, color e iluminación de manera combinada.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

---

- ABM B-Alert X10 EEG - iMotions. (n.d.). Retrieved August 26, 2020, from <https://imotions.com/hardware/abm-b-alert-x10/>
- Acer Predator: ordenador de alto rendimiento para Gaming. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.acer.com/ac/es/ES/content/predator-home>
- Autodesk Inc. (2015). *3ds Max | Software de modelado y renderización 3D | Autodesk*. Autodesk Site. <https://www.autodesk.es/products/3ds-max>
- Banaei, M., Ahmadi, A., Gramann, K., & Hatami, J. (2019). Emotional evaluation of architectural interior forms based on personality differences using virtual reality. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.005>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2017). The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects. *Environment and Behavior*, 49(4), 425–451. <https://doi.org/10.1177/0013916516648735>
- Beauchaine, T. (2001). Vagal tone, development, and Gray's motivational theory: Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. In *Development and Psychopathology* (Vol. 13).
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., & Malik, M. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623–648.
- Código de Universidades, (2020). <https://boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=133&modo=1&nota=0&tab=2>
- Campos Calvo-Sotelo, P., & Cuenca Márquez, F. (2016). Memoria e innovación en los espacios físicos de enseñanza/aprendizaje de la educación superior. La transformación del límite como respuesta de la Arquitectura a la innovación docente. *Historia y Memoria de La Educación*, 0(3), 279. <https://doi.org/10.5944/hme.3.2016.15430>
- Ching, F. D. K. (2015). *Arquitectura : forma, espacio y orden* (4ª ed..) [Book]. Gustavo Gili.
- Choi, H. H., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2014). Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load. In *Educational Psychology Review* (Vol. 26, Issue 2, pp. 225–244). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9262-6>
- Damasio, A. R. (2003). *Looking for Spinoza Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*.
- Davies, R. C. (2004). Adapting Virtual Reality for the Participatory Design of Work Environments. *Computer Supported Cooperative Work: CSCW: An*

- International Journal*, 13(1), 1–33.  
<https://doi.org/10.1023/B:COSU.0000014985.12045.9c>
- de Paiva, A., & Jedon, R. (2019). Short- and long-term effects of architecture on the brain: Toward theoretical formalization. *Frontiers of Architectural Research*, 8(4), 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.004>
- Dougherty, B. O., & Arbib, M. A. (2013). The evolution of neuroscience for architecture: introducing the special issue. In *Intelligent Buildings International* (Vol. 5, Issue SUPPL1, pp. 4–9).  
<https://doi.org/10.1080/17508975.2013.818763>
- Duke, J. (2006). Sistema nervioso autónomo. In *Anestesia. Secretos* (pp. 11–18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-84-8174-941-0.50001-x>
- Eberhard, J. P. (2009a). Applying Neuroscience to Architecture. *Neuron*, 62(6), 753–756. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.06.001>
- Eberhard, J. P. (2009b). Brain Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture. In *Brain Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195331721.001.0001>
- Edelstein, E. A. (2016). Neuroscience and Architecture. In Mitra Kanaani and Dak Kopec (Ed.), *The Routledge companion for architecture design and practice : established and emerging trends* (pp. 269–287).
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. v. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221(4616), 1208–1210.  
<https://doi.org/10.1126/science.6612338>
- Ellis, E. V., Gonzalez, E. W., & McEachron, D. L. (2013). Chronobioengineering indoor lighting to enhance facilities for ageing and Alzheimer’s disorder. *Intelligent Buildings International*, 5(SUPPL1), 48–60.  
<https://doi.org/10.1080/17508975.2013.807764>
- Epstein, S., Boudreau, L., & Kling, S. (1975). Magnitude of the Heart Rate and Electrodermal Response as a Function of Stimulus Input, Motor Output, and Their Interaction. *Psychophysiology*, 12(1), 15–24.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1975.tb03053.x>
- Código técnico de la edificación. Libro 8, Parte II, Documento básico - DB SUA Seguridad de utilización y accesibilidad, (2008).
- Etzel, J. A., Johnsen, E. L., Dickerson, J., Tranel, D., & Adolphs, R. (2006). Cardiovascular and respiratory responses during musical mood induction. *International Journal of Psychophysiology*, 61(1), 57–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.10.025>

- EUROPEAN FORUM FOR ENHANCED COLLABORATION IN TEACHING. (2017). *Enhancing the education mission of European universities: A proactive response to change.* #EFFECT\_EU.  
<https://eua.eu/resources/publications/818:enhancing-the-education-mission-of-european-universities-a-proactive-response-to-change.html>
- Flykt, A., Esteves, F., & Öhman, A. (2007). Skin conductance responses to masked conditioned stimuli: Phylogenetic/ontogenetic factors versus direction of threat? *Biological Psychology*, 74(3), 328–336.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.08.004>
- Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson, D. E., & Ijsselstein, W. (2000). Using behavioral realism to estimate presence: A study of the utility of postural responses to motion stimuli. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(2), 149–164. <https://doi.org/10.1162/105474600566691>
- Friedman, B. H., Stephens, C. L., & Thayer, J. F. (2014). Redundancy analysis of autonomic and self-reported, responses to induced emotions. *Biological Psychology*, 98(1), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.12.006>
- Glicksohn, J., Berkovich-Ohana, A., Mauro, F., & Ben-Soussan, T. D. (2017). Time perception and the experience of time when immersed in an altered sensory environment. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00487>
- Hertzberger, H. (2008). *Space and Learning* [Book]. 010.
- Higuera-Trujillo, J. L., Llinares Millán, C., Montañana i Aviñó, A., & Rojas, J. C. (2020). Multisensory stress reduction: a neuro-architecture study of paediatric waiting rooms. *Building Research and Information*, 48(3), 269–285. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1612228>
- iMotions: Unpack Human Behavior*. (n.d.). Retrieved July 26, 2020, from <https://imotions.com/>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. In *Brain Research Reviews* (Vol. 29, Issues 2–3, pp. 169–195). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Korpela, K. M., Klemettilä, T., & Hietanen, J. K. (2002). Evidence for Rapid Affective Evaluation of Environmental Scenes. *Environment and Behavior*, 34(5), 634–650. <https://doi.org/10.1177/0013916502034005004>
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. In *Biological Psychology* (Vol. 84, Issue 3, pp. 394–421). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>

- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Küller, R. (1975). *Semantisk miljöbeskrivning*.
- Küller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12(4), 305–317. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80079-9](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9)
- Küller, R., Mikellides, B., & Janssens, J. (2009). Color, arousal, and performance - A comparison of three experiments [Article]. *Color Research and Application*, 34(2), 141–152. <https://doi.org/10.1002/col.20476>
- Likehart, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1–55. [https://books.google.es/books/about/A\\_Technique\\_for\\_the\\_Measurement\\_of\\_Attit.html?id=9rotAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.es/books/about/A_Technique_for_the_Measurement_of_Attit.html?id=9rotAAAAYAAJ&redir_esc=y)
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J., & Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 31(4), 557–564. <https://doi.org/10.3758/BF03200735>
- López-Tarruella Maldonado, J. (2017). *DISEÑO ARQUITECTÓNICO CENTRADO EN EL USUARIO MEDIANTE NEUROTECNOLOGÍAS INMERSIVAS*.
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- Marchand, G. C., Nardi, N. M., Reynolds, D., & Pamoukov, S. (2014). The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.06.009>
- Marzbani, H., Marateb, H. R., & Mansourian, M. (2016). Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic and Clinical Neuroscience*, 7(2), 143–158.
- Mayoral-Campa, E., & Pozo Bernal, Melina. (2017). Arquitectura Escolar y Educación. *Proyecto Progreso Arquitectura*, VIII(17), 100–115.
- Meyers-Levy, J., & Zhu, R. (2007). The Influence of Ceiling Height: The Effect of Priming on the Type of Processing That People Use. *Journal of Consumer Research*, 34(2), 174–186. <https://doi.org/10.1086/519146>
- Real Decreto 420/2015, de 29 de mayo, de creación, reconocimiento, autorización y acreditación de universidades y centros universitarios, BOE 60502 (2015).

- Muntañola Thornberg, J. (1986). Psicología y arquitectura: notas breves. In *Introducción a la psicología ambiental* (pp. 33–49). Alianza.  
[http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/135/2012-04-25-220634\\_Arq\\_y\\_Psico\\_Muntanola\\_ok.pdf](http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/135/2012-04-25-220634_Arq_y_Psico_Muntanola_ok.pdf)
- Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1959). The Measurement of Meaning. *Language*, 35(1), 58. <https://doi.org/10.2307/411335>
- Paes, D., & Irizarry, J. (2016). Virtual reality technology applied in the building design process: Considerations on human factors and cognitive processes. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 485, 3–15.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-41983-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41983-1_1)
- Pan, J., & Tompkins, W. J. (1985). A real-time QRS detection algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 32(3), 230–236.
- Persky, S., & McBride, C. M. (2009). Immersive virtual environment technology: a promising tool for future social and behavioral genomics research and practice. *Health Communication*, 24(8), 677–682.  
<https://doi.org/10.1080/10410230903263982>
- Roetzel, A., DeKay, M., Nakai Kidd, A., Klas, A., Sadick, A. M., Whitem, V., & Zinkiewicz, L. (2019). Architectural, indoor environmental, personal and cultural influences on students' selection of a preferred place to study. *Architectural Science Review*.  
<https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1691971>
- Rojas, E. J. G. (2016). *Neurobiología de la percepción visual* (1st ed.). Editorial Universidad del Rosario. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1j7x4tp>
- Russell, J. A., & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of Research in Personality*, 11(3), 273–294.  
[https://doi.org/10.1016/0092-6566\(77\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0092-6566(77)90037-X)
- Seidman, L. J., Goldstein, J. M., O'Craven, K., Savoy, R., Breiter, H. C., Goodman, J. M., Woodruff, P. W. R., Tsuang, M. T., & Rosen, B. R. (1998). A functional magnetic resonance imaging study of auditory vigilance with low and high information processing demands. *Neuropsychology*, 12(4), 505–518.  
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.12.4.505>
- Shemesh, A., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2015). Space and human perception - Exploring our reaction to different geometries of spaces. *CAADRIA 2015 - 20th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture*, 541–550.
- Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2017). Affective response to architecture—investigating human reaction to spaces

- with different geometry. *Architectural Science Review*, 60(2), 116–125.  
<https://doi.org/10.1080/00038628.2016.1266597>
- Shimmer Sensing. (2020). *EDA sensor*.  
<https://www.shimmersensing.com/products/shimmer3-wireless-gsr-sensor>
- Slater, M., Steed, A., & Usoh, M. (1994). Depth of Presence in Immersive Virtual Environments Article in Presence Teleoperators & Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2).
- Smirnov, N. v. (1939). Estimate of deviation between empirical distribution functions in two independent samples. *Bull. Moscow Univ.*, 2, 3–16.  
<http://www.sciepub.com/reference/34591>
- Software SPSS - España | IBM*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from  
<https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>
- Tseng, K. C., Giau, D. T. N., & Huang, P. H. (2017). A systematic review of the potential application of virtual reality within a user pre-occupancy evaluation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10279 LNCS, 612–620. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58700-4\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58700-4_50)
- Vecchiato, G., Jelic, A., Tieri, G., Maglione, A. G., de Matteis, F., & Babiloni, F. (2015). Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments. *Cognitive Processing*, 16. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0725-6>
- VIVE Pro | El visor VR de grado profesional*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from  
<https://www.vive.com/mx/product/vive-pro/>
- V-Ray para 3ds Max Chaos Group*. (2015).  
<https://www.chaosgroup.com/es/vray/3ds-max>
- Welch, P. D. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), 70–73.
- Wichmann, F. A., & Herzog, M. H. (2016). An overview of quantitative approaches in Gestalt perception. *Vision Research*, 126, 3–8.  
<https://doi.org/10.1016/J.VISRES.2016.06.004>

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1 CUESTIONARIO NA-PN2018-A1.1

Nº PARTICIPANTE	
CÓDIGO DEL PARTICIPANTE	
ENTREVISTADOR	

Código imagen	Test de Ishihara		
	Pregunta	Solución	Acierto (1)/Error(0)
A	¿Número?	12	
B	¿Número?	8	
C	¿Número?	29	
D	¿Número?	5	
E	¿Número?	3	
F	¿Número?	15	
G	¿Número?	74	
H	¿Número?	6	
I	¿Número?	45	
J	¿Número?	5	
K	¿Número?	7	
L	¿Número?	16	
M	¿Número?	73	
N	¿Número?	Sin número	
Ñ	¿Número?	Sin número	
O	¿Número?	26	
P	¿Número?	42	
Q	¿Líneas continuas?	Línea púrpura y línea roja	
R	¿Líneas cont.?	Sin líneas	
S	¿Líneas cont.?	Línea verde	
T	¿Líneas cont.?	Línea naranja	
U	¿Líneas cont.?	Línea verde-amarilla	
V	¿Líneas cont.?	Línea roja-naranja	
W	¿Líneas cont.?	Línea naranja	

**VISUALIZACIÓN 1**  
**Código del escenario: \_\_\_\_\_**

**TAREA DE MEMORIA**

Lista	Palabras dichas por el participante
1	
2	
3	

**(TAREA DE ATENCIÓN)**

Ejecutar

**VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA**

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

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

**CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]**

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

<b>¿Por qué estabas en clase?</b>	<b>1 a 7</b>
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

### VISUALIZACIÓN 2

Código del escenario: \_\_\_\_\_

#### TAREA DE MEMORIA

Lista	Palabras dichas por el participante
1	
2	
3	

#### (TAREA DE ATENCIÓN)

Ejecutar

#### VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

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

#### CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

¿Por qué estabas en clase?	1 a 7
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

### VISUALIZACIÓN 3

Código del escenario: \_\_\_\_\_

#### TAREA DE MEMORIA

Lista	Palabras dichas por el participante
1	

2	
3	

**(TAREA DE ATENCIÓN)**

Ejecutar

**VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA**

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

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

**CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]**

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

¿Por qué estabas en clase?	1 a 7
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

**VISUALIZACIÓN 4**

**Código del escenario:** \_\_\_\_\_

**TAREA DE MEMORIA**

Lista	Palabras dichas por el participante
1	
2	
3	

**(TAREA DE ATENCIÓN)**

Ejecutar

**VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA**

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

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

**CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]**

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

¿Por qué estabas en clase?	1 a 7
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

**VISUALIZACIÓN 5**

**Código del escenario:** \_\_\_\_\_

**TAREA DE MEMORIA**

Lista	Palabras dichas por el participante
1	
2	
3	

**(TAREA DE ATENCIÓN)**

Ejecutar

**VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA**

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

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

### CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

¿Por qué estabas en clase?	1 a 7
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

### VISUALIZACIÓN 6

Código del escenario: \_\_\_\_\_

### TAREA DE MEMORIA

Lista	Palabras dichas por el participante
1	
2	
3	

### (TAREA DE ATENCIÓN)

Ejecutar

### VALORACIÓN GLOBAL DEL AULA

Por favor, completa el siguiente cuestionario. Utiliza valoraciones desde -4 (nada) a +4 (todo).

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

En general, ME GUSTA	
----------------------	--

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

#### CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]

Por favor, completa el siguiente cuestionario imaginando que estabas recibiendo clases universitarias en ese aula. Utiliza valoraciones desde 1 (no corresponde para nada) a 7 (corresponde totalmente).

¿Por qué estabas en clase?	1 a 7
Porque creo que esta actividad es interesante	
Por mi propio bien	
Porque se supone que debo hacerlo	
Puede que haya buenas razones, pero yo no veo ninguna	
Porque disfruto con esta actividad	
Porque creo que esta actividad es buena para mí	
Porque es algo que tengo que hacer	
Realizo esta actividad, pero no estoy seguro de si vale la pena	
Porque esta actividad es divertida	
Por decisión personal	
Porque no tengo otra alternativa	
No lo sé, no veo qué me aporta esta actividad	
Porque me siento bien realizando esta actividad	
Porque creo que esta actividad es importante para mí	
Porque creo que tengo que hacerlo	
Hago esta actividad, pero no estoy seguro de que sea conveniente continuar	

#### VALORACIÓN DE LA SENSACIÓN DE PRESENCIA

Teniendo en cuenta todas las experiencias virtuales en general, valora los siguientes aspectos desde 1 (nada) a 7 (todo):

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

#### CUESTIONARIO DEMOGRÁFICO

Para terminar, completa los siguientes datos demográficos:

	SÍ	NO
¿Tomas medicación que altere la locomoción?		
¿Tienes alguna otra alteración de la locomoción?		
	MASCULINO	FEMENINO
Género		
Edad		

MUCHAS GRACIAS POR PARTICIPAR

---

Tabla de incidencias técnicas (a rellenar por el entrevistador)

## 7.2 ANEXO 2 PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

**PROTOLO  
INVESTIGACIÓN  
NA-PN2018-A1.1**

## Contenido

0. Preparar salas.....	3
1. Preparar “PCs” y “HTC” .....	3
- Notas para preparar PCs .....	3
- Notas para preparar HTC.....	3
2. Preparar “360-HTC”, “Test de Ishihara”, “Audio de Descanso”, “Tarea Memoria” y “Tarea Atención”.....	4
- Notas para preparar 360-HTC .....	4
- Notas para preparar Test de Ishihara (en portátil) .....	4
- Notas para preparar Audio de Descanso (en portátil) .....	4
- Notas para preparar Tarea Memoria (en portátil).....	4
- Notas para preparar Tarea Atención (en portátil) .....	4
3. Preparar iMotions .....	6
4. Preparar “b-Alert” y “Shimmer”.....	6
- Notas para preparar b-Alert.....	6
- Notas para preparar Shimmer .....	6
5. Recibir al participante .....	7
- Notas para conectar b-Alert.....	7
- Notas para conectar Shimmer .....	7
6. Iniciar el estudio .....	7
7. Ejecutar el estudio.....	8
8. Finalizar el estudio .....	10
Anexo 1: Aleatorización .....	11
Anexo 2: Listas a reproducir con cada participante para la Tarea de Memoria .....	15
Anexo 3: Listas de palabras de la Tarea Memoria .....	17
Anexo 4: Configuraciones de la variable Iluminación .....	18
Anexo 5: Configuraciones de la variable Forma.....	19
Anexo 6: Configuraciones de la variable Color .....	20
Anexo 7: Configuraciones Base .....	20
Anexo 8: Medidas y Proporciones.....	21
Anexo 9: Naturaleza de la Iluminancia.....	21

Este documento describe el protocolo completo para la investigación NA-PN2018-A1.1.

Para facilitar la lectura, en amarillo se resaltan las intervenciones narradas más importantes que debe hacer el entrevistador.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para ejecutarlo:

## 0. Preparar salas

- a. Las salas deben contener el material a utilizar de manera ordenada. De lo contrario, pueden cometerse errores evitables en la ejecución.
- b. La sala donde esté el sujeto tendrá el piloto rojo encendido.
- c. La sala del entrevistador, tendrá la luz apagada (para no ser visible desde el otro lado).

## 1. Preparar “PCs” y “HTC”

### - **Notas para preparar PCs**

- a. Usuario sobremesa: demos
- b. Contraseña sobremesa: demoscave
- c. Usuario portátil: iViewX
- d. Contraseña PC: terapeuta
- e. \*Conectar altavoces pequeños al portátil, y colocarlos siempre en la misma posición. Encenderlos. Volumen analógico: máximo. Volumen digital: 50%.

### - **Notas para preparar HTC**

- a) Asegurarse que el HMD está conectado (HDMI, USB, Alimentación).
- b) Asegurarse que las cámaras están conectadas (luz).
- c) Activar mandos.
- d) Ejecutar “Steam”.



Si pidiese acceder:

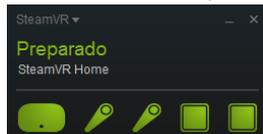
Usuario: instituto\_i3b

Contraseña: Valencia#20!7

- e) Ejecutar “Steam VR” (dentro de “Steam”).



- f) Todos los dispositivos deben aparecer como preparados:



## 2. Preparar “360-HTC”, “Test de Ishihara”, “Audio de Descanso”, “Tarea Memoria” y “Tarea Atención”

### - **Notas para preparar 360-HTC**

- Asegurar que la carpeta “images” (dentro del acceso directo “VISORHTC360”, contiene los escenarios que el participante va a visualizar (ver “Anexo 1: Aleatorización”).
- Lanzar un escenario cualquiera para asegurar que todo funciona. Para ello, ejecutar “VisorHTC360.exe
- Tras la prueba, cerrar el escenario.
- Dado que la navegación no se va a utilizar, tras esta prueban, los mandos pueden apagarse. Para ello, se selecciona “Apagar mando” pinchando con el botón derecho en los iconos anteriores.

### - **Notas para preparar Test de Ishihara (en portátil)**

- Comprobar que en la carpeta “0. Test de ISHIHARA” están las 24 imágenes.

### - **Notas para preparar Audio de Descanso (en portátil)**

- Comprobar que en la carpeta “1. Audio DESCANSO” está el clip de audio.
- Probar su reproducción.

### - **Notas para preparar Tarea Memoria (en portátil)**

- Comprobar que en la carpeta “2. Listas de MEMORIA” están los 18 clips de audio.

### - **Notas para preparar Tarea Atención (en portátil)**

- En la carpeta “3. App ATENCIÓN”, abrir el archivo “config.xml” mediante el editor de notas para asegurar que la configuración es esta:

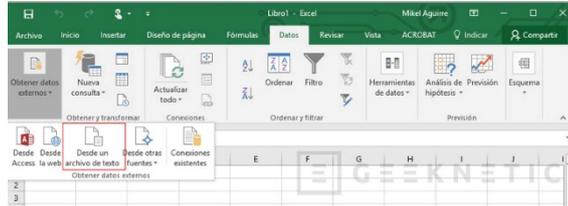
```
config.xml: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<configurationFile>
  <name>NA-PN2018-A1.1</name> <!-- nombre del participante -->
  <targetAudios>24</targetAudios>
  <fakeAudios>96</fakeAudios>
  <timeError>750</timeError> <!-- ms, Tiempo de reaccion que consideramos error -->
  <timeMinGapAudios>800</timeMinGapAudios> <!-- ms, Tiempo mínimo entre estímulos auditivos -->
  <timeMaxGapAudios>1600</timeMaxGapAudios> <!-- ms, Tiempo mínimo entre estímulos auditivos -->
  <timeStart>2500</timeStart> <!-- ms, Tiempo mínimo hasta el inicio de la prueba -->
</configurationFile>
```

Para configurar una experiencia con un 20% de los estímulos objetivos (24objetivos, 96 distractores). El tiempo mínimo entre estímulos es de 800ms (con 750ms para responder) y el máximo de 1600ms. El entrevistador cuenta con 2500 ms desde que se ejecuta la aplicación, para darle el control al participante.

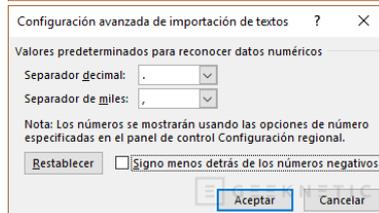
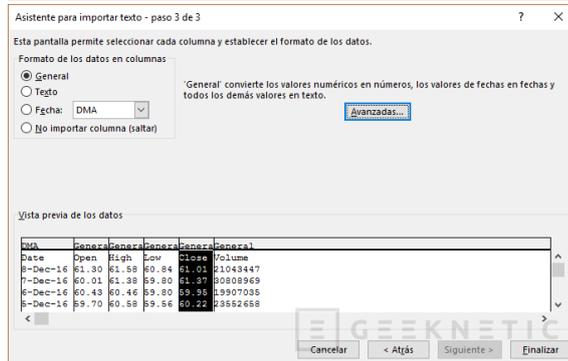
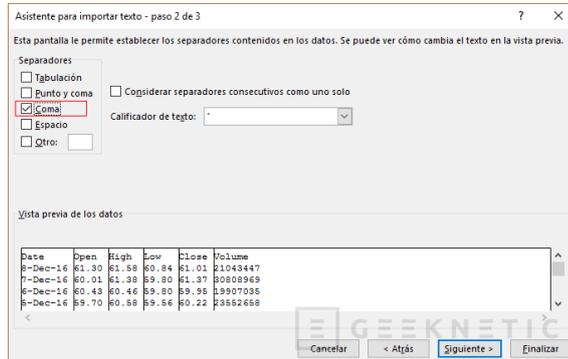
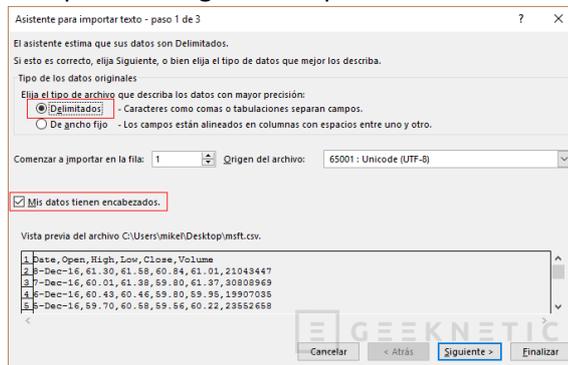
Si se necesitase cancelar la aplicación durante su ejecución (dado que bloquea el ratón) pulsar: “alt+tab”, y cerrar la aplicación.

La aplicación guarda un archivo .csv separado por comas con la ejecución de la tarea dentro de su carpeta "logs". Contiene alguno de los datos que se deberán precisar en el Excel de resultados (Resultados cuestionario - NA-PN2018-A1.1). Para visualizar este archivo en Excel:

1. Abrirlo desde Excel con:



2. Completar las siguientes opciones:



### 3. Preparar iMotions

- Entrar en iMotions v6.4.
- Comprobar que la siguiente configuración está aplicada en “Preferences/Global Settings/API”:



### 4. Preparar “b-Alert” y “Shimmer”

#### - **Notas para preparar b-Alert**

- El ESU debe estar conectado, y situado en buena orientación respecto al participante.
- Encender b-Alert.
- En iMotions, dentro de su cuadro pulsar “Start/Stop”. Puede ser necesario hacerlo más de una vez hasta que se conecte:

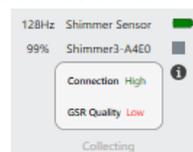


Una vez conectado, la luz del ESU quedará fija.

- Asegurar que tiene suficiente batería.
- Tras esto, se puede volver a apagar.
- Asegurar limpieza del strip.
- Pegar las esponjas sobre los electodos del strip.
- Añadir gel conductor a las esponjas.
- Conectar los electodos de ECG al dispositivo.

#### - **Notas para preparar Shimmer**

- Encender (botón lateral).
- En iMotions, dentro de su cuadro pulsar “Start/Stop”. Puede ser necesario hacerlo más de una vez hasta que se conecte:



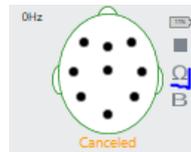
- Asegurar que tiene suficiente batería.
- Tras esto, se puede volver a apagar.

## 5. Recibir al participante

- Explicarle muy brevemente la dinámica general: “Se está estudiando el efecto de determinadas variables de diseño en aulas. Para ello, se utilizarán cuestionarios, realidad virtual, y dispositivos de registro neurofisiológico. La prueba dura alrededor de una hora. Si lo decides, puedes interrumpirla y abandonarla”.
- Firma el consentimiento.
- Se le conectan los dispositivos y se comprueba la recepción de datos: b-Alert y Shimmer.

### - Notas para conectar b-Alert

- Ajustar b-Alert al sujeto.
- Conectar el strip al participante.
- Conectar los electrodos (EEG+ECG) al participante.
- En iMotions, dentro de su cuadro pulsar “Start/Stop”.
- Comprobar impedancia:



Salvo excepción, todos los electrodos deben quedar marcados en verde (impedancia menor a 40  $\Omega$ ).

### - Notas para conectar Shimmer

- Limpiar superficie de contacto del participante utilizando algodones con alcohol. No usar alcohol en exceso.
- Ajustar Shimmer al participante, en brazo no dominante. Se colocan los dos electrodos en los dedos cercanos al pulgar (índice y medio).
- En iMotions, dentro de su cuadro pulsar “Start/Stop”.
- Se le indica al sujeto que durante la experimentación mueva la mano en la que lo lleva conectado lo menos posible. Para ayudar a ajustarse las HTC, utilizará la otra mano.

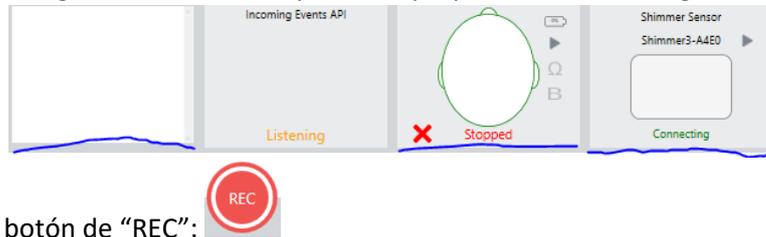
## 6. Iniciar el estudio

- En iMotions, seleccionar el estudio “NA-PN2018-A1.1”.
- Añadir el usuario, con el código:

<b>Cod. Estudio</b> (3 letras)		<b>Nº participante</b> (3 cifras)		<b>Iniciales</b> (3 caracteres)		<b>Fecha de la medida</b> (6 cifras)
AC1	_	001	_	PMA	_	140518

## 7. Ejecutar el estudio

- a. Antes de empezar, asegura que todas las señales se están registrando. Para verificarlo mirar las ventanas de cada dispositivo, y la de registro a tiempo real. La siguiente imagen sólo muestra la posición, ya que no se estaba registrando:



- b. Pulsar el botón de "REC":
- c. El estudio sigue la siguiente estructura:

CONCEPTO		TIEMPO (MINUTOS)	
Preparación	<b>INICIO CON EL PARTICIPANTE</b> Recepción, indicaciones básicas, firma del consentimiento, cuestionariodemográfico, y colocación de dispositivos de registro neurofisiológico.	≈9	↓
	<b>TEST DE ISHIHARA</b> El entrevistador muestra las 21 imágenes, y apunta si acierta o no la solución.	≈1	
	<b>PRUEBA ESCENARIO BASE</b> Visión del escenario "BA". Para ajustar las HTC y acostumbrar al participante. 1. "Visualiza el espacio, y cuando te sientas cómodo podemos continuamos". 2. El entrevistador lanza la versión "_EN" de "BA". "Durante la prueba verás este tipo de estímulos. Llegado el momento te preguntaré valoraciones sobre el espacio, que tendrás que valorar mediante una escala como esta". Tras esto, el entrevistador retira las gafas al sujeto con cuidado.	≈1	
Pre-experiencias (en iMotions)	<b>EJECUTAR ESTUDIO IMOTIONS</b> El entrevistador ejecuta el estudio, según lo indicado en el protocolo.	≈0	
	<b>LÍNEA BASE</b> Ojos Abiertos + Ojos Cerrados	3 (1'5+1'5)	
	<b>INSTRUCCIONES GENERALES</b> "A continuación escucharás un audio. Después te verás inmerso en un espacio. Imagina que es un aula universitaria en la que recibes clase. Obsérvala durante 90 segundos. Después realizarás una serie de tareas y cuestionarios. En los cuestionarios no hay respuestas correctas ni incorrectas. No emplees demasiado tiempo, y da la que mejor describa cómo te sientes. Esto se repetirá seis veces".	≈1	
	<b>COLOCAR HTC EN PARTICIPANTE</b> El entrevistador ajusta las gafas al participante, con cuidado de no interferir con los electrodos.	≈1	
Experiencias (en iMotions)	<b>AUDIO DE DESCANSO</b> El entrevistador lanza el escenario "NE" en la aplicación VisorHTC360. Es un escenario negro. "Por favor, escucha este audio e intenta relajarte mientras lo haces".	1	→#1→#2→#3→#4→#5→#6 (Anexo 1)
	<b>EXPERIENCIA DEL AULA</b> El entrevistador lanza el escenario elegido (Anexo 1). Pulsa "Ctrl+F5" al iniciar la visión, y "Ctrl+F8" tras 1 minuto.	1	
	<b>TAREA DE MEMORIA</b> "A continuación escucharás una lista de palabras. Intenta recordarlas. Después se te pedirá que las repitas sin importar su orden en un tiempo de 30 segundos. Esto se repetirá tres veces". El entrevistador lanza tres listas en audio (Anexo 2). Tras su reproducción, pide que repita las palabras. El entrevistador apunta todas. Después las filtra en acierto o error (Anexo 3).	3	
	<b>TAREA DE ATENCIÓN</b> "A continuación escucharás una serie sonidos. Debes reaccionar lo antes posible ante un estímulo haciendo un solo clic de ratón, y evitar hacerlo con otros. El estímulo al que debes reaccionar es este...; y el estímulo al que no, es este...". El entrevistador ejecuta la aplicación.	4	
	<b>VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA</b> El entrevistador lanza la versión "_EN" del escenario en que se encuentre. Y pregunta las valoraciones de los aspectos descritos en el cuestionario. Tras esto, si tiene que visualizar otro escenario se vuelve al principio de "Experiencias". Sólo si está visualizando el escenario "01" o "02", se pasaría el cuestionario Motivación (siguiente fila) antes de volver al principio de "Experiencias". Si es el último escenario se le retiran las gafas.	≈1	
	<b>CUESTIONARIO DE MOTIVACIÓN [SÓLO ESCENARIOS "01" Y "02"]</b> "Por favor, completa el siguiente cuestionario". El entrevistador retira las gafas con cuidado. Tras esto, se le vuelven a ajustar las gafas y se vuelve al principio de "Experiencias" para visualizar el siguiente escenario.	≈1	
	<b>Post-experiencias</b>		
	<b>CUESTIONARIO DE PRESENCIA</b> Cuestionario SUS, para toda las experiencias en general	≈1	
	<b>FINAL CON EL PARTICIPANTE</b> Retirada de dispositivos, acompañamiento a la salida	≈4	
<b>TOTAL</b>		≈81	

\*En amarillo, los comentarios a ser narrados por el entrevistador.

## **8. Finalizar el estudio**

- a. Indicarle al participante que la experiencia ha acabado.
- b. Desconectarle los dispositivos.
- c. Acompañar al participante a la salida.
- d. Eliminar desechables.
- e. Limpiar los dispositivos (strip con alcohol).
- f. Dejar cargando los dispositivos.
- g. Completar el archivo "Resultados cuestionario - NA-PN2018-A1.1" con los resultados del usuario.
- h. Como seguridad, enviar este archivo y el producido por la Tarea de Atención, a [jlhiguera@i3b.upv.es](mailto:jlhiguera@i3b.upv.es)
- i. Guardar los consentimientos en el lugar habilitado para ello.
- j. Dejar la llave en el lugar indicado.

**Anexo 1: Aleatorización**

Participante	VISUALIZACIÓN					
	1	2	3	4	5	6
01	COL	ILU	FOR	COL	ILU	
	111	25	86	118	46	
02	ILU	COL	FOR	COL	ILU	
	52	155	75	152	50	
03	COL	ILU	FOR	ILU	COL	
	113	33	57	32	144	
04	ILU	FOR	ILU	FOR	ILU	
	9	106	32	84	30	
05	ILU	FOR	ILU	FOR	ILU	
	26	67	56	63	28	
06	ILU	FOR	ILU	FOR	ILU	
	16	78	12	99	6	
	16 y 6: ERROR EN TAREA DE ATENCIÓN					
07 (M)	BASE	ILU	FOR	COL	ILU	FOR
	1	14	63	128	3	98
08 (M)	BASE	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	1	31	119	71	50	127
	NEUROFISIOLÓGICAS PERDIDAS					
09 (M)	BASE	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	1	90	36	136	70	54
10 (M)	BASE	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	1	57	156	13	97	144
11 (M)	BASE	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	1	153	47	61	134	22
12 (M)	BASE	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	1	134	59	41	130	100
13 (M)	BASE	ILU	FOR	COL	FOR	ILU
	2	37	64	119	85	43
14 (M)	BASE	ILU	COL	FOR	COL	ILU
	2	42	128	104	147	22
15 (M)	BASE	FOR	ILU	COL	ILU	FOR
	2	81	39	132	26	94
16 (M)	BASE	FOR	COL	ILU	COL	FOR
	2	73	146	56	112	91
17 (M)	BASE	COL	ILU	FOR	ILU	COL
	2	109	53	105	37	150
	109: ERROR EN TAREA DE ATENCIÓN					
18 (M)	BASE	COL	FOR	ILU	FOR	COL
	2	120	106	38	93	140
19 (F)	BASE	ILU	FOR	COL	ILU	FOR
	1	20	101	110	51	107
	110: COLOR CAMBIADO					
20 (F)	BASE	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	1	5	120	85	35	127
21 (F)	BASE	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	1	57	44	145	86	47

22 (F)	BASE	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	1	65	129	30	82	109
23 (F)	BASE	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	1	149	48	58	115	28
24 (F)	BASE	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	1	141	101	4	117	81
	117: COLOR CAMBIADO					
25 (F)	BASE	ILU	FOR	COL	FOR	ILU
	2	54	74	138	84	6
	138: COLOR CAMBIADO					
26 (F)	BASE	ILU	COL	FOR	COL	ILU
	2	27	128	58	125	23
27 (F)	BASE	FOR	ILU	COL	ILU	FOR
	2	72	34	116	43	59
28 (F)	BASE	FOR	COL	ILU	COL	FOR
	2	89	117	16	143	59
29 (F)	BASE	COL	ILU	FOR	ILU	COL
	2	156	42	88	11	118
30 (F)	BASE	COL	FOR	ILU	FOR	COL
	2	148	62	14	83	134
31 (M)	BASE	ILU	FOR	COL	ILU	FOR
	1	8	96	135	6	91
32 (F)	BASE	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	1	38	147	103	21	115
33 (M)	BASE	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	1	92	49	121	76	27
34 (F)	BASE	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	1	107	155	47	96	138
35 (M)	BASE	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	1	115	49	79	111	39
	79: ERROR EN TAREA DE ATENCIÓN					
36 (F)	BASE	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	1	129	71	3	144	93
37 (F)	BASE	ILU	FOR	COL	FOR	ILU
	2	18	93	121	69	41
38 (M)	BASE	ILU	COL	FOR	COL	ILU
	2	15	153	73	118	54
39 (F)	BASE	FOR	ILU	COL	ILU	FOR
	2	71	25	132	4	108
40 (M)	BASE	FOR	COL	ILU	COL	FOR
	2	95	141	9	142	96
41 (F)	BASE	COL	ILU	FOR	ILU	COL
	2	125	21	87	17	117
42 (M)	BASE	COL	FOR	ILU	FOR	COL
	2	139	80	51	83	130
43	ILU	FOR	COL	FOR	ILU	COL
	23	60	123	103	34	113
44	ILU	COL	FOR	COL	ILU	FOR
	13	110	65	136	15	104

45	FOR	ILU	COL	ILU	FOR	COL
	92	18	137	35	97	126
46	FOR	COL	ILU	COL	FOR	ILU
	89	126	40	151	66	19
47	COL	ILU	FOR	ILU	COL	FOR
	133	23	86	29	135	78
48	COL	FOR	ILU	FOR	COL	ILU
	154	67	8	80	150	11
49	ILU	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	19	102	151	52	79	109
50	ILU	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	20	152	68	39	124	65
51	FOR	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	70	44	126	77	48	152
52	FOR	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	72	139	7	102	154	17
53	COL	ILU	FOR	COL	ILU	FOR
	136	11	104	153	12	105
54	COL	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	138	82	51	145	90	10
55	ILU	FOR	COL	FOR	ILU	COL
	40	89	156	92	16	114
56	ILU	COL	FOR	COL	ILU	FOR
	45	137	87	116	8	69
57	FOR	ILU	COL	ILU	FOR	COL
	78	13	148	29	99	143
58	FOR	COL	ILU	COL	FOR	ILU
	94	151	52	149	81	42
59	COL	ILU	FOR	ILU	COL	FOR
	114	40	95	31	143	77
60	COL	FOR	ILU	FOR	COL	ILU
	140	103	18	61	110	15
61	ILU	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	24	58	155	30	73	112
62	ILU	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	33	114	66	53	125	69
63	FOR	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	105	36	122	80	29	149
64	FOR	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	79	150	50	87	113	33
65	COL	ILU	FOR	COL	ILU	FOR
	137	24	95	127	7	108
66	COL	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	133	108	9	116	62	55
67	ILU	FOR	COL	FOR	ILU	COL
	53	101	129	60	14	132
68	ILU	COL	FOR	COL	ILU	FOR
	24	154	61	131	44	107
69	FOR	ILU	COL	ILU	FOR	COL
	72	21	139	45	84	123

70	FOR	COL	ILU	COL	FOR	ILU
	74	112	48	123	77	12
71	COL	ILU	FOR	ILU	COL	FOR
	146	34	88	43	142	75
72	COL	FOR	ILU	FOR	COL	ILU
	122	100	35	98	120	55
73	ILU	FOR	COL	ILU	FOR	COL
	10	75	140	36	99	131
74	ILU	COL	FOR	ILU	COL	FOR
	56	146	106	25	119	64
75	FOR	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	83	10	111	82	19	142
76	FOR	COL	ILU	FOR	COL	ILU
	60	133	3	76	135	31
77	COL	FOR	ILU	COL	FOR	ILU
	148	63	20	122	76	45
78	ILU	FOR	COL	FOR	ILU	COL
	38	70	141	90	4	145
79	FOR	ILU	COL	ILU	FOR	COL
	67	5	147	26	85	121
80	FOR	COL	ILU	COL	FOR	ILU
	88	124	32	131	94	41
81	COL	FOR	ILU	FOR	COL	ILU
	130	98	5	64	124	46
82	FOR	ILU	FOR	ILU	FOR	ILU
	97	49	68	28	102	17
83	FOR	ILU	FOR	ILU		
	68	22	62	7		
84	FOR	ILU	FOR	ILU	FOR	ILU
	100	46	66	37	74	55
	FOR					
85* (rep. 8) (M)	91					
	BASE	ILU	COL	FOR	ILU	COL
	1	31	119	71	50	127
86*	ILU					
	27					
87*	COL	ILU	COL	ILU	COL	ILU
	109	16	139	42	110	6
87*	FOR	COL	ILU	COL		
	79	117	2	138		

\*Aleatorización de variables (ILU, FOR, COL) según contrabalanceo completo, modificado para ajustar a seis visualizaciones por participante, y ajustado al número de escenarios (configuraciones \* 3) de cada variable.

\*Dentro de esa estructura, aleatorización de configuraciones según aleatorización informática.

**Anexo 2: Listas a reproducir con cada participante para la Tarea de Memoria**

Participante	Lista de audio																	
	VIS 1			VIS 2			VIS 3			VIS 4			VIS 5			VIS 6		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
01	1	2	18	3	17	4	16	5	15	6	14	7	13	8	12	9	11	10
02	2	3	1	4	18	5	17	6	16	7	15	8	14	9	13	10	12	11
03	3	4	2	5	1	6	18	7	17	8	16	9	15	10	14	11	13	12
04	4	5	3	6	2	7	1	8	18	9	17	10	16	11	15	12	14	13
05	5	6	4	7	3	8	2	9	1	10	18	11	17	12	16	13	15	14
06	6	7	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	18	13	17	14	16	15
07	7	8	6	9	5	10	4	11	3	12	2	13	1	14	18	15	17	16
08	8	9	7	10	6	11	5	12	4	13	3	14	2	15	1	16	18	17
09	9	10	8	11	7	12	6	13	5	14	4	15	3	16	2	17	1	18
10	10	11	9	12	8	13	7	14	6	15	5	16	4	17	3	18	2	1
11	11	12	10	13	9	14	8	15	7	16	6	17	5	18	4	1	3	2
12	12	13	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18	6	1	5	2	4	3
13	13	14	12	15	11	16	10	17	9	18	8	1	7	2	6	3	5	4
14	14	15	13	16	12	17	11	18	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
15	15	16	14	17	13	18	12	1	11	2	10	3	9	4	8	5	7	6
16	16	17	15	18	14	1	13	2	12	3	11	4	10	5	9	6	8	7
17	17	18	16	1	15	2	14	3	13	4	12	5	11	6	10	7	9	8
18	18	1	17	2	16	3	15	4	14	5	13	6	12	7	11	8	10	9
19	1	2	18	3	17	4	16	5	15	6	14	7	13	8	12	9	11	10
20	2	3	1	4	18	5	17	6	16	7	15	8	14	9	13	10	12	11
21	3	4	2	5	1	6	18	7	17	8	16	9	15	10	14	11	13	12
22	4	5	3	6	2	7	1	8	18	9	17	10	16	11	15	12	14	13
23	5	6	4	7	3	8	2	9	1	10	18	11	17	12	16	13	15	14
24	6	7	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	18	13	17	14	16	15
25	7	8	6	9	5	10	4	11	3	12	2	13	1	14	18	15	17	16
26	8	9	7	10	6	11	5	12	4	13	3	14	2	15	1	16	18	17
27	9	10	8	11	7	12	6	13	5	14	4	15	3	16	2	17	1	18
28	10	11	9	12	8	13	7	14	6	15	5	16	4	17	3	18	2	1
29	11	12	10	13	9	14	8	15	7	16	6	17	5	18	4	1	3	2
30	12	13	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18	6	1	5	2	4	3
31	13	14	12	15	11	16	10	17	9	18	8	1	7	2	6	3	5	4
32	14	15	13	16	12	17	11	18	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
33	15	16	14	17	13	18	12	1	11	2	10	3	9	4	8	5	7	6
34	16	17	15	18	14	1	13	2	12	3	11	4	10	5	9	6	8	7
35	17	18	16	1	15	2	14	3	13	4	12	5	11	6	10	7	9	8
36	18	1	17	2	16	3	15	4	14	5	13	6	12	7	11	8	10	9
37	1	2	18	3	17	4	16	5	15	6	14	7	13	8	12	9	11	10
38	2	3	1	4	18	5	17	6	16	7	15	8	14	9	13	10	12	11
39	3	4	2	5	1	6	18	7	17	8	16	9	15	10	14	11	13	12
40	4	5	3	6	2	7	1	8	18	9	17	10	16	11	15	12	14	13
41	5	6	4	7	3	8	2	9	1	10	18	11	17	12	16	13	15	14
42	6	7	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	18	13	17	14	16	15
43	7	8	6	9	5	10	4	11	3	12	2	13	1	14	18	15	17	16
44	8	9	7	10	6	11	5	12	4	13	3	14	2	15	1	16	18	17

45	9	10	8	11	7	12	6	13	5	14	4	15	3	16	2	17	1	18
46	10	11	9	12	8	13	7	14	6	15	5	16	4	17	3	18	2	1
47	11	12	10	13	9	14	8	15	7	16	6	17	5	18	4	1	3	2
48	12	13	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18	6	1	5	2	4	3
49	13	14	12	15	11	16	10	17	9	18	8	1	7	2	6	3	5	4
50	14	15	13	16	12	17	11	18	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
51	15	16	14	17	13	18	12	1	11	2	10	3	9	4	8	5	7	6
52	16	17	15	18	14	1	13	2	12	3	11	4	10	5	9	6	8	7
53	17	18	16	1	15	2	14	3	13	4	12	5	11	6	10	7	9	8
54	18	1	17	2	16	3	15	4	14	5	13	6	12	7	11	8	10	9
55	1	2	18	3	17	4	16	5	15	6	14	7	13	8	12	9	11	10
56	2	3	1	4	18	5	17	6	16	7	15	8	14	9	13	10	12	11
57	3	4	2	5	1	6	18	7	17	8	16	9	15	10	14	11	13	12
58	4	5	3	6	2	7	1	8	18	9	17	10	16	11	15	12	14	13
59	5	6	4	7	3	8	2	9	1	10	18	11	17	12	16	13	15	14
60	6	7	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	18	13	17	14	16	15
61	7	8	6	9	5	10	4	11	3	12	2	13	1	14	18	15	17	16
62	8	9	7	10	6	11	5	12	4	13	3	14	2	15	1	16	18	17
63	9	10	8	11	7	12	6	13	5	14	4	15	3	16	2	17	1	18
64	10	11	9	12	8	13	7	14	6	15	5	16	4	17	3	18	2	1
65	11	12	10	13	9	14	8	15	7	16	6	17	5	18	4	1	3	2
66	12	13	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18	6	1	5	2	4	3
67	13	14	12	15	11	16	10	17	9	18	8	1	7	2	6	3	5	4
68	14	15	13	16	12	17	11	18	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
69	15	16	14	17	13	18	12	1	11	2	10	3	9	4	8	5	7	6
70	16	17	15	18	14	1	13	2	12	3	11	4	10	5	9	6	8	7
71	17	18	16	1	15	2	14	3	13	4	12	5	11	6	10	7	9	8
72	18	1	17	2	16	3	15	4	14	5	13	6	12	7	11	8	10	9
73	1	2	18	3	17	4	16	5	15	6	14	7	13	8	12	9	11	10
74	2	3	1	4	18	5	17	6	16	7	15	8	14	9	13	10	12	11
75	3	4	2	5	1	6	18	7	17	8	16	9	15	10	14	11	13	12
76	4	5	3	6	2	7	1	8	18	9	17	10	16	11	15	12	14	13
77	5	6	4	7	3	8	2	9	1	10	18	11	17	12	16	13	15	14
78	6	7	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	18	13	17	14	16	15
79	7	8	6	9	5	10	4	11	3	12	2	13	1	14	18	15	17	16
80	8	9	7	10	6	11	5	12	4	13	3	14	2	15	1	16	18	17
81	9	10	8	11	7	12	6	13	5	14	4	15	3	16	2	17	1	18
82	10	11	9	12	8	13	7	14	6	15	5	16	4	17	3	18	2	1
83	11	12	10	13	9	14	8	15	7	16	6	17						
84	12	13	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18	6	1	5	2	4	3
	5	18	4	VISUALIZACIÓN 7														
85*	13	14	12	15	11	16	10	17	9	18	8	1	7	2	6	3	5	4
	1	3	2	VISUALIZACIÓN 7														
86*	14	15	13	16	12	17	11	18	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
87*	15	16	14	17	13	18	12	1	11	2	10	3						

\*Aleatorización según cuadrado latino balanceado

### Anexo 3: Listas de palabras de la Tarea Memoria

LISTA					
LISTA 1	LISTA 2	LISTA 3	LISTA 4	LISTA 5	LISTA 6
película	fuego	dolor	día	pie	música
arte	cigarro	daño	luna	cordón	cuerdas
televisión	chimenea	herida	oscuridad	tacón	tocar
oscuro	tabaco	rotura	estrellas	bota	española
visión	gris	fútbol	negra	andar	eléctrica
actor	incendio	pierna	dormir	zapatilla	flamenco
teatro	fumar	grave	luz	suela	canción
mudo	señal	roto	sueño	sandalia	rock
butaca	olor	accidente	vida	cuero	concierto
pantalla	leña	fractura	cielo	incómodo	piano
espectáculo	sucio	corte	fiesta	media	punteo
vídeo	indio	rodilla	soledad	caminar	tambor
estreno	hoguera	brazo	larga	apretado	acordes
proyector	ceniza	enfermedad	juerga	calzado	acústica
entretenido	aire	rasguño	miedo	betún	clásica
LISTA 7	LISTA 8	LISTA 9	LISTA 10	LISTA 11	LISTA 12
sitio	alas	música	amor	soldado	maullido
aquí	volar	canto	rojo	militar	arañazo
parte	colores	melodía	latido	guardia	ratón
mancha	gusano	cuan	vida	general	uñas
campo	bonita	voz	sangre	ejército	tejado
espacio	belleza	letra	partido	policía	felino
monte	jardín	ritmo	orégano	mili	bigotes
punto	efecto	nana	roto	batallón	liebre
allí	libre	tono	infarto	represión	persa
éste	insecto	sonata	león	regimiento	pardo
estar	parque	ópera	bombear	oficial	mascota
rincón	frágil	guitarra	caliente	infantería	fiereza
región	larva	armonía	vena	guerra	casabel
ciudad	oruga	festival	alma	coronel	angora
origen	planta	villancico	arteria	aviación	suave
LISTA 13	LISTA 14	LISTA 15	LISTA 16	LISTA 17	LISTA 18
alegría	paz	cuello	leer	puerta	rey
juerga	muerte	alta	lectura	cerradura	reina
diversión	lucha	zoo	letras	abrir	espinas
baile	horror	selva	hojas	llavero	diamantes
marcha	odio	manchas	estudiar	candado	real
verbena	sangre	África	entretenimiento	iglesia	oro
noche	violencia	árbol	aprender	cerrojo	cabeza
guateque	destrucción	grande	sabiduría	metal	laurel
grande	fusil	sabana	página	coche	funeral
feliz	mal	larga	estantería	maestra	princesa
música	batalla	jungla	enciclopedia	entrar	dorada
champán	armas	avestruz	cultura	cerrar	diadema
feria	fatal	safari	capítulo	blindada	aro
disfraces	sucio	patas	biblioteca	agujero	patria
confetis	fría	lechuga	cuento	bolso	poder

#### Anexo 4: Configuraciones de la variable Iluminación

SERIE ILUMINACIÓN				
Código		Iluminancia	Direccionalidad	Temperatura
ETSA	ETSIE			
3	4	+100 lx	D	3000 K
5	6	+100 lx	I	3000 K
7	8	+100 lx	DI	3000 K
9	10	+100 lx	D	4000 K
11	12	+100 lx	I	4000 K
13	14	+100 lx	DI	4000 K
15	16	+100 lx	D	6500 K
17	18	+100 lx	I	6500 K
19	20	+100 lx	DI	6500 K
21	22	+300 lx	D	3000 K
23	24	+300 lx	I	3000 K
25	26	+300 lx	DI	3000 K
27	28	<i>+300 lx</i>	<i>D</i>	<i>4000 K</i>
29	30	+300 lx	I	4000 K
31	32	+300 lx	DI	4000 K
33	34	+300 lx	D	6500 K
35	36	+300 lx	I	6500 K
37	38	+300 lx	DI	6500 K
39	40	+500 lx	D	3000 K
41	42	+500 lx	I	3000 K
43	44	+500 lx	DI	3000 K
45	46	+500 lx	D	4000 K
47	48	+500 lx	I	4000 K
49	50	+500 lx	DI	4000 K
51	52	+500 lx	D	6500 K
53	54	+500 lx	I	6500 K
55	56	+500 lx	DI	6500 K

ETSA: se considera una luz natural de 200 lx

ETSA:

+100 lx = 300 lx totales (100 artificial + 200 natural)

+300 lx = 500 lx totales (300 artificial + 200 natural)

+300 lx = 700 lx totales (500 artificial + 200 natural)

ETSIE:

+100 lx = 100 lx totales (100 artificial)

+300 lx = 300 lx totales (300 artificial)

+500 lx = 500 lx totales (500 artificial)

\*En cursiva, configuraciones comunes con Forma y Color

**Anexo 5: Configuraciones de la variable Forma**

<b>SERIE FORMA</b>				
<b>Código</b>		<b>Techo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Pizarra</b>
<b>ETSA</b>	<b>ETSIE</b>			
57	58	X – 1'2 m	X m	X
59	60	X – 1'2 m	X – 0'6 m	X
61	62	X – 1'2 m	X – 1'2 m	X
63	64	X – 1'2 m	X m	X – 0'6 m
65	66	X – 1'2 m	X – 0'6 m	X – 0'6 m
67	68	X – 1'2 m	X – 1'2 m	X – 0'6 m
69	70	X – 1'2 m	X m	X – 1,2 m
71	72	X – 1'2 m	X – 0'6 m	X – 1,2 m
73	74	X – 1'2 m	X – 1'2 m	X – 1,2 m
75	76	X – 0'6 m	X m	X
77	78	X – 0'6 m	X – 0'6 m	X
79	80	X – 0'6 m	X – 1'2 m	X
81	82	X – 0'6 m	X m	X – 0'6 m
83	84	X – 0'6 m	X – 0'6 m	X – 0'6 m
85	86	X – 0'6 m	X – 1'2 m	X – 0'6 m
87	88	X – 0'6 m	X m	X – 1,2 m
89	90	X – 0'6 m	X – 0'6 m	X – 1,2 m
91	92	X – 0'6 m	X – 1'2 m	X – 1,2 m
27	28	<i>X m</i>	<i>X m</i>	X
93	94	X m	X – 0'6 m	X
95	96	X m	X – 1'2 m	X
97	98	X m	X m	X – 0'6 m
99	100	X m	X – 0'6 m	X – 0'6 m
101	102	X m	X – 1'2 m	X – 0'6 m
103	104	X m	X m	X – 1,2 m
105	106	X m	X – 0'6 m	X – 1,2 m
107	108	X m	X – 1'2 m	X – 1,2 m

\*En cursiva, configuraciones comunes con Forma y Color

## Anexo 6: Configuraciones de la variable Color

SERIE COLOR				
Código		Tono	Saturación	(Nomenclatura completa)
ETSA	ETSIE			
109	110	5BG	4	5BG 5/4
111	112	5BG	10	5BG 5/10
113	114	5BG	4 + 10	5BG 5/4 + 5BG 5/10
115	116	5PB	8	5PB 5/8
117	118	5PB	14	5PB 5/14
119	120	5PB	8 + 14	5PB 5/8 + 5PB 5/14
121	122	5P	6	5P 5/6
123	124	5P	12	5P 5/12
125	126	5P	6 + 12	5P 5/6 + 5P 5/12
127	128	5RP	8	5RP 5/8
129	130	5RP	14	5RP 5/14
131	132	5RP	8 + 14	5RP 5/8 + 5RP 5/14
133	134	5R	10	5R 5/10
135	136	5R	16	5R 5/16
137	138	5R	10 + 16	5R 5/10 + 5R 5/16
139	140	5YR	4	5YR 5/4
141	142	5YR	10	5YR 5/10
143	144	5YR	4 + 10	5YR 5/4 + 5YR 5/10
145	146	5Y	2	5Y 5/2
147	148	5Y	8	5Y 5/8
149	150	5Y	2 + 8	5Y 5/2 + 5Y 5/8
151	152	5GY	4	5GY 5/4
153	154	5GY	10	5GY 5/10
155	156	5GY	4 + 10	5GY 5/4 + 5GY 5/10
27	28	-	0	

\*En cursiva, configuraciones comunes con Forma y Color

## Anexo 7: Configuraciones Base

SERIE BASE	
Código	Escuela
01	ETSA – estado actual
02	ETSIE – estado actual

## Anexo 8: Medidas y Proporciones

Código	Largo	Ancho	Alto	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	(metros)	(metros)	(metros)	(l*a*h) m3	(l/a)	(l/h)	(a/h)	(l-a/l-h)	(a-l/a-h)
28	16,46	8,83	3,802	552,5895236	1,86409966	4,329300368	2,322461862	0,60278085	-1,517501989
94	16,46	8,23	3,802	515,0409716	2	4,329300368	2,164650184	0,650181703	-1,85862692
96	16,46	7,63	3,802	477,4924196	2,157273919	4,329300368	2,006838506	0,697582556	-2,306687565
98	16,46	8,83	3,802	552,5895236	1,86409966	4,329300368	2,322461862	0,60278085	-1,517501989
100	16,46	8,23	3,802	515,0409716	2	4,329300368	2,164650184	0,650181703	-1,85862692
102	16,46	7,63	3,802	477,4924196	2,157273919	4,329300368	2,006838506	0,697582556	-2,306687565
104	16,46	8,83	3,802	552,5895236	1,86409966	4,329300368	2,322461862	0,60278085	-1,517501989
106	16,46	8,23	3,802	515,0409716	2	4,329300368	2,164650184	0,650181703	-1,85862692

## Anexo 9: Naturaleza de la Iluminancia

Código	Total (T)	Natural (N)	Artificial (A)	R1	R2	R3	R4	R5
	lx	lx	lx	N / T	A / T	N / A	(N-T / N-A)	(T-A / T-N)
3 (ETSA)	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
5	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
7	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
9	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
11	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
13	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
15	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
17	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
19	300	200	100	0,666666667	0,333333333	2	-1	2
21	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
23	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
25	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
27	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
29	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
31	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
33	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
35	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
37	500	200	300	0,4	0,6	0,666666667	3	0,666666667
39	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
41	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
43	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
45	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
47	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
49	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
51	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
53	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
55	700	200	500	0,285714286	0,714285714	0,4	1,666666667	0,4
4 (ETSIE)	100	0	100	0	1	0	1	0
6	100	0	100	0	1	0	1	0
8	100	0	100	0	1	0	1	0
10	100	0	100	0	1	0	1	0
12	100	0	100	0	1	0	1	0
14	100	0	100	0	1	0	1	0
16	100	0	100	0	1	0	1	0
18	100	0	100	0	1	0	1	0
20	100	0	100	0	1	0	1	0
22	300	0	300	0	1	0	1	0
24	300	0	300	0	1	0	1	0
26	300	0	300	0	1	0	1	0
28	300	0	300	0	1	0	1	0
30	300	0	300	0	1	0	1	0
32	300	0	300	0	1	0	1	0
34	300	0	300	0	1	0	1	0
36	300	0	300	0	1	0	1	0
38	300	0	300	0	1	0	1	0
40	500	0	500	0	1	0	1	0
42	500	0	500	0	1	0	1	0
44	500	0	500	0	1	0	1	0
46	500	0	500	0	1	0	1	0
48	500	0	500	0	1	0	1	0
50	500	0	500	0	1	0	1	0
52	500	0	500	0	1	0	1	0
54	500	0	500	0	1	0	1	0