

TESIS DOCTORAL

**DISEÑO ARQUITECTÓNICO CENTRADO EN EL USUARIO
MEDIANTE NEUROTECNOLOGÍAS INMERSIVAS**

JUAN LÓPEZ-TARRUELLA MALDONADO

SEPTIEMBRE 2017

DIRECTORA

Dra. M^a CARMEN LLINARES MILLÁN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

RESUMEN

El proceso de diseño arquitectónico es una tarea compleja consistente en cristalizar una solución única que satisfaga simultáneamente una serie de requisitos de muy distinta naturaleza.

Para acometer los requerimientos técnicos, el arquitecto está acostumbrado a respaldarse bajo criterios objetivos que garanticen la idoneidad de las soluciones propuestas. No obstante, otros aspectos más subjetivos o dependientes del usuario, como la funcionalidad o la estética, suelen ser abordados de una forma personal e intuitiva por el proyectista.

Sin embargo, esta forma de diseñar no permite conocer las necesidades y preferencias del usuario, ni su respuesta ante los diseños, de tal forma que no es posible cuantificar en qué medida lo proyectado satisfará al futuro usuario.

El objetivo de este trabajo es proponer y comprobar experimentalmente una metodología que, mediante la combinación de herramientas de la Psicología Ambiental e Ingeniería Kansei, sistemas de visualización inmersiva y tecnologías de medición de la respuesta psicofisiológica, permita obtener, de una manera científica y metódica, la respuesta de los usuarios ante el espacio arquitectónico para obtener información objetiva que aporte valor al proceso de diseño arquitectónico.

Para ello, se plantean seis estudios experimentales que tratan distintos aspectos de la metodología propuesta: Las diferencias en preferencias de diseño entre arquitectos y no arquitectos, las diferencias en la comprensión del espacio según el sistema de presentación de los diseños, la identificación de los factores afectivos de un espacio y su relación con variables de diseño mediante Ingeniería Kansei y la obtención de la respuesta emocional del usuario ante un espacio mediante escalas de evaluación y medición psicofisiológica.

Los resultados de esta tesis pueden ser de utilidad para aquellos arquitectos interesados en hacer partícipe al usuario en el proceso de diseño arquitectónico.

RESUM

El procés de disseny arquitectònic és una tasca molt complexa consistent a cristal·litzar una solució única que satisfaga simultàniament una sèrie de requisits de molt diferent naturalesa.

Per a escometre els requeriments tècnics, l'arquitecte està acostumat a fer ús de criteris objectius, basats en la ciència, que garantisquen la idoneïtat de les solucions proposades. No obstant això, uns altres aspectes més subjectius o dependents de la casuística de l'usuari, com la funcionalitat o l'estètica, són habitualment abordats d'una manera personal i intuïtiva pel projectista.

Aquesta forma de procedir no permet conèixer les necessitats i preferències reals dels usuaris, ni la seua resposta davant els dissenys, de tal manera que no és possible quantificar en quina mesura el que es projecta satisfarà el futur usuari.

L'objectiu d'aquest treball és proposar i comprovar experimentalment una metodologia que, mitjançant la combinació d'eines de la Psicologia Ambiental i Enginyeria Kansei, sistemes de visualització immersiva i tecnologies de mesurament de la resposta psicofisiològica, permeta obtenir, d'una manera científica i metòdica, la resposta dels usuaris davant els espais arquitectònics per a obtenir informació objectiva que aporte valor al procés de disseny arquitectònic.

Per això, es plantegen sis estudis que tracten les diferents aspectes de la metodologia proposada: Les diferències en preferències de disseny entre arquitectes i no arquitectes, les diferències en la comprensió de l'espai segons el sistema de presentació dels dissenys, la identificació dels factors afectius d'un espai i la seva relació amb variables de disseny mitjançant Enginyeria Kansei i l'obtenció de la resposta emocional de l'usuari davant d'un espai mitjançant escales d'avaluació i mesurament psicofisiològica.

Els resultats d'aquesta tesi poden ser d'utilitat per a aquells arquitectes interessats a fer partícip l'usuari en el procés de disseny arquitectònic.

ABSTRACT

The architectural design process is a highly complex task based on crystallizing a unique solution which will satisfy simultaneously a series of requirements of a very diverse nature.

In order to meet the technical requirements, the architect is guided by objective criteria based on empirical science, which guarantees the appropriateness of the proposed solutions. Nevertheless, some other more subjective aspects or factors in accordance with the client's particular preferences and demands, such as functionality or aesthetic effect, are usually tackled in a personal and intuitive manner by the project designer.

This procedure does not allow the architect to know the client's subjective needs and true preferences exactly, nor how the client will respond to the architect's designs, and therefore it is not possible to quantify what the client's degree of satisfaction with the elaborated project will be.

The objective of this work is to propose and verify experimentally a methodology which, through the combination of tools from Environmental Design, Kansei Engineering, immersive visualization and psychophysiological response measuring technologies, will enable us, in a scientific and methodical way, to know the user's response to the architectural space and thus acquire objective information which will be invaluable to the elaboration of the architectural design.

For this purpose, six experimental studies deal with the different aspects of the proposed methodology: Differences in design preferences between architects and lay persons, differences in spatial understanding according to the visualization system, identification of affective factors of space and its relationship with design variables by Kansei Engineering and obtaining user's emotional response by autoevaluation and physiological measurement.

The results of this thesis can be useful for those architects interested in involving the user in the process of architectural design

AGRADECIMIENTOS

El tiempo. Nada más abundante, nada más escaso...

Cuánto tiempo dedicado apasionadamente junto a los compañeros de investigación, pero a costa de cuánto tiempo robado a los seres queridos.

A todos ellos les debo, por unas u otras razones, mi más sincero agradecimiento.

Corresponder a los primeros, aquellos con quien he compartido mi tiempo, me llevaría a nombrar un número de personas que sobrepasa el espacio aquí disponible, y mi cada vez más mermada memoria. Intentaré incluirlos a todos, y ruego a quien no se vea explícitamente citado que se dé por aludido y disculpe mi omisión;

Así, en primer lugar debo dar las gracias a todas las personas del Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas (el LENI) del Instituto i3b de la UPV. Desde el primero hasta el último.

A Mariano Alcañiz, Manuel Contero y aquellos que me dieron la oportunidad de formar parte del Instituto de Investigación. Gracias por haberme dejado viajar al futuro.

A los compañeros; Jaime, Johnny, José Manuel, Juan Carlos (cuantas J's éramos), Manu, Carmen, Carla, Elena, Loli... por hacerme sentir como en casa durante todo este tiempo. Ahora que sabemos la importancia del factor *hominess*.

Al grupo de Neuroarquitectura, que nació cuando nos juntamos Toni, Susana, Juan Luis, Javi, y ya ha dado sus primeros pasos en este mundo tan complicado.

A M^a Carmen Linares, mucho más de lo que esperaba de una directora de tesis. Tu capacidad intelectual, tu grado de dedicación y tu entusiasmo son motivadores. De lo que hemos llegado a ser todo el mérito es tuyo.

No quiero olvidar a las diversas asociaciones de apoyo a la lactancia materna, a la ETSAV, el CTAV, etc. que nos han ayudado difundiendo los cuestionarios de los estudios, y al Ministerio de Economía y Competitividad que nos ha dado soporte económico (Proyecto TIN2013-45736-R).

Por otro lado, a los que les he robado tiempo;

A los amigos de siempre, que ya casi no nos vemos, Ausiàs, Chisco, Fele, Luis, Jesús, Cristian, Carlos...

A la familia. Papá, mamá, Carlos, Javi, M^a José, Javi Junior, Esperanza...

A Eric, sin tí habría acabado esta tesis un año antes...

A Tania, demasiado buena para este mundo...

y siempre se me olvida decirlos lo mucho que os quiero.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Motivaciones y justificación.....	4
Objetivos e hipótesis.....	7
Metodología.....	10
Estructura de la tesis.....	12
Contenido publicado.....	14
<i>Un caso de diseño centrado en el usuario</i>	<i>18</i>
SECCIÓN A ASPECTOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES	21
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	23
Diseño centrado en el usuario	23
Disciplinas que han tratado la relación entre la persona y el entorno	27
Psicología ambiental	28
<i>Breve reseña histórica</i>	<i>28</i>
<i>Características y temas tratados.....</i>	<i>30</i>
<i>Aplicación en el ámbito de la Arquitectura.....</i>	<i>31</i>
Evidence-Based Design	32
<i>Breve reseña histórica</i>	<i>33</i>
<i>Características y temas tratados.....</i>	<i>35</i>
<i>Aplicación en el ámbito de la arquitectura.....</i>	<i>41</i>
Neuroarquitectura	42
<i>Breve reseña histórica</i>	<i>42</i>
<i>Características y temas tratados.....</i>	<i>44</i>
<i>Aplicación en el ámbito de la Arquitectura.....</i>	<i>44</i>
CAPÍTULO 2 SISTEMAS DE SIMULACIÓN AMBIENTAL	47
Soportes y formatos de visualización.....	48
Realidad Virtual.....	50
<i>Concepto.....</i>	<i>50</i>
<i>Funcionamiento y dispositivos.....</i>	<i>51</i>
<i>Aplicaciones de la Realidad Virtual.....</i>	<i>55</i>
Formato panorámico 360º.....	58
Validez de los distintos sistemas de simulación ambiental	61
<i>Utilidad de los sistemas de representación</i>	<i>61</i>
<i>Estudios comparativos entre sistemas</i>	<i>61</i>
<i>Estudios comparativos entre variables de sistema.....</i>	<i>62</i>
<i>Estudios comparativos frente al espacio físico</i>	<i>63</i>

CAPÍTULO 3 MEDICIÓN DE LA RESPUESTA DEL USUARIO	67
La investigación científica de las emociones	67
Emoción y respuesta del usuario.....	68
Herramientas de captación de la respuesta del usuario	70
<i>La observación</i>	70
<i>El trazado de mapas</i>	71
<i>La entrevista</i>	72
<i>El focus group</i>	73
<i>El cuestionario</i>	73
<i>La escala de evaluación</i>	74
<i>El experimento</i>	75
Métodos de captación de la opinión del usuario	78
Ingeniería Kansei	78
<i>Concepto</i>	78
<i>Metodología</i>	79
<i>Ámbito de aplicación</i>	80
Medición psicofisiológica	82
<i>La estructura del cerebro</i>	82
<i>Modularidad de la actividad cerebral</i>	85
<i>Medida directa, indirecta y comportamental de la actividad cerebral</i>	87
<i>Electroencefalografía</i>	88
<i>Magnetoencefalografía</i>	89
<i>Resonancia magnética funcional</i>	89
<i>Actividad Electrodérmica</i>	89
<i>Variabilidad de la frecuencia cardíaca</i>	90
<i>Eye tracking</i>	92
<i>Electromiografía facial</i>	93
<i>Análisis visual automático de las expresiones faciales</i>	94
<i>Aplicación de la medición fisiológica en diseño y arquitectura</i>	95
SECCIÓN B ESTUDIOS	97
ESTUDIO 1 DIFERENCIAS EN PREFERENCIAS DE DISEÑO ENTRE ARQUITECTOS Y NO ARQUITECTOS.....	99
Introducción	99
<i>Diferencias de valoración entre arquitectos y no arquitectos</i>	99
<i>El significado simbólico de la arquitectura y las preferencias</i>	100
<i>Estudios centrados en fachadas</i>	102
<i>Estudios centrados en estilos arquitectónicos</i>	103
<i>Sesgos cognitivos y su influencia en la preferencia arquitectónica</i>	103
<i>Sesgo por efecto laguna de exposición</i>	105
<i>Sesgo de autoridad</i>	106
<i>Limitaciones de los estudios existentes</i>	106
<i>Objetivo</i>	107

Materiales y métodos	108
<i>Estímulos</i>	108
<i>Cuestionario</i>	110
<i>Participantes</i>	111
<i>Análisis estadístico</i>	111
Resultados.....	113
a. <i>Análisis de diferencias en relación a los estilos arquitectónicos</i>	113
b. <i>Análisis de diferencias en relación a los materiales</i>	120
c. <i>Diferencias por sesgo de exposición</i>	126
d. <i>Diferencias por sesgo de autoridad</i>	128
Discusión y conclusiones.....	129
ESTUDIO 2 DIFERENCIAS EN LA COMPRENSIÓN DE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE PRESENTACIÓN	133
Introducción.....	133
<i>Comprensión espacial</i>	134
<i>Influencia de la libertad de punto de vista</i>	135
<i>Influencia del grado de inmersión y presencia</i>	135
<i>Evaluación de la orientación</i>	136
<i>Evaluación de la memoria espacial</i>	138
<i>Evaluación de la comprensión de formas y dimensiones</i>	138
<i>Evaluación de la comprensión a otros niveles</i>	139
<i>Objetivo</i>	140
Materiales y métodos	141
<i>Estímulos</i>	141
<i>Cuestionario y desarrollo de la experiencia</i>	144
<i>Participantes</i>	145
<i>Análisis de datos</i>	145
Resultados.....	147
a. <i>Análisis de medias</i>	147
b. <i>Análisis de diferencias en función del estímulo visualizado</i>	148
c. <i>Análisis de respuestas abiertas</i>	149
Discusión y conclusiones.....	152
ESTUDIO 3 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES AFECTIVOS DE UN ESPACIO	155
Introducción.....	155
<i>Objetivo</i>	157
Materiales y métodos	158
<i>Estímulos</i>	158
<i>Cuestionario y desarrollo de la experiencia</i>	158
<i>Participantes</i>	159
<i>Análisis de datos</i>	161
Resultados.....	162
a. <i>Análisis de diferencias significativas en función del perfil del sujeto</i>	162

b.	<i>Obtención del espacio perceptual de los sujetos</i>	163
c.	<i>Relación entre la estructura perceptual y la valoración global de la sala</i>	164
d.	<i>Obtención del espacio perceptual</i>	164
	Discusión y conclusiones	168
ESTUDIO 4 EVALUACIÓN DE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE SU COLOR		173
	Introducción	173
	<i>Codificación de colores</i>	173
	<i>Color y preferencia</i>	176
	<i>¿Es la respuesta al color directa o cognitiva?</i>	177
	<i>Estudios sobre color en entornos arquitectónicos sanitarios</i>	178
	<i>El problema de la falta de espacios reales en los estudios</i>	179
	<i>Las ventajas de las nuevas tecnologías de visualización</i>	179
	<i>Objetivo</i>	181
	Materiales y métodos.....	182
	<i>Estímulos</i>	182
	<i>Cuestionario y desarrollo de la experiencia</i>	184
	<i>Participantes</i>	184
	<i>Análisis de datos</i>	185
	Resultados	186
a.	<i>Análisis de diferencias en función del perfil del sujeto</i>	186
b.	<i>Impacto de las diferentes gamas cromáticas en las impresiones afectivas</i>	186
c.	<i>Análisis de diferencias en función del color de la sala</i>	188
d.	<i>Incidencia de las impresiones afectivas en la valoración global de la sala</i>	188
e.	<i>Ordenación de las gamas cromáticas en la valoración global de la sala</i>	189
	Discusión y conclusiones	191
ESTUDIO 5 RESPUESTA EMOCIONAL Y PSICOFISIOLÓGICA ANTE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE SU COLOR		195
	Introducción	195
	<i>Color, respuesta afectiva y emociones</i>	195
	<i>La escala Semantisk Milobeskribing (SMB) de Kuller</i>	197
	<i>La escala Pleasure / Arousal /Dominance (PAD) de Mehrabian y Russell</i>	199
	<i>Respuesta fisiológica al color</i>	200
	<i>Objetivo</i>	202
	Materiales y métodos.....	203
	<i>Estímulos</i>	203
	<i>Cuestionario</i>	204
	<i>Medición fisiológica</i>	205
	<i>Participantes</i>	205
	<i>Desarrollo de la experiencia</i>	205
	<i>Tratamiento de los datos fisiológicos</i>	206
	<i>Análisis de datos</i>	207
	Resultados	208

a. Análisis descriptivo	208
b. Análisis de diferencias en función del color.....	209
c. Análisis de la relación entre color, respuesta psicofisiológica y preferencia	210
d. Análisis de la preferencia a partir de análisis de regresión	213
Discusión y conclusiones.....	214
ESTUDIO 6 RESPUESTA EMOCIONAL Y PSICOFISIOLÓGICA ANTE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE LA PRESENCIA DE NATURALEZA	219
Introducción.....	219
<i>Efecto de la presencia de naturaleza en el ser humano.....</i>	<i>219</i>
<i>Objetivo</i>	<i>220</i>
Materiales y métodos	221
<i>Estímulos</i>	<i>221</i>
<i>Cuestionario</i>	<i>222</i>
<i>Medición psicofisiológica.....</i>	<i>224</i>
<i>Participantes</i>	<i>224</i>
<i>Desarrollo del experimento</i>	<i>224</i>
<i>Tratamiento de los datos.....</i>	<i>225</i>
Resultados.....	227
a. Análisis descriptivo	227
b. Análisis de fiabilidad de los estímulos utilizados.....	228
c. Análisis de diferencias en las respuestas	229
Discusión y conclusiones.....	231
CONCLUSIONES.....	233
Conclusiones sobre los estudios experimentales	235
<i>Sobre el primer estudio.....</i>	<i>235</i>
<i>Sobre el segundo estudio.....</i>	<i>236</i>
<i>Sobre el tercer estudio.....</i>	<i>237</i>
<i>Sobre el cuarto estudio.....</i>	<i>238</i>
<i>Sobre el quinto estudio.....</i>	<i>239</i>
<i>Sobre el sexto estudio.....</i>	<i>240</i>
Conclusiones finales.....	242
Futuras líneas de investigación	247
BIBLIOGRAFÍA.....	249
ÍNDICE DE FIGURAS.....	289
ÍNDICE DE TABLAS.....	291
ANEXOS	293
Anexo 1: Imágenes visualizadas en el Estudio 1	293
Anexo 2: Imágenes equirectangulares visualizadas en los Estudios 4 y 5.....	312
Anexo 3: Imágenes visualizadas en el Estudio 6	321

INTRODUCCIÓN

“La arquitectura es una ciencia que surge de muchas otras ciencias, y adornada con muy variado aprendizaje”

Vitruvio

“Hacer más humana la arquitectura significa hacer mejor arquitectura”

Alvar Aalto

Antecedentes

Se atribuye al arquitecto romano Vitruvio resumir las distintas cualidades que un edificio público debe poseer en los principios de firmeza (*firmitas*), utilidad (*utilitas*) y belleza (*venustas*) en el tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva (Perrault, 1761).

Dos milenios después, es indiscutible que el proceso de diseño arquitectónico es una tarea muy compleja consistente en cristalizar una solución única que debe dar respuesta a una gran cantidad de condicionantes de muy distinta índole (técnicos, funcionales, estéticos, ambientales, sociales, legales, presupuestarios...).

Tradicionalmente, el arquitecto ha abordado el reto proyectual de forma personal e intuitiva basándose en su propia experiencia y sensibilidad.

Con el paso del tiempo en la parte técnica, la *firmitas* de Vitruvio, se ha podido apoyar en buenas prácticas y, posteriormente, probadas teorías (física, geotécnica, resistencia de materiales...) como criterios objetivos que, en cierta manera, garantizaran la idoneidad de las soluciones propuestas.

En lo relativo a lo funcional y lo estético (*utilitas y venustas*), sin embargo, no es tan inmediato adquirir una información objetiva que ayude a optimizar los diseños. Así, el proyectista puede analizar experiencias pasadas, propias o ajenas, acudir a obras ejemplares o tipologías clásicas, consultar guías de diseño o dejarse llevar por modas pero, al final, el resultado no dejará de ser una interpretación personal, una extrapolación de soluciones específicas previas a un nuevo problema específico.

Y, mientras que la solidez de un diseño no es una cuestión debatible (lo es o no lo es), las componentes funcional y estética de un espacio concreto dependen en gran medida de las circunstancias de sus usuarios concretos.

De esta forma, si la responsabilidad del diseño recae únicamente en la capacidad y voluntad de un proyectista que, por gran empeño que ponga, es desconocedor de las necesidades y preferencias del usuario final, el resultado puede ser una solución que no satisfaga dichas necesidades completamente.

Sin embargo, existe una forma poco practicada de validar la componente subjetiva de nuestros diseños: obtener la información del propio usuario.

Este es el tema principal de este trabajo de investigación: cómo obtener las necesidades y preferencias de los usuarios de una manera científica y metódica para disponer de información objetiva que aporte valor al diseño final.

Para ello, tras conocer qué disciplinas han tratado de forma científica la relación entre el diseño del entorno y el usuario, el presente trabajo gira alrededor de dos cuestiones principales.

En primer lugar, de cómo presentar nuestros diseños al usuario, investigando acerca de las características y cualidades de cada medio de simulación.

En segundo lugar, de cómo recoger la respuesta del usuario ante el diseño presentado.

Existen muchas formas de entender la arquitectura, posiblemente todas ellas válidas en su contexto, pero no debemos olvidar que, en último término, las personas deben ser el centro, porque la arquitectura es para ellos.

En este sentido resulta revelador que Vitruvio, dos milenios después, sea recordado no solo por sus tres Principios de la Arquitectura sino también por su preocupación por registrar la medida del hombre.

Algo que hoy seguimos intentando.

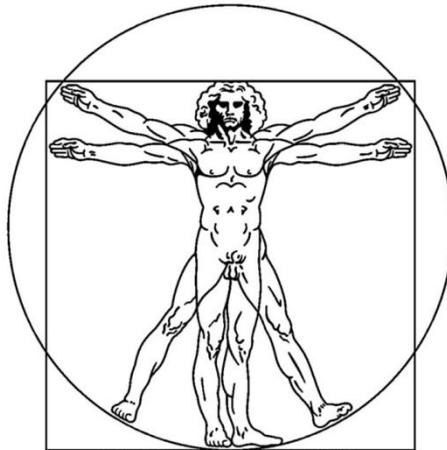


Figura 1. El hombre de Vitruvio. Esquema a partir de la interpretación de Leonardo da Vinci del estudio de proporciones humanas de Vitruvio

Motivaciones y justificación

En los últimos años, la evolución de la arquitectura como disciplina está haciendo frente a una serie de innovaciones, o anomalías en el sentido de Kuhn (2005), de tal entidad que podría decirse que nos encontramos ante un cambio de paradigma.

La burbuja y posterior crisis inmobiliaria a nivel global nos han sacudido económica y socialmente. No solo la euforia edificatoria se ha evaporado llevándose por delante el futuro, y el presente, de gran cantidad de profesionales, especialmente de las nuevas generaciones, sino que, al mismo tiempo, la concepción del edificio como un espectáculo de presupuesto hipertrofiado con más forma que fondo, obra del *starchitect* internacional de turno al servicio de grandes marcas, ha dado paso a un tiempo para el debate ético, la búsqueda de la sostenibilidad, la acupuntura urbana o las microarquitecturas. Si el proyecto de la pasada década era grande y sorprendente, el de ésta es pequeño y eficiente.

Y en este contexto, mientras que por un lado el grado de prestaciones exigidas a los edificios no deja de crecer, con el consiguiente incremento de dificultad técnica, por otro lado, la tecnología nos abre un abanico de posibilidades impensables hace apenas una década. En nuestro ámbito se está afianzando la metodología BIM, que promete un aumento del nivel de productividad y de coordinación en el proceso de diseño y está iniciando su andadura la Realidad Virtual que, se dice, va ser algo común en los próximos años.

Mientras, no dejan de producirse avances en neurociencia y medida del ser humano. 2014 fue el año europeo del cerebro, y se dice que éste será su siglo. Cumplidos cien años desde que concedieran el premio Nobel a Ramón y Cajal por su trabajo sobre la estructura del sistema nervioso, los avances en técnicas de observación neuronal están allanando el camino del conocimiento sobre este complejísimo órgano. Y al calor de los últimos descubrimientos surgen disciplinas aplicadas como el Neuromarketing, la Neuroeconomía, la Neuroestética o la Neuroeducación abordando viejos temas desde una nueva perspectiva.

Respecto a la medida del ser humano, una muestra; las pulseras de monitorización de actividad y *smartwatches* despuntaron hace un par de años, primero como podómetros, después incorporando acelerómetros, altímetros, pulsímetros, GPS o acceso a internet. Dicen los expertos que en una década serán tan comunes como los móviles hoy en día. Con el rápido progreso tecnológico existente no es descabellado augurar que los *wearables* vayan incorporando distintos sistemas de medición fisiológica que a día de hoy ya se encuentran en equipos portátiles: electrocardiograma, respuesta galvánica de la piel, electroencefalograma... Dispositivos capaces de registrar nuestras constantes vitales, de forma continua y no invasiva, posicionándolas geoespacialmente.

Por tanto, no es desacertado pensar que, a medio plazo, tecnologías y conocimientos del ámbito de la neurociencia y medición psicofisiológica comiencen a tener aplicación práctica en la vida doméstica, en lo que sería una especie de antropocentrismo digital. No es difícil imaginar que el *Google Maps* de un futuro próximo muestre mapas de estrés o de bienestar, tal como a día de hoy ya existen mapas de ruido de nuestras ciudades.

Es difícil que esta efervescencia, estos cambios que se han producido y se están produciendo, no altere la forma de entender y abordar la arquitectura.

Al respecto escribe el profesor Thomas Brandt en *Design Informed: Driving Innovation with Evidence-Based Design* (2010) que la arquitectura ha evolucionado de una concepción eminentemente formal, basada principalmente en la intuición y la experiencia, a garantizar la eficiencia de las edificaciones mediante información cuantitativa y modelos geométrico-matemáticos, pero aún falta un último salto hasta una arquitectura centrada en la eficiencia del ser humano, para lo cual habrá de interiorizar conocimientos de áreas como las ciencias sociales, la psicología o la neurociencia. En este sentido, apunta, la tecnología actual nos ayuda a diseñar pero en un futuro próximo nos va a ayudar *a saber cómo* diseñar.

Todas estas circunstancias, que he tratado de exponer de forma sucinta, han guiado mi interés investigador hacia la aplicación de las nuevas tecnologías en la arquitectura.

Por ello, tras obtener la suficiencia investigadora con un trabajo sobre aplicación de nuevas tecnologías en la visualización arquitectónica, solicité la continuación de mis estudios de doctorado en el Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas (LENI) del Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería (i3b) de la Universidad Politécnica de Valencia, Instituto puntero en la investigación de tecnologías inmersivas y medición psicofisiológica.

Allí, se estaba iniciando la línea de investigación de NeuroArquitectura, coordinada a nivel científico por las profesoras de la UPV Linares e Iñarra. Esta línea pretendía avanzar en el uso combinado de Ingeniería Kansei, Realidad Virtual y medición psicofisiológica. El trabajo realizado durante estos años de inicio de la línea de investigación han quedado enmarcados en un proyecto de I+D competitivo a nivel nacional, de título *“Nuevas métricas de NeuroArquitectura mediante el uso de entornos virtuales inmersivos”*.

Al iniciar la Línea de Neuroarquitectura descubrimos que queda mucho trabajo por realizar en nuestro ámbito de las investigación.

Por un lado, en cuanto a la investigación sobre simulación arquitectónica, muchos de los estudios existentes han quedado tecnológicamente obsoletos debido a su antigüedad. En los últimos años la tecnología gráfica ha evolucionado lo suficiente como para requerir investigación actualizada.

Por otro lado, en cuanto a la investigación de la relación *hombre/entorno*, ésta sí que ha sido tratada de forma por distintas disciplinas, como la Psicología Ambiental, pero centrándose más en comprender al individuo que en el proceso de diseño.

Esta tesis es el resultado de mi interés en comprender cómo las últimas tecnologías de visualización inmersiva y las herramientas del investigador del comportamiento humano pueden aportar valor en el proceso de diseño arquitectónico centrado en el usuario.

Objetivos e hipótesis

El **objetivo principal** de este trabajo es comprobar la validez de una metodología que, mediante la combinación de herramientas de psicología ambiental, Ingeniería Kansei, sistemas de visualización inmersiva y tecnologías de medición de la respuesta psicofisiológica, evalúe de forma global la respuesta emocional de los usuarios con el objeto de diseñar espacios emocionalmente eficientes.

Según esta metodología, en una primera fase se determinaría la estructura de conceptos que utiliza el usuario para describir y valorar un espacio mediante Ingeniería Kansei. Posteriormente se diseñarían y modelizarían diferentes espacios a valorar mediante sistemas de Realidad Virtual. Finalmente, mientras el usuario interactúa con el entorno virtual se recogería su respuesta autoevaluada y psicofisiológica (Figura 2).

Esta metodología supone una novedad en el ámbito científico al medir, de manera simultánea, la reacción subjetiva y objetiva del usuario, permitiendo identificar las variables de diseño que garantizan la concepción de espacios emocionalmente eficientes en función de su uso.

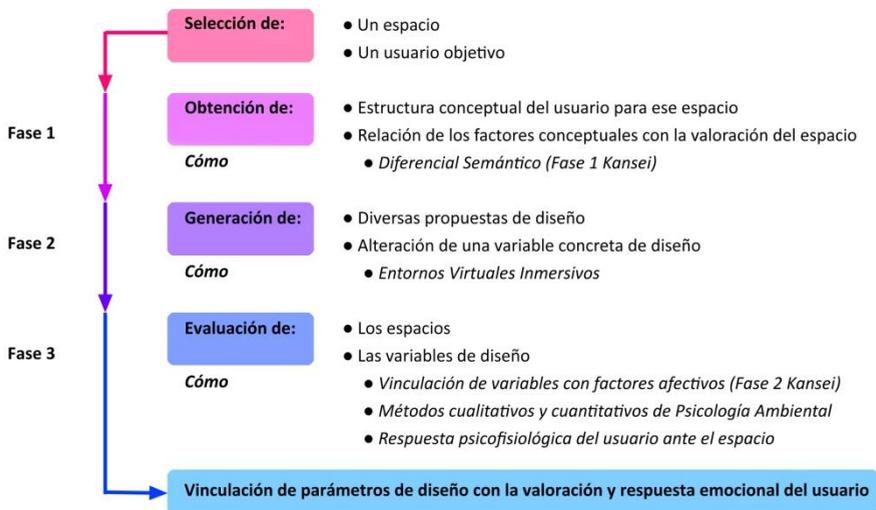


Figura 2. Esquema de la metodología de diseño propuesta

Este trabajo, complejo debido a la diversidad de disciplinas o conocimientos que se solapan, se descompuso en **objetivos específicos** que trataban los dar respuesta experimental a una serie de **hipótesis** de partida.

1. Hipótesis respecto a la relación *diseñador - usuario*:

H.1.1 Existen diferencias en cuestión de preferencias arquitectónicas entre los arquitectos diseñadores y los usuarios no arquitectos.

H.1.2 Las preferencias arquitectónicas son influidas por sesgos debidos a diferencias de formación.

2. Hipótesis respecto a los sistemas de visualización:

H.2.1 Existen diferencias en la evaluación de espacios dependiendo del sistema de visualización empleado

3. Hipótesis respecto a la respuesta del usuario ante estímulos arquitectónicos:

H.3.1 Mediante Ingeniería Kansei, se pueden obtener los factores afectivos subyacentes que influyen en la evaluación de un espacio arquitectónico en función de su uso, y relacionarlos con una variable de diseño y con el grado de preferencia por ese espacio.

H.3.2 Se puede determinar la respuesta afectivo/emocional del usuario ante un espacio arquitectónico y relacionarla con la preferencia

H.3.3 Se puede determinar la respuesta psicofisiológica del usuario ante un espacio arquitectónico y relacionarla con la preferencia

Objetivo específico 1:

Comprobar si existen diferencias entre arquitectos, y no arquitectos en sus preferencias en cuanto a estilos arquitectónicos, y si estas diferencias pueden ser debidas a sesgos.

Objetivo específico 2:

Analizar las diferencias en cuanto a la comprensión de un espacio arquitectónico por parte del evaluador en función del formato de presentación

Objetivo específico 3:

Identificar los factores afectivos que caracterizan un espacio y su influencia en la valoración del usuario.

Objetivo específico 4:

Evaluar la influencia de una variable de diseño en la valoración de un espacio en relación a los factores afectivos de dicho espacio

Objetivo específico 5:

Estudiar las relaciones entre preferencias, respuesta afectivo/emocional y fisiológica del usuario ante un espacio arquitectónico

Metodología

La metodología de trabajo propuesta para intentar dar respuesta a las diferentes hipótesis planteadas ha sido el desarrollo de una serie de estudios experimentales independientes pero articulados por un hilo conductor común.

Un primer estudio preliminar analiza las diferencias de percepción y valoración de fachadas de edificios urbanos entre no arquitectos, estudiantes de arquitectura y arquitectos. La experiencia se realiza mediante cuestionario online donde 419 participantes efectúan 4190 evaluaciones de una serie de 183 imágenes.

Un segundo grupo de estudios ocupa el apartado central y más importante de las investigaciones, abarcando en sí mismo. Se parte de un tema común, la evaluación de una sala de lactancia, un espacio que equilibra requisitos funcionales y emocionales, para desarrollar cuatro fases (estudios segundo al quinto) que responden al resto de cuestiones planteadas.

El segundo estudio analiza las diferencias de comprensión y memoria espacial de un diseño de sala de lactancia por parte de 165 participantes no arquitectos según se haya visualizado en plano, imagen panorámica o entorno virtual interactivo en PC o mediante Realidad Virtual inmersiva estereoscópica.

El tercer estudio identifica los factores afectivos que caracterizan una sala de lactancia como tipología y pondera su influencia en la valoración global a partir de las evaluaciones de 20 diseños por parte de 77 participantes. Esto corresponde con la primera fase de la metodología Kansei.

El cuarto estudio presenta a 106 participantes un mismo diseño de sala de lactancia en nueve gamas cromáticas diferentes para analizar la influencia de una variable concreta de diseño (el color) en los factores afectivos obtenidos en la fase anterior y en la valoración global. Esto corresponde con la segunda fase de la metodología Kansei.

El quinto estudio presenta el mismo diseño de sala de lactancia en tres gamas cromáticas diferentes a 20 participantes y evalúa su respuesta afectiva y emocional

mediante cuestionario mientras se registra su actividad psicofisiológica con objeto de estudiar relaciones entre variables de diseño y las respuestas conscientes y subconscientes de los usuarios.

Por último, en un sexto estudio dos grupos de imágenes de espacios habitables son evaluados por 10 participantes mientras se registra su respuesta psicofisiológica con objeto de estudiar la influencia de la presencia de naturaleza en la arquitectura (luz, vegetación, materiales...) en la respuesta de las personas.

Se presenta un cuadro resumen de los estudios desarrollados en la Tabla 1.

	Objetivo	Estímulo	sistema de visualización	Muestra	Medida	
Cuerpo central de estudios	1	Diferencias de valoración entre arquitectos y no arquitectos	180 imágenes de fachadas	imagen PC	419 participantes	cuestionario
	2	Diferencias en comprensión espacial en función del sistema de presentación	Sala de lactancia	plano PC imagen 360º PC entorno virtual PC entorno virtual HMD	165 participantes	cuestionario
	3	identificar factores afectivos de un espacio	20 imágenes de salas de lactancia	imagen PC	77 participantes	cuestionario
	4	Evaluación afectiva de un espacio en función de su color	Sala de lactancia en 9 colores diferentes	imagen 360º HMD	106 participantes	cuestionario
	5	Respuesta psicofisiológica a un espacio en función de su color	Sala de lactancia en 3 colores diferentes	imagen 360º HMD	20 participantes 60 visualizaciones	cuestionario Fisiológicas (EDA + HRV)
	6	Respuesta psicofisiológica a un espacio en función de la presencia de naturaleza	30 interiores naturales 30 interiores artificiales	video PC	10 participantes	cuestionario Fisiológicas (EDA)

Tabla 1. Cuadro resumen de los estudios desarrollados

Estructura de la tesis

Esta tesis se estructura en una sección primera teórica que expone las bases del trabajo y una segunda sección que desarrolla los estudios experimentales.

La primera sección, "*Antecedentes teóricos y experimentales*", comprende tres capítulos:

El capítulo 1 "*Antecedentes teóricos*", trata las disciplinas que han estudiado la relación entre el entorno arquitectónico y la respuesta del ser humano. Esto incluye, desde distintos enfoques, la Psicología Ambiental, el Evidence-Based Design y, más recientemente, la Neuroarquitectura.

El capítulo 2 "*Sistemas de simulación ambiental*", trata las distintas maneras de simular entornos que se han utilizado en las disciplinas descritas en el capítulo 1, centrándose especialmente en las nuevas tecnologías de simulación inmersiva y revisando los estudios comparativos existentes.

El capítulo 3 "*Medición de la respuesta del usuario*", trata las distintas formas de obtener información del usuario, diferenciando entre respuesta subjetiva o autoevaluada y respuesta objetiva a partir de registros psicofisiológicos. Se trata en este capítulo, además, la metodología Kansei, como un sistema de obtención de información del usuario de gran interés en el ámbito del diseño y la ergonomía.

La segunda sección, "*Estudios*", comprende los seis estudios experimentales, cada uno de ellos con su propia introducción, materiales y métodos, resultados y discusión:

El Estudio 1, "*Diferencias en preferencias de diseño entre arquitectos y no arquitectos*", preliminar, tiene como objetivos comprobar si existen diferencias entre arquitectos, estudiantes de arquitectura y no arquitectos en sus preferencias en cuanto a estilos arquitectónicos y materiales de acabado de fachada y si existen sesgos que influyen en estas preferencias arquitectónicas.

Sobre un mismo tema, una sala de lactancia, se desarrollan cuatro estudios (Estudios 2, 3, 4 y 5) que completan las distintas fases de la metodología propuesta y representan el cuerpo central del trabajo de investigación desarrollado.

El Estudio 2, ***“Diferencias en la comprensión de un espacio en función del formato de presentación”*** tiene como objetivo analizar las diferencias en cuanto a la comprensión de un espacio arquitectónico por parte del evaluador en función del formato de presentación.

El Estudio 3, ***“Identificación de los factores afectivos de un espacio”***, tiene como objetivos identificar los factores afectivos que caracterizan un espacio y su influencia en la valoración del usuario (primera fase Kansei) y obtener una clasificación previa de diferentes soluciones de diseño en función de dichos factores.

El Estudio 4, ***“Evaluación de un espacio en función de su color”***, tiene como objetivo evaluar la influencia de la variable de diseño “color” en la valoración de un espacio en relación a los factores afectivos de dicho espacio.

El Estudio 5, ***“Respuesta emocional y psicofisiológica ante un espacio en función de su color”*** desarrolla el análisis conjunto de la respuesta subjetiva y objetiva y tiene como objetivo estudiar las relaciones entre preferencias, respuesta psicométrica y fisiológica del usuario ante variaciones de color en un entorno.

Por último, el Estudio 6, ***“Respuesta emocional y psicofisiológica ante un espacio en función de la presencia de naturaleza”***, desarrolla el análisis conjunto de la respuesta subjetiva y objetiva ante una variable de diseño distinta, en este caso la presencia de naturaleza. Este sexto estudio sirvió de ensayo previo, con una metodología más simple y una muestra menor, para abordar el Estudio 5.

Cierra este trabajo un último apartado de ***“Discusión y conclusiones”*** generales, la bibliografía y los anexos.

Contenido publicado

Cabe destacar una serie de publicaciones en relación con las investigaciones expuestas en la presente tesis que han sido aceptadas en revistas y congresos con revisión por pares:

“Ingeniería Kansei, realidad virtual y medición psicofisiológica para el diseño de espacios emocionalmente eficientes” (Llinares, et al., 2014), aceptada comunicación en el XXVIII Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2014 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-697-1213-9, expone los principios, las ventajas y una metodología de investigación integradora de estos tres conceptos tal como se desarrolla en los capítulos teóricos y se aplica en los estudios experimentales.

“Diseño de espacios sanitarios mediante la aplicación de Realidad Virtual y medición psicofisiológica” (López-Tarruella, Llinares, Montañana, et al., 2015), aceptado poster en el XXIX Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2015 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-608-2650-7, define la metodología concreta de investigación que se desarrolla para evaluar la diferencia de comprensión de un espacio por parte del usuario según su formato de presentación (estudio 2), obtener una correlación entre el parámetro de diseño “color”, respuesta emocional y valoración global del usuario (estudio 4) y correlacionar dicha valoración consciente del usuario con su respuesta psicofisiológica (estudio 5).

“Realidad Virtual, Game Engines y BIM” (López-Tarruella, Llinares, Iñarra y Higuera, 2015), aceptada comunicación en el Congreso Internacional BIM – EUBIM 2015 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-9048-339-8, y ***“Integración de BIM y Realidad Virtual: Aplicación en el sector de la construcción”*** (López-Tarruella, Higuera y Llinares, 2016a), aceptada comunicación en el XXX Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2016 y pendiente de publicación de actas, describen los principios, tecnología y aplicaciones de la Realidad Virtual en el ámbito de la arquitectura y construcción, tal como se desarrolla en el capítulo 2.

“User’s differences in spatial understanding by architectural plans and first-person interactive visualizations” (López-Tarruella, Llinares, Iñarra, Higuera, et al., 2015), aceptada comunicación en el III International Congress On Construction And Building Research COINVEDI 2015 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-933567-6-7, describe resultados parciales del estudio 2.

“Una comparación de soportes de visualización arquitectónica: su influencia en la orientación y la ayuda al proceso de diseño” (Higuera, López-Tarruella, et al., 2016), aceptada comunicación en el XXX Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2016 y pendiente de publicación de actas, expone los resultados de un estudio en el cual se comparaban los formatos fotografía, fotografía 360º y realidad virtual en cuanto a comprensión espacial, con relación a lo tratado en el capítulo 2 y el estudio 2.

“El espacio digital: Comparativa de las últimas técnicas de visualización arquitectónica”(Higuera, López-Tarruella, Iñarra y Llinares, in press.), aceptado artículo en la revista EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica, y pendiente de publicación, expone los resultados de un estudio en el cual se comparaban los formatos fotografía, fotografía 360º y realidad virtual, tanto en pantalla como en HMD, en cuanto a comprensión espacial, con relación a lo tratado en el capítulo 2 y el estudio 2.

“Entornos virtuales online y diseño centrado en el usuario: un estudio de caso” (López-Tarruella, Llinares, et al., 2016), publicado en la revista DYNA con DOI:10.6036/7905, ***“Realidad Virtual como herramienta para la valoración emocional de entornos arquitectónicos”*** (López-Tarruella, Higuera, et al., 2016), aceptada comunicación en el Congreso Expresión Gráfica Arquitectónica EGA 2016 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-88754-39-4, y ***“Emotional design: prediction of environmental colour’s effect in assessments of lactation rooms”*** (López-Tarruella, Llinares, Higuera y Iñarra, 2017), aceptada comunicación en el XXXI Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2017 y pendiente de publicación de actas, exponen resultados parciales del estudio 4.

“Neuroarquitectura: respuesta psicofisiológica del usuario ante diseños interiores sostenibles” (López-Tarruella, Higuera y Llinares, 2016b), aceptada comunicación en el V Foro Internacional de Investigación del Interiorismo y pendiente de publicación de actas, y ***“Neuroarchitecture: prediction of emotional well-being provoked by spaces by indirect measurement of brain activity”*** (López-Tarruella, Llinares, Higuera y Marín, 2017) aceptada comunicación en el XXXI Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2017 y pendiente de publicación de actas, exponen resultados parciales del estudio 6.

“Emotional maps: neuro architecture and design applications” (Higuera, Marín, Rojas y López-Tarruella, 2016), aceptada comunicación en el 6th International Forum of Design as a Process. Systems & Design Beyond Processes and Thinking 2016 y publicada en el libro de actas con ISBN 978-84-9048-440-1, y ***“Emotional cartography. A novel Technique to represent emotional states altered by spaces”*** (Higuera, Marín, Rojas, López-Tarruella, et al., 2016), aceptada comunicación en el 10th International Conference on Design and Emotion 2016 y pendiente de publicación, describen resultados de un estudio en el cual, mediante el uso de realidad virtual y medición psicofisiológica, se logra plasmar gráficamente el estado emocional de los usuarios a lo largo de un recorrido espacial.

“Psychological and physiological human's responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360º Panoramas and Virtual Reality” (Higuera, Llinares y López-Tarruella, in press), aceptado artículo en la revista Applied Ergonomics y pendiente de publicación, describe resultados de un estudio en el cual se ha comparado la respuesta psicométrica y psicofisiológica de usuarios ante un entorno real frente a la simulación mediante fotografía, fotografía panorámica inmersiva 360º y Realidad Virtual.

Por último, ***“EEG-Index of stress generated by the environment: towards the neuroscience-based architectural design”*** (Higuera, Marín, et al., 2017), ***“Validation of lighting design through the emotional and cognitive effect of the architectural space”*** (Castilla, et al., 2017), y ***“Development of new metrics to evaluate the impact of architecture on an emotional level in virtual environments”***

(Marín, et al., 2017), aceptadas comunicaciones en el XXXI Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2017 y pendientes de publicación de actas, exponen diversas propuestas de aplicación de sistemas de medición psicofisiológica para la obtención de la respuesta emocional del usuario ante entornos construidos.

Un caso de diseño centrado en el usuario

Creo interesante acabar esta introducción relatando un caso ocurrido durante el inicio de las investigaciones y que ejemplifica la imposibilidad de lograr un diseño que satisfaga las necesidades del usuario si no se le hace partícipe en las fases de diseño.

El trabajo que se relata no llegó a completarse, por motivos ajenos, así que no se ha incluido el trabajo como estudio experimental dentro de esta tesis. Pero si que puede servir como anécdota.

Durante el ejercicio de mi actividad profesional, y colaborando ya con el Instituto de Investigación, surge la oportunidad de proyectar la reforma interior del Área de Neonatología del Servicio de Pediatría del Hospital General Universitario de Valencia, utilizando una metodología de diseño centrado en el usuario..

En un primer momento, se nos traslada, por parte de la Dirección, el programa funcional requerido así como una propuesta de diseño realizada, tal vez, por algún ingeniero del Hospital (al menos alguien lo había delineado en AutoCAD).

Cabe decir que el diseño no era bueno. Como suele ocurrir cuando proyecta espacios quien no está habituado a hacerlo, cumplía en mayor o menor medida el programa de necesidades metiéndolo con calzador y generando bastantes puntos de conflicto con lo preexistente (tabiques que partían ventanas, pilares que quedaban en medio de las habitaciones...).

A nivel particular e independiente de las fases de investigación, elaboré un primer diseño que cumplía con el programa funcional mejor que aquel que nos habían propuesto, además de integrar de forma coherente las preexistencias. Quedé satisfecho personalmente, lo mostré a otro compañero de profesión a quien también pareció una solución muy correcta y, por el momento, lo guardé.

Como primera fase decidimos hacer una sesión de *focus group* (una reunión guiada) con los usuarios finales con objeto de conocer sus requerimientos reales. Los usuarios finales de un Hospital son el personal y los pacientes y familiares. En este

caso, en la primera sesión, nos limitamos a reunirnos por separado con médicos y con enfermeras.

La sesión fue muy fructífera en el sentido de que conocimos la mecánica de trabajo diario del Área de Neonatología, un espacio funcionalmente complejo. Desde luego, la información facilitada por los profesionales durante la reunión aportaba gran cantidad de matices al programa de necesidades propuesto. De hecho, en algunos puntos, las necesidades reales del personal entraban en conflicto con el programa de necesidades que nos había proporcionado Dirección.

En este momento, fui consciente por primera vez de lo poco que sabía sobre el funcionamiento de este tipo de espacios y de la insensatez que suponía plantear una propuesta de diseño sin conocer de primera mano los requerimientos del usuario final. Ni que decir tiene, que aquella primera propuesta mía se fue directamente a la basura.

En este momento, desarrollamos una primera propuesta oficial, teniendo en cuenta tanto el programa funcional inicial como las indicaciones aportadas por el equipo de médicos y enfermeras. Ésta mejoraba ostensiblemente mi propuesta previa de una manera que antes del focus group no habría sido capaz siquiera de valorar. A todo el equipo le pareció una propuesta muy buena y sin fisuras.

Se organizó una segunda sesión de *focus group* para evaluar la propuesta de diseño. Esta vez fueron tres reuniones independientes con médicos, enfermeras y padres de pacientes. Para nuestro asombro, tanto médicos como enfermeras apuntaron veinte modificaciones sobre el diseño mostrado.

Resulta que, al ver de forma gráfica la propuesta, surgieron muchos temas que en su momento ellos no consideraron.

Cuando parecía que ya teníamos toda la información necesaria para garantizar la funcionalidad del Área gracias a las indicaciones de los profesionales, el *focus group* con los usuarios nos volvió a dar una bofetada de realidad.

Entre los muchos puntos tratados, descubrimos que hay padres que prácticamente hacen vida en el Área durante la hospitalización de sus hijos y que no dan especial

importancia a disponer de una pequeña cama (que nosotros considerábamos muy necesaria) mientras tengan un sillón reclinable relativamente cómodo.

Pero si que agradecerían extraordinariamente un pequeño vestuario con taquillas y ducha para aquellos que acuden directamente enchaquetados desde su trabajo.

Y un espacio donde almacenar y calentar la comida traída de casa.

Y un rinconcito apartado para que el hermano, que no tiene con quien quedarse, pueda jugar o hacer los deberes sin molestar.

Y otro rinconcito apartado donde llorar en privado cuando no pueden más.

La segunda propuesta de diseño que hicimos cumplía el programa de necesidades solicitado por la Dirección igualmente bien que las propuestas previas. Se adaptaba igualmente bien a las preexistencias, generando ese orden que tanto nos agrada a los arquitectos. Pero, además, tenía un bagaje extra. Tenía en cuenta las necesidades reales del día a día de los usuarios finales de ese espacio.

Además, una vez siendo conscientes de aquellas necesidades, satisfacerlas resultó muy sencillo, cuestión de detalle; divisorias de vidrio entre salas para poder comunicarse, una pequeña ducha en los aseos, más perchas...

Como se ha dicho, tanto el proyecto como la investigación quedaron paradas en este punto. Sin embargo, sirvió para ser conscientes de nuestra ignorancia y comprender la importancia de la participación del usuario en las fases de diseño.

SECCIÓN A | ASPECTOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

CAPÍTULO 1 | ANTECEDENTES TEÓRICOS

“Si se ignora al hombre, la arquitectura es innecesaria”

Alvaro Siza

Diseño centrado en el usuario

En las últimas décadas ha ido cobrando atención en el ámbito del diseño arquitectónico lo que se conoce como *diseño centrado en el usuario* (UCD, del inglés *User-Centred Design*) (Gifford, 2002) o *diseño social* (Sommer, 1983). Éste tiene como objetivo principal satisfacer las necesidades de los usuarios reales o potenciales, de tal manera que fomenta diseños que tengan en cuenta su punto de vista (Fornara y Andrade, 2012).

La idea de hacer presente al usuario durante el proceso de diseño surge cuando comienzan a aparecer estudios que evidencian diferencias entre los “expertos” que diseñan y los “profanos” que hacen uso de los diseños. A tal grado llegan esas diferencias que los profesionales, en algunos casos, no son capaces de interpretar (y por tanto satisfacer) las necesidades de los usuarios (Brown y Gifford, 2001), y no sólo a nivel estético sino también funcional (Muntañola, 1986).

Esto, por ejemplo, se ha evidenciado cuando el proyecto ganador de un concurso designado por un jurado profesional queda tercero (de cinco) en una evaluación del público usuario (Nasar y Kang, 1989).

Así, el desarrollo de métodos de diseño centrados en el usuario responden a la necesidad de satisfacer a éste en todas sus dimensiones (Mondragón y Vergara, 2008).

La teoría de la jerarquía de las necesidades humanas de Maslow, o pirámide de Maslow (Maslow, 1943), explica que las necesidades de las personas se clasifican en distintos niveles jerárquicos: Primero las fisiológicas, después las de seguridad y protección, las de afiliación y afecto, las de estima y, por último, las de autorrealización (Figura 4).

Maslow explica que hasta que no se han cubierto las de rango inferior no surge la necesidad de satisfacer las de rango superior. Es decir, hasta que no mitigemos el hambre no nos preocuparemos por temas morales.

El modelo de Calidad de Jordan (Jordan, 2003) ha trasladado este concepto a los requisitos que deben satisfacer los productos (Figura 5), clasificándolos en tres escalones:

- En un primer nivel se ha de alcanzar la *funcionalidad*. Es decir, el producto ha de cumplir con una finalidad o función.
- En un segundo nivel se ha de alcanzar la *usabilidad*. El producto ha de ser fácil, cómodo y seguro de usar.
- Y en un tercer nivel se ha de alcanzar el *placer o satisfacción*. Cuando el producto tiene una función y es fácil cómodo y seguro de usar la siguiente necesidad del usuario es que proporcione una experiencia placentera.

Esta jerarquía no puede ser invertida. Un producto que no funciona no podrá ser fácil o cómodo de usar y un producto difícil e incómodo de usar no podrá ser placentero.



Figura 4. Pirámide de necesidades de Maslow, a partir de (Maslow, 1943).

Por otro lado, el modelo de satisfacción de Kano (Kano, et al., 1984) clasifica las características de un producto en tres categorías (Figura 6):

- En un primer nivel las *características básicas*. Aquellas que se esperan que cumpla el producto, que si no están causan insatisfacción en el usuario, pero si están no causan incremento de la satisfacción.
- En un segundo lugar, las *características lineales*. Aquellas cuyo aumento o disminución se relaciona linealmente con la satisfacción del usuario.
- Por último, las *características de sobreexigencia*. Aquellas que el usuario no espera, cuya ausencia no causa insatisfacción pero cuya presencia la dispara.



Figura 5. Modelo de Calidad de Jordan, a partir de (Jordan, 2003)

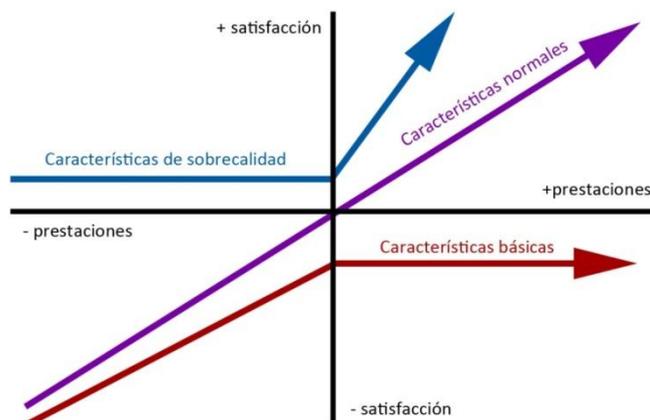


Figura 6. Modelo de Kano, a partir de (Kano et al, 1984)

En un momento en que la funcionalidad y la usabilidad (Jordan), y el nivel de prestaciones de los productos (Kano) empiezan a estar garantizadas, el elemento diferenciador que puede decidir la preferencia entre soluciones equivalentes es este último nivel, ese factor inesperado, placentero, agradable, que es el germen del *Diseño Emocional*.

De esta forma, el diseño actual se está orientando a satisfacer las necesidades emocionales de los usuarios (Krippendorff, 2006), como se puede comprobar observando las estrategias de márketing de las marcas líderes en automovilismo o electrónica de consumo.

Se puede hacer una traslación de los modelos de calidad y diseño de producto centrado en el usuario al ámbito de la arquitectura.

Así, la *Funcionalidad* de Jordan y las *características básicas* de Kano se pueden vincular a los aspectos mínimos exigibles a un espacio; solidez constructiva y estructural, capacidad de cumplir el uso para el que se diseñó, funcionamiento correcto de las instalaciones, ausencia de patologías...

La *usabilidad* de Jordan y las *características lineales* de Kano corresponderían con las prestaciones generales del edificio cuyo incremento aumenta la satisfacción del usuario en su día a día; podría tratarse de la correcta distribución de los espacios, la calidad higrotérmica, acústica y visual, el fácil y cómodo mantenimiento...

Por último, la *satisfacción* de Jordan y las *características de sobrequalidad* de Kano son más difíciles de acotar. Son aquellas características puntuales que hacen que un usuario disfrute de un espacio; puede ser un pequeño patio ajardinado, un diseño interior especialmente atractivo, unas dimensiones generosas...

Los métodos de diseño arquitectónico basados en la respuesta del usuario permiten conocer todos los requerimientos de los usuarios así como su jerarquía subyacente, facilitando la adopción de criterios de diseño basados en la evidencia.

Disciplinas que han tratado la relación entre la persona y el entorno

El estudio sistemático y científico de la relación entre el usuario y la arquitectura se ha tratado principalmente desde dos disciplinas.

Por un lado, la Psicología Ambiental ha sido la primera en intentar comprender cómo el espacio afecta a las personas y cómo las personas afectan al espacio desde el prisma de las ciencias sociales y con el foco puesto en los mecanismos mentales de cognición y emoción humana que rigen dichas relaciones.

Por otro lado, el *Evidence-Based Design* (EBD) ha tratado de desarrollar guías prácticas de diseño arquitectónico con el objeto de mejorar el bienestar de los usuarios, principalmente en edificios sanitarios. Con este objetivo ha abarcado una gran variedad de temas, desde las preferencias estéticas y la sensación de bienestar emocional, hasta el confort higrotérmico, la ergonomía, la reducción del riesgo de accidentes y contagios, la percepción de calidad en el servicio o la satisfacción del cliente y el personal.

Además, desde finales del siglo pasado, los avances tecnológicos en imagen cerebral y medición psicofisiológica han posibilitado los primeros pasos en neurociencia aplicada a la arquitectura (*neuroarquitectura*), permitiendo recoger la respuesta del usuario ante el espacio directamente de su cerebro.

En los siguientes apartados se describen con más detalle estas tres disciplinas, aunque ha de quedar constancia que no son compartimentos aislados y en muchas ocasiones los límites entre ellas son difusos o inexistentes.

Así, por ejemplo, existen estudios de Psicología Ambiental que han tratado como tema la arquitectura y otros que no lo han hecho, otros que podrían considerarse que están enmarcados en el EBD y otros que han aplicado recursos de la neurociencia.

Navegamos en aguas multidisciplinarias.

Psicología Ambiental

Aunque diversos autores han propuesto diferentes definiciones que se acomoden a su marco teórico, en el contexto de una investigación del ámbito arquitectónico podría definirse simplifícadamente *Psicología Ambiental* como la rama de la psicología que se ocupa de analizar las relaciones que se establecen entre las personas y sus entornos (Giuliani y Scopelliti, 2009).

Ésta sería una faceta más de lo que en el mundo anglosajón se conoce como *environment & behavior* y aglutina distintas áreas de conocimiento como la sociología, la antropología urbana, la ecología o la arquitectura.

Breve reseña histórica

En cuanto a los orígenes de la Psicología Ambiental suelen figurar los trabajos del psicólogo social Kurt Lewin (1890-1947) o de Egon Brunswik (1903-1955) ya que, aun no siendo considerados propiamente psicólogos ambientales, aportaron ideas que fueron el germen de su desarrollo posterior. Por ejemplo, la *teoría del campo* de Lewin afirma que no se puede conocer el comportamiento humano fuera de su entorno y la *teoría del funcionalismo probabilista* de Brunswik propone que el entorno percibido no deja de ser una interpretación personal y probabilística de un mundo real que es inaprensible en su totalidad. Igualmente, la *Psicología de la Gestalt*, surgida a comienzos del Siglo XX, tuvo gran influencia en movimientos arquitectónicos alemanes de la época como la Escuela de la Bauhaus.

La posibilidad de aplicar estos nuevos conocimientos de las ciencias sociales a la reconstrucción urbanística de las principales ciudades europeas tras la Segunda Guerra Mundial supuso el impulso necesario para el surgimiento de esta disciplina.

Así, suele considerarse su nacimiento en las décadas de los 50 y 60 (o segundo nacimiento tras un desarrollo truncado por las Guerras) con una primera denominación de *Psicología de la Arquitectura* y centrada, precisamente, en la arquitectura (Pol, 2007). De esta época son las famosas *Case Study Houses* americanas.

En estas décadas se empiezan a realizar los primeros estudios sistemáticos sobre la influencia de variables de diseño en el comportamiento de sus usuarios (Sommer y Ross, 1958; Osmond, 1957), el psicólogo Calvin Taylor junto con el arquitecto Robert Bailey desarrollan el primer programa de formación en *Psicología de la Arquitectura*, la “*Environmental Design Research Association*” funda la primera revista del ramo con el nombre de *Environment and Behavior* y el Royal Institute of British Architects, junto a la Universidad de Strathclyde, organiza el primer congreso europeo de Psicología de la Arquitectura.

En los años 70 se escribe el primer libro específico sobre el tema, *Environmental Psychology: Man and His Physical Setting* (Proshansky, Ittelson y Rivlin, 1970), distintas Universidades crean departamentos de Psicología ambiental (en EEUU, Arizona, Utah, o California, en Europa Surrey), se desarrollan aportaciones en el ámbito de la cognición ambiental y cobra importancia el papel de las simulaciones en el ámbito de la investigación (Appleyard y Craik, 1978).

En los 80, tras una crisis epistemológica, se producirán cambios. Se sustituye el predominio de la *Psicología de la Arquitectura* y de la investigación de la influencia del entorno en el individuo por una vertiente más social y ecológica, encauzándose la disciplina en una dirección que se mantiene en la actualidad. Surgirá también en esta época la otra gran revista del sector, *Journal of Environmental Psychology*.

En el ámbito nacional, en los años 70, Tomás Llorens publicará “*Hacia una psicología de la arquitectura: Teoría y métodos*” (Llorens, et al., 1973), primer compendio de textos sobre la disciplina en nuestro idioma. En los 80, Muntañola, Pols y Morales organizarán el primer Congreso español de la *International Association for People-Environment Studies* y se escribirá el primer libro patrio sobre el tema (Aragonés y Corraliza, 1988). En el año 2000, desde la Universidad de La Laguna se iniciará la primera revista científica de Psicología Ambiental en español, *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, ahora renombrada como *Psyecology*.

Características y temas tratados

La Psicología Ambiental tiene algunas características que la hacen particular dentro del ámbito de la Psicología (Steg, van den Berg y De Groot, 2012):

- En primer lugar, la existencia de una relación bidireccional entre los dos factores de estudio, la persona y el entorno, de tal forma que se puede plantear el estudio tanto de la influencia del entorno en la persona como al contrario.
- En segundo lugar, y pese a reconocer el valor de la teoría, un objetivo eminentemente práctico.
- En tercer lugar, y debido a lo anterior, resulta un área de estudio multidisciplinar, de tal manera que su ámbito de actuación se solapa cuando es necesario con estudios tan diversos como la antropología, la sociología, la geografía, la ingeniería ambiental o el planeamiento urbano.
- En cuarto lugar, y por el mismo motivo, destaca su eclecticismo teórico, así como el uso de una gran variedad de metodologías de investigación, tanto cuantitativas como cualitativas, que abarcan desde los estudios de campo más ecológicos hasta la investigación en laboratorio.

Por otro lado, los principales temas de análisis de esta disciplina son (Giuliani y Scopelliti, 2009):

- Aspectos relacionados con la percepción y cognición espacial.
- Aspectos relacionados con los efectos psicológicos, como el estrés, provocados por factores ambientales, como el ruido o la iluminación.
- Estudio de espacios específicos, como entornos residenciales, sanitarios, laborales o escolares.
- Relaciones entre el espacio físico y la conducta, abarcando conceptos como la territorialidad, la privacidad o el hacinamiento.
- Efectos de las personas en el ambiente.
- Estudios relativos a la conducta ecológica de las personas.

Aplicación en el ámbito de la Arquitectura

En cuanto a su relación con la Arquitectura, como se ha visto, la Psicología Ambiental puso en su momento especial énfasis en el espacio antrópico y, de hecho, fue conocida como Psicología de la Arquitectura (Pol, 1993). Después se ha dicho que esta relación no ha acabado de cuajar (Philip, 1996). Como motivo se ha señalado que la arquitectura es una profesión eminentemente práctica con una obsesión por encontrar instrumentos “prácticos y operativos” y, en este sentido, mientras que las ciencias exactas han ofrecido ese grado de operatividad que se buscaba, las ciencias sociales no han podido satisfacer completamente las expectativas (Muntañola, 1986).

Aun así, el papel de la Psicología Ambiental puede ser útil para el desarrollo práctico de la Arquitectura. Las bases teóricas y las múltiples estrategias y metodologías de investigación de la primera pueden ser capaces de ofrecer un importante feedback, hasta ahora bien escaso, durante el desempeño de la segunda. Como consecuencia, se puede obtener un modelo predictivo sustentado en principios contrastados y, por tanto, más robusto que la mera interpretación personal del diseñador (Canter y Wools, 1970).

Sin embargo, hace falta un trabajo mutuo de adaptación. La mayoría de los trabajos experimentales en el ámbito de la psicología son completamente ininteligibles para la mayoría de los practicantes de la arquitectura (Philip, 1996) y gran parte de estos trabajos se han enfocado desde un punto de partida, y se han desarrollado de una manera tal, que permiten obtener información de interés para el psicólogo pero no para el arquitecto.

Una solución para obtener información de utilidad en el proceso de diseño pasa por formar al diseñador en metodologías de investigación del comportamiento, de tal forma que disponga de herramientas para plantear sus propios objetivos así como capacidad de interpretar los procedimientos empleados por los psicólogos, sus resultados, su alcance y sus limitaciones.

Evidence-Based Design

Evidence-Based Design (EBD) es un campo de investigación multidisciplinar surgido hace pocas décadas que trata de analizar de forma metódica y sistemática cómo los espacios construidos afectan a las personas, con objeto de crear diseños orientados a las necesidades del usuario (Brandt, Chong y Martin, 2010).

Su objetivo inicial ha sido la humanización de la arquitectura hospitalaria, por tres motivos (Rosalyn, 2009):

- La organización de un hospital como sistema es especialmente compleja al integrar muy diversos factores (pacientes infantiles y adultos, familiares, sanitarios, personal de apoyo y administración, limpieza, mantenimiento, suministros, cuidados intensivos, hospitalización de larga estancia, consultas externas, catering, formación...) a veces incompatibles entre sí, lo cual se traduce en esquemas funcionales a nivel arquitectónico muy complejos.
- Lo anterior se traduce en que tanto el procedimiento como el entorno sanitario tiende a percibirse institucionalizado y amenazador.
- Lo cual se suma a la casuística particular de su usuario habitual, el paciente, quien acude por circunstancias involuntarias, en un estado de sufrimiento, incertidumbre e impotencia.

Al respecto, Cedrés de Bello explica que humanizar los espacios sanitarios es llegar un paso más allá de los criterios funcionales o técnicos, es garantizar la dignidad y la expresión de los valores humanos de los usuarios, el factor psicosocial. Y considerando como usuario no sólo al paciente, sino a los familiares y trabajadores (Cedrés de Bello, 2000).

Sin embargo, con el tiempo el EBD se ha ido incorporando a otras tipologías arquitectónicas como la escolar (Lippman, 2010) o la comercial (Hamilton y Watkins, 2009).

Breve reseña histórica

El EBD es más un objetivo que una disciplina en sí. Toma prestada terminología y metodologías de la Psicología Ambiental (principalmente), pero también de la Arquitectura, la Medicina, la Economía, la Sociología, la Neurociencia, las distintas Ingenierías y, en principio, de cualquier ámbito del que pueda obtener resultados provechosos (Brandt, Chong y Martin, 2010).

Esto es así, porque son igualmente objetivos del EBD descubrir si la presencia de naturaleza mejora el estado del paciente, si cierta modificación de la disposición en planta permite reducir recorridos y tiempo en desplazamientos, si en habitaciones individuales se producen menos contagios, qué material de suelo es preferible o qué condiciones higrotérmicas son idóneas para cada sala de un hospital.

Es por ello que para trazar sus antecedentes históricos, por un lado habría que remontarse a los de las distintas disciplinas mencionadas y, por otro, a la historia de la arquitectura hospitalaria, que es la historia del perfeccionamiento del lugar donde desarrollar la ciencia médica.

Así, por un lado, es la historia de la enfermería de la Abadía del siglo VI, que evoluciona al hospital monacal cobijo de miserables del siglo X. Del hospital como edificio autónomo de las Cruzadas. Del hospital claustral en la ciudad del Quattrocento con ventilación, letrinas separadas y desagües al río (Ospedale Maggiore de Milán). De la propuesta de Tenon de 1788 para la remodelación del Hôtel-Dieu de Paris basado en su informe científico. Del hospital militar higienista de mitad del siglo XIX, en pabellones aislados y con instalaciones modernas. Del hospital vertical americano de comienzos del Siglo XX que separa especialidades por plantas. De la ciudad sanitaria de 1930, equipamiento integral incorporándolos avances de la ciencia médica del momento y alojado en un conjunto que abarca la investigación y enseñanza. O del moderno hospital con zócalo para servicios generales y diagnóstico clínico y torre de hospitalización (Isasi, 2013).

Por otro lado, “*View from a Window May Influence Recovery from Surgery*”, de Roger Ulrich, es citado habitualmente como uno de los primeros artículos en el ámbito del EBD sanitario que presenta directrices de diseño para la mejora del usuario (Ulrich, 1984). Expone un estudio en el que 46 pacientes operados de colestectomía, entre 1972 y 1981, son hospitalizados en habitaciones con y sin vistas a un jardín. Los resultados muestran un menor tiempo de hospitalización, menor consumo de analgésicos y mejor estado de ánimo general entre aquellos que tuvieron vistas a la naturaleza.

Diversas revisiones bibliográficas han ido revelando una progresión exponencial de artículos, comprendiendo 80 en 1996, 600 en 2004 y 1.200 en 2008 (Ulrich, et al., 2008), existiendo un repositorio aproximado de 2.500 estudios actualmente.

Esta disciplina se ha desarrollado principalmente en Estados Unidos de América. Actualmente, los principales centros de investigación son el *Center for Health Design* (CHD) en Concord (California), el *Center for Health Systems & Design*, de la *Texas A&M University*, *InformeDesign*, perteneciente a la *American Society of Interior Designers* y la Universidad de Minnesota, el *Picker Institute* y el *Center for Applied Environmental Public Health* (CAEPH) de la Universidad de Tulane (Nueva Orleans).

El *Center for Health Design* es el principal impulsor del EBD. Ha creado la primera revista indexada especializada en Evidence-Based Design sanitario: *Health Environments Research & Design Journal* (HERD), un sistema de acreditación de conocimientos en EBD, el *Evidence-Based Design Accreditation and Certification* (EDAC) y un proyecto de coordinación de estudios prospectivos a partir de remodelaciones de hospitales reales; el *Pebble Project* (Joseph y Hamilton, 2008).

Los hospitales que deciden unirse al proyecto acuden al Center for Health Design, quien aporta su experiencia en las fases de diseño y define una metodología de investigación y, a medida que se ponen en funcionamiento los nuevos edificios, se evalúan los resultados.

Características y temas tratados

EBD es un campo de investigación eminentemente práctico, de tal forma que sus resultados suelen traducirse en pautas de diseño que vinculan parámetros de diseño arquitectónico con respuestas concretas del usuario, y suele utilizar muy diversas metodologías de investigación.

Así, encontramos trabajos que se han centrado en variables de diseño:

- La influencia de la naturaleza (Smith, 2007; Ulrich, 1986; Sherman, et al., 2005; Ulrich, 2002; Benfield, et al., 2013)
- La iluminación (Joseph, 2006; Dalke, et al., 2006).
- El ruido (Huang, et al., 2012; White, 1999).
- El color (Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008; Cooper, Mohide y Gilbert, 1989).
- La decoración (Schweitzer, Gilpin y Frampton, 2004; Ulrich, 1991; Hathorn y Nanda, 2008).
- O la configuración arquitectónica (Chaudhury, 2005; Higuera, Montañana y Llinares, 2016).

En la respuesta del paciente:

- El estrés (Andrade y Devlin, 2015; Rashid y Zimring, 2008; Dijkstra, Pieterse y a. Pruyn, 2008).
- La orientación espacial (Rousek y Hallbeck, 2011; Adams, et al., 2010).
- La privacidad y seguridad (van de Glind, de Roode y Goossensen, 2007; Watkins, et al., 2011; Clarkson, et al., 2004).
- El apoyo social (Ulrich, 1991; Andrade y Devlin, 2015; Leather, et al., 2003).
- O el bienestar y satisfacción general (Mourshed y Zhao, 2012; Fornara, Bonaiuto y Bonnes, 2006; Whitehouse, 2001; Harris, McBride y Ross, 2002).

En distintos espacios:

- Halls de acceso (Adams, et al., 2010; Blumberg, 2006).
- Habitaciones (van de Glind, de Roode y Goossensen, 2007; Stevens, et al., 2012; Chaudhury, 2005).
- Salas de espera (Arneill y Devlin, 2002; Leather, et al., 2003).
- Salas de partos (Shin, Maxwell y Eshelman, 2004; Duncan, 2011).
- Áreas neonatales (Higuera, Montañana y Llinares, 2016; Deeney, et al., 2012).
- Pediátricas (Monti, et al., 2012; Peterson-Sweeney, 2005; Abbas y Ghazali, 2010).
- Psiquiátricas (Gross, et al., 1998; Osmond, 1957).
- O geriátricas (Falk, Wijk y Persson, 2009; Countouris, Gilmore y Yonas, 2014; Andersson, 2011).

Y con diversas metodologías:

- Focus group (Watkins, et al., 2011; Lehoux, Poland y Daudelin, 2006).
- Entrevistas (Bromley, 2012; Abbas y Ghazali, 2012).
- Cuestionarios (Monti, et al., 2012; Fornara, Bonaiuto y Bonnes, 2006).
- Ingeniería Kansei (Higuera, Montañana y Llinares, 2016).
- Simulaciones (Dunston, Arns, McGlothin, et al., 2011; Gray, et al., 2012; Peavey, Zoss y Watkins, 2012).
- Estudios de caso (Joseph y Hamilton, 2008).
- O evaluaciones post ocupación (Sherman, et al., 2005; Samah, et al., 2012).

Las principales conclusiones a las que se ha llegado en estos estudios se pueden dividir en distintas categorías (Ulrich, et al., 2008).

En cuanto a la mejora de la seguridad del paciente:

- Reducción de infecciones: las fuentes son el aire, agua y contacto. Se ha probado que funciona:
 - Habitaciones individuales con aseos privados.
 - Buena calidad del aire interior. Filtros en los equipos, ventanas de pacientes bien selladas, subpresión de aire en zonas de infectados, sobrepresión en zonas de pacientes con defensas bajas (como cáncer o trasplantes).
 - Dispensadores de limpiamanos accesibles al usuario.
 - Acabados de fácil limpieza (materiales poco porosos). Protocolo de limpieza de las instalaciones adecuado. Descontaminación con vapor de peróxido de hidrógeno.
 - Instalaciones de fontanería con temperatura y presión adecuadas, evitando estancamientos y retornos.
- Reducción de errores médicos.
 - Reducción de ruidos y distracciones (como llamadas de teléfono).
 - Iluminación adecuada.
 - Habitaciones individuales.
- Reducción de caídas de pacientes. Entre ancianos la media es de 1.5 caídas por habitación y año, principalmente intentando acceder al baño sin ayuda de personal.
 - Suelos no deslizantes, apertura apropiada de puertas, y altura correcta de mobiliario, equipamiento...
 - Pasamanos y barras de apoyo correctamente ubicadas.
 - Habitaciones individuales. Los familiares pasan más tiempo con el paciente y le prestan más ayuda.
 - Las camas con petos laterales han resultado ser ineficaces y además en caso de caída el daño es mayor.

Otras mejoras para el paciente:

- Reducción del dolor
 - Exposición del paciente a la naturaleza.
 - Elementos visuales (pintura, fotografía, imágenes...) relacionados con la naturaleza.
 - Mayor cantidad de luz solar en las habitaciones.
 - Distracción visual y auditiva mediante Realidad Virtual durante tratamientos dolorosos, por ejemplo durante el cambio de vendas de quemados.
 - Reducción del ruido.
- Mejora del descanso. Más de 70 estudios indican que el descanso inadecuado implica mayor estrés, y altera el sistema inmune y la termorregulación alargando el periodo de curación.
 - Mejora del aislamiento y disminución de la reverberación.
 - Habitaciones individuales y, a ser posible, correctamente orientadas a exteriores soleados para regular los ritmos circadianos.
 - Control del nivel de iluminación por el usuario.
- Reducción del estrés.
 - Vistas a naturaleza real o simulada, al igual que con el dolor.
 - El ruido acrecienta el estrés. En ese sentido, habitaciones individuales contribuirían a minorar el estrés. Se ha de lograr un máximo de 35dBA de día y 30dBA de noche en habitaciones. Tres factores influyen en el ruido en hospitales:
 - Equipos, alarmas, megafonía, etc.
 - Superficies acústicamente reflectantes.
 - Agrupaciones de familiares y pacientes en habitaciones colectivas por falta de espacios adecuados.

- Reducción de la depresión. La evidencia indica que la exposición a luz artificial brillante y a luz diurna es eficaz en la reducción de la depresión y mejora del estado de ánimo, incluso para personas hospitalizadas por depresión severa.
 - Las habitaciones han de recibir soleamiento, lo que implica un adecuado diseño en cuanto a orientación y tamaño de las ventanas.
- Reducción de la estancia en el hospital. Existe poca literatura científica al respecto. Posiblemente influya el soleamiento y la exposición a la naturaleza.
- Reducción de la desorientación espacial. Existen estudios vinculando la sensación de desorientación con estrés y malestar por parte de pacientes y familiares y con coste económico por tiempo del personal dedicado a dar indicaciones.
 - Información administrativa y de procedimientos: Información y planos en la web, por email o impresos en puestos de información.
 - Ayudas en el exterior: claro acceso a y desde los aparcamientos, o entradas al recinto.
 - Información y planos del interior en puestos in-situ, directorios y señalización adecuada.
 - Ubicación correcta de las ayudas a la orientación en intersecciones y en acceso a grandes destinos o áreas.
 - Cambios de pavimento, color, etc. que indiquen cambios de zona.
 - Uso de hitos a lo largo de los recorridos.
 - Estructura global en el diseño del edificio: si el edificio tiene una estructura compleja, la señalética resulta ineficaz.
- Mejora de la privacidad
 - Habitaciones individuales.
 - Condiciones acústicas adecuadas.

- Mejora del apoyo social
 - Habitaciones individuales para fomentar la estancia de las visitas.
 - Existencia de lounges o salas acogedoras, por ejemplo con acabados hogareños o muebles dispuestos formando pequeños grupos.
- Aumento de la satisfacción del cliente: Está demostrado que la satisfacción con el entorno predice la satisfacción general en entornos hospitalarios.
 - Entorno estético agradable, limpio, con temperatura controlada y sin ruidos.
 - Vistas agradables.
 - Iluminación y soleamiento adecuados.
 - Habitación individual protegida de ruidos, con cama cómoda, baño privado y televisión.
 - Usuarios de habitaciones acogedoras tipo hotel han asignado mejores puntuaciones en asistencia, personal, comidas, y valoración global que usuarios de habitaciones estándar del mismo hospital.
 - En el caso de cuidados intensivos:
 - Poder ver al paciente frecuentemente.
 - Tener salas de espera cerca del paciente.
 - Disponer de mobiliario cómodo en la sala de espera.
 - Acceso a un aseo cerca de la sala de espera.
 - Tener algún lugar donde estar solos y algún lugar donde estar con familia y amigos.
 - En el caso de neonatos:
 - Disponer de un lugar de descanso y espera.
 - Disponer de un espacio donde pasar la noche.

Mejoras para el personal:

- Reducción de accidentes laborales: La principal molestia es dolores de espalda por asistir y mover pacientes.

- Sistemas elevadores para transferencia de pacientes.
- Reducción de estrés laboral. Los profesionales de la salud suelen sufrir un gran estrés, especialmente las enfermeras, lo cual se traduce en agotamiento y alta rotación laboral. Algunos factores observados son:
 - Ruido como principal factor.
 - Iluminación, con relación a los ritmos circadianos en trabajadores de turnos nocturnos.
 - Habitaciones individuales (menos estresantes) frente a colectivas.
- Mejora de la productividad
 - La distribución de la unidad (radial, corredor simple o doble...) implica tiempo en desplazamientos.
 - Puestos de enfermeras y de farmacia descentralizados.
 - Reducción del ruido.
 - Iluminación adecuada.
 - Reducción de distracciones.

Aplicación en el ámbito de la arquitectura

Como se acaba de mostrar, existe gran variedad de aspectos tratados. Sin embargo, y por este motivo, encontrar la información concreta necesaria en determinado momento puede resultar una tarea que requiere experiencia y una considerable cantidad de tiempo (Edelstein, 2008b)

Por otro lado, se ha advertido una relativa baja cantidad de estudios de laboratorio rigurosos, con control aleatorio y que aíslen una sola variable, debido a la propia idiosincrasia del trabajo con entornos contruidos, siendo la mayor parte observacionales con o sin grupos de control (Ulrich, et al., 2008).

Así, diversos autores sostienen que aún hacen falta investigaciones transparentes, sistemáticas, y de calidad y un trabajo de síntesis, revisión y categorización de la información (Fornara y Andrade, 2012).

Neuroarquitectura

Históricamente, obtener información de cómo funciona un cerebro vivo era una tarea relegada prácticamente al estudio de casos aislados en los que un sujeto hubiera sufrido una importante lesión localizada y siguiera vivo. El caso más célebre es el de Phineas P. Gage, un obrero del ferrocarril norteamericano a quien una barra de metal atravesó el cráneo destrozándole el lóbulo frontal, tras lo cual insólitamente sobrevivió, aunque con un brusco cambio de personalidad y comportamiento (Alonso, 2011).

Sin embargo, desde finales de 1980 el problema es el contrario. Con la proliferación y perfeccionamiento de equipos de imagen y registro de la actividad cerebral, o sus medidas fisiológicas indirectas, se está produciendo una cantidad tal de conocimiento que apenas da tiempo de ser asimilado (Mallgrave, 2010).

Una de las consecuencias de la disponibilidad de estos nuevos conocimientos e instrumentos neurocientíficos es que se ha facilitado su aplicación a diversas disciplinas en principio ajenas al estudio de la mente.

Así, por ejemplo, el neurólogo Semir Zeki, con más de treinta años de investigación en procesamiento visual, a comienzos del presente siglo empieza a estudiar la respuesta cerebral ante el arte (Zeki, 2001), lo que le llevará en 2008, junto un grupo de científicos y artistas a fundar en Berlín la *Association of Neuroaesthetics* con el fin de servir de puente entre arte y neurociencia (Skov y Vartanian, 2009).

De la misma forma ahora se empieza a hablar de *neuromarketing* (Ramsøy, 2015), *neuroeducación* (Mora, 2014) o *neuromanagement* (Braidot, 2013).

Breve reseña histórica

En el caso de la relación de la neurociencia con la arquitectura, los inicios se pueden remontar a Jonas Salk (1914-1995), virólogo desarrollador de la vacuna contra la poliomielitis y fundador, en 1960, del *Instituto Salk de Estudios Biológicos* en La Jolla, California (cuyo edificio es una obra maestra de Louis Kahn).

Según se cuenta (John P. Eberhard, 2009; Sternberg y Wilson, 2006), el Dr. Salk rompió un bloqueo creativo en un retiro en la Abadía de Asís (Italia) debido, supuso él, al estimulante entorno. Ello le llevó a sugerir a su Fundación que se debería investigar la experiencia humana de la arquitectura desde un punto de vista biológico. De esta forma, en 1995, el arquitecto John P. Eberhard es llamado a liderar una serie de estudios relativos a cómo el espacio puede afectar al cerebro.

En sus trabajos, Eberhard se entrevistará con Fred H. Gage, investigador del *Salk Institute* que ha logrado demostrar como entornos estimulantes han provocado neurogénesis en ratones, para averiguar si podría ocurrir lo mismo con las personas. Aunque Gage le explica que esto aún no se ha demostrado, le anima a iniciar investigaciones en la relación entre neurociencia y arquitectura. Posteriormente, Gage logrará demostrar la neurogénesis en humanos (Eriksson, et al., 1998).

Eberhard también visitará al premio Nobel Gerald M. Edelman, del *Neuroscience Institute* de la Jolla, quien le mostrará las posibilidades de la neurociencia aplicada a la arquitectura.

En 2003 se fundará la “*Academy of Neuroscience for Architecture (ANFA)*” en San Diego (EEUU), primer organismo que explícitamente tiene como objetivo vincular la neurociencia con la arquitectura, de la que John Eberhard será su Presidente fundador y Fred H. Gage su sucesor.

En 2005 Eberhard será el único miembro arquitecto de la *Society for Neuroscience* y en 2009 escribirá el primer libro sobre el tema “*Architecture and the Brain: A New Knowledge Base from Neuroscience*”(Eberhard, 2007).

Aunque ya existían estudios que habían evaluado la respuesta fisiológica ante estímulos espaciales, es en esta primera década del siglo XXI cuando despegan el número de investigaciones que intentan esclarecer la relación entre la percepción del entorno y la respuesta cerebral.

Características y temas tratados

Los sistemas habitualmente utilizados se dividen entre los que registran directamente la actividad cerebral (imagen por resonancia magnética funcional y electroencefalografía), los que registran respuestas fisiológicas generadas por el sistema nervioso autónomo como medida indirecta de la actividad cerebral (electrocardiografía, electromiografía, respuesta galvánica de la piel...) y los que registran actividades comportamentales relacionadas con la actividad cerebral (eye-tracking , Facial Expression Analysis...).

Los estudios que se han efectuado hasta el momento han tratado; la orientación (Edelstein, 2005a), la influencia de la iluminación (Edelstein, 2008a) el color (Kaiser, 1984), el material (Laparra-Hernández, et al., 2009) o el estilo decorativo (Tsunetsugu, Miyazaki y Sato, 2005), la correlación entre preferencia de estímulo y respuesta cerebral (Vecchiato, Tieri, et al., 2015; Vartanian y Goel, 2004; Vecchiato, Jelic, et al., 2015), la respuesta de pacientes ante entornos sanitarios (Edelstein, 2005b), la influencia de algunos criterios específicos de diseño como la altura de techo (Vartanian, et al., 2015) o las formas (Vartanian, et al., 2013), la exploración visual del paisaje (De Lucio, et al., 1996), la respuesta cerebral ante la sensación de presencia en entornos virtuales (Kober y Neuper, 2012; Kober, Kurzmann y Neuper, 2012) o la respuesta al estrés ante entornos reales (Chang, et al., 2008) o virtuales (Slater, et al., 2009).

Aplicación en el ámbito de la Arquitectura

Aún así, y aunque la investigación en neurociencia es extensísima y rigurosa (Gross, 2009), su aplicación a la arquitectura es un campo emergente (Edelstein y Macagno, 2012), a día de hoy más citada por sus promesas que por sus hallazgos reales (John P Eberhard, 2009; Jelić, et al., 2016), que manifiesta un enorme potencial pero aún no compone un cuerpo sólido.

Su metodología apenas se encuentra establecida (Zhang, et al., 2010; Jelić, et al., 2016), no existen grupos de investigación de referencia ni soluciones fuera del

ámbito científico que consigan predecir el impacto cognitivo-emocional del espacio arquitectónico.

Sin embargo, esto sitúa nuestra generación en un panorama efervescente de enormes posibilidades, donde las bases están por sentarse y las conclusiones que arrojen verdaderas soluciones de diseño, aún por llegar.

Parece oportuno acabar este capítulo con unos párrafos del prólogo de Gage al libro *Brain Landscape* de Eberhard (John P. Eberhard, 2009):

“Las conexiones entre neuronas pueden aumentar o disminuir debido a las experiencias. Incluso el número total de neuronas puede cambiar en ciertas áreas del cerebro debido a las experiencias y a la interacción con el entorno.

[...]

El cerebro controla nuestro comportamiento y los genes controlan el diseño y la estructura del cerebro. Pero el entorno puede modular la función de los genes y, en última instancia, la estructura de nuestro cerebro. De esta forma, cambios en el entorno pueden cambiar nuestro cerebro y, como consecuencia, cambiar nuestro comportamiento.

[...]

Afirmo que el diseño arquitectónico puede cambiar nuestros cerebros y afectar a nuestro comportamiento. La estructura del entorno (la casa en la que vivimos, los lugares donde jugamos, los edificios donde trabajamos) pueden cambiar nuestros cerebros y afectar a nuestro comportamiento.

Al diseñar, los arquitectos pueden actuar en nuestros cerebros”

CAPÍTULO 2 | SISTEMAS DE SIMULACIÓN AMBIENTAL

"La arquitectura sólo se considera completa con la intervención del ser humano que la experimenta"

Tadao Ando

El objetivo de una simulación ambiental es representar el espacio al que sustituye de tal manera lo reproduzca lo más fielmente posible (Marans y Stokols, 2013). Las simulaciones han tenido habitualmente dos usos principales.

En primer lugar, han servido para exponer propuestas de diseño, ya que facilitan su comprensión y evaluación por parte de personas no habituadas al pensamiento espacial (Bullinger, et al., 2010; Dunston, Arns, Mcglothlin, et al., 2011; Clipson, 1993).

En segundo lugar, han sido usadas en el estudio de la respuesta del ser humano ante el entorno (Bell, et al., 2001), debido al coste y complejidad de utilizar espacios reales en condiciones de laboratorio, manteniendo ciertos factores inalterados mientras otras variables son alteradas a voluntad (Yan, 2008; Loomis, Blascovich y Beall, 1999; Kuliga, et al., 2015).

Así pues, los sistemas de simulación ambiental son una herramienta de gran utilidad tanto para arquitectos como para psicólogos (Rohrman y Bishop, 2002).

Soportes y formatos de visualización

Un sistema de visualización se puede descomponer en dos partes: El formato, que es la estructura de la información presentada (por ejemplo un dibujo, una fotografía o un video) y el soporte, que es la plataforma en la que se presenta dicha información (por ejemplo una lámina o una pantalla).

En cuanto a los formatos, en el ámbito de la arquitectura a lo largo de los siglos ha destacado tradicionalmente el dibujo (Sheppard, 1989; Zube, Simcox y Law, 1987), tanto para describir el conjunto como el detalle arquitectónico.

La maqueta o modelo físico en miniatura ha ido adoptando un papel secundario, relegándose principalmente a la exposición de grandes proyectos o a un uso como herramienta de trabajo particular del estudiante o del arquitecto quizá porque, como apunta Cazaro (2011), presenta una serie de limitaciones; precio, dificultad de ejecución, fragilidad, tamaño para su traslado y conservación, entre otras.

Desde los años 60, la fotografía comienza a ser usada (Stamps, 1990) en estudios de psicología ambiental. Sin embargo, presentados puntos débiles (Taboada, 2011). En primer lugar, la falta de “presencia” al tener un punto de vista fijo predefinido. El recorrido por el espacio es algo personal que no puede ser delegado a la mirada acotada y subjetiva del fotógrafo. En segundo lugar, sufre la limitación de que requiere disponer de un espacio real existente del cual obtener la imagen, lo cual limita su uso como herramienta para mostrar propuestas de diseño.

Posterior a la fotografía se incorporará el uso del video (Bateson y Hui, 1992), que permite una simulación más cercana al natural al incorporar el movimiento y el sonido, manteniendo las dos limitaciones de la fotografía.

También en los años 60 y 70, con una tecnología de Hardware suficientemente madura, se inicia la carrera de la simulación por ordenador. Universidades Norteamericanas, principalmente Harvard, MIT, Cornell, CalTech o Utah desarrollan algoritmos y aportaciones teóricas que siguen vigentes hoy en día. En las siguientes décadas se perfeccionarán la simulación de la luz, texturas y materiales complejos,

y efectos atmosféricos alcanzando un grado de fotorrealismo tal que, hoy en día, es indistinguible una escena de síntesis de otra real (Lange, 2001).

En este contexto, la imagen y la animación renderizada encuentran su nicho en el ámbito de la arquitectura y la psicología ambiental (Lovett, et al., 2015; Duke, et al., 2003) como complemento a la fotografía y el video ya que permiten simular prácticamente cualquier escenario, existente o inexistente, con un control total de las variables y a muy bajo coste.

Los últimos formatos en incorporarse, debido a que requieren de una capacidad tecnológica que permita su procesamiento en tiempo real, son los entornos virtuales interactivos en primera persona, aquellos que permiten al usuario moverse libremente por el espacio simulado (Trenholme y Smith, 2008).

En cuanto a los soportes, hasta ahora, los formatos estáticos, el dibujo, la fotografía y el render se habían presentado mediante láminas impresas primero y mediante pantallas después. Los formatos dinámicos, video, animación o entorno virtual, necesariamente en pantalla. Posteriores soluciones permitirán que estos soportes incorporen la estereoscopía manteniendo su concepto de funcionamiento.

Sin embargo, en los últimos años se está popularizando, incluso a nivel doméstico, un nuevo tipo de soporte: El Head-Mounted Display (HMD), o gafas de Realidad Virtual. Éste permite un alto grado de inmersión, o sensación de visión en primera persona, al abarcar la práctica totalidad del campo de visión del ojo humano, permitir nativamente la estereoscopía y facilitar la coordinación del movimiento de la cabeza y del entorno observado.

De su mano se generalizarán enormemente dos formatos de simulación: Por un lado, el entorno virtual interactivo generado en tiempo real, que alcanzará el grado de Realidad Virtual al compaginar el formato de mayor libertad espacial con el soporte de mayor inmersión. Por otro, la versión panorámica de los formatos tradicionales. Ambos se ven con mayor detalle en los apartados siguientes.

Realidad Virtual

Concepto

Un Entorno Virtual (EV) es un escenario tridimensional, interactivo y con visión en primera persona, generado por ordenador que simula un espacio existente o ficticio y en el que el usuario puede sentir presencia física. Esta definición comprende desde un simple videojuego 3D hasta lo que se conoce como Realidad Virtual (Vince, 2004).

Los entornos simulados pueden ser réplicas de espacios reales o ser mundos imaginarios y, aunque la ausencia de restricciones físicas permita acciones no posibles en el mundo real (por ejemplo volar o teletransportarse), es necesario que exista un trasfondo de “realidad espacial” que el usuario pueda reconocer (por ejemplo, los objetos lejanos no deberían tapar a los cercanos ni la visión producirse en perspectiva isométrica) de forma que el cerebro pueda equiparar la percepción de lo simulado con aquella que tendría de producirse en la realidad física (Bridges y Charitos, 1997).

Debe existir interactividad entre el usuario y el entorno permitiendo desde la libertad de movimientos (menor grado de interactividad) hasta la manipulación del entorno (abrir puertas, encender luces...).

Esta interacción, en principio, podría producirse por los cinco sentidos para conseguir una sensación de realidad plena. En la práctica, el gusto y el olfato no se tratan al tener una base de funcionamiento muy compleja de simular y el tacto es parcialmente simulado mediante dispositivos hápticos dependiendo de las necesidades y el presupuesto. Los canales más fácil y habitualmente utilizados en Realidad Virtual son la vista y el oído. En ambos la tecnología permite recrear los entornos de forma efectiva y tridimensional.

Por último, la sensación de presencia física se alcanzará según el grado de inmersión y naturalidad que permita el sistema utilizado (visión mono o estereoscópica, audición mono o binaural, sistemas de control de posición y movimientos...) (Kalisperis, et al., 2006).

Funcionamiento y dispositivos

Al ser la Realidad Virtual interactiva por definición, su funcionamiento consistirá en la aportación de datos por parte del usuario, el procesamiento de estos datos en tiempo real y la presentación de la respuesta al usuario. Estos tres pasos implican partes diferenciadas del sistema; dispositivos de entrada de datos, unidad central de procesamiento y dispositivos de salida de datos.

Dispositivos de entrada de datos son aquellos que permiten al usuario aportar información al sistema (Figura 7). Pueden dividirse en:

- Los dispositivos de navegación permiten moverse por el entorno virtual. Pueden ser desde sistemas tan sencillos y económicos como un ratón o un joystick hasta soluciones de mayor entidad como cintas andadoras multidireccionales.
- Los dispositivos de rastreo (tracking) permiten controlar también la posición y movimientos del usuario, desde los sistemas inerciales basados en acelerómetros y giroscopios hasta sistemas ópticos basados en el seguimiento de marcas clave en el cuerpo del usuario por parte de cámaras.
- Por último, quedaría mencionar los dispositivos gestuales, que permiten manipular objetos o instrumentos dentro del mundo virtual. Por un lado, encontramos distintos tipos de guantes y, por otro, instrumentos especializados para simulaciones concretas (cinceles, bisturís...).

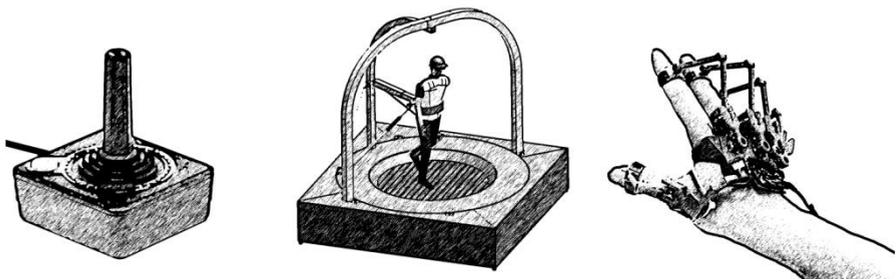


Figura 7. Dispositivos de entrada de datos. Joystick, cinta andadora y guante háptico.

La **unidad de procesamiento de datos** es habitualmente un ordenador de menor o mayor potencia con un software destinado a ir renderizando en tiempo real las escenas según la información que le llega por parte del usuario.

El trabajo en tiempo real implica que todo el proceso, desde que el usuario realiza una acción hasta que obtiene la reacción, ha de tener una latencia menor a 0,1 segundos para que la sensación se perciba instantánea y ha de generar entre 20 y 30 fotogramas por segundo (FPS) para que el usuario perciba movimiento continuo.

De ahí que, pese a que la RV existe como concepto desde hace décadas, no ha sido posible crear entornos medianamente realistas hasta el momento en que la tecnología de procesamiento gráfico ha alcanzado un cierto nivel.

Aún así es necesaria la optimización de los entornos virtuales para conseguir la máxima calidad de representación con los recursos tecnológicos disponibles. Por ello, normalmente se desechan técnicas o algoritmos físicamente precisos pero cuyo tiempo de cálculo es excesivo para hacer uso de métodos heurísticos que simulen la realidad de manera aceptable con muy bajos tiempos de cálculo. Por ejemplo el uso de modelos con bajo número de polígonos junto con mapas de relieve (*bump*, *normal* o *parallax*), métodos de iluminación indirecta que no requieran procesamiento en tiempo real (como *texture baking*) o técnicas de reducción de polígonos renderizados (*clipping*, *backside-culling*, *z-culling*) (Figura 8).

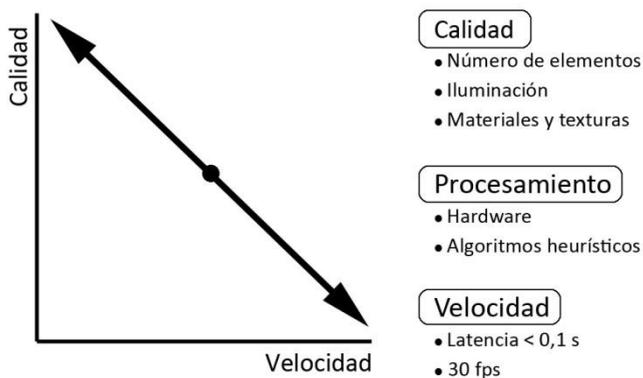


Figura 8. Compromiso entre calidad y velocidad en el procesamiento de entornos de RV

Dispositivos de salida de datos

Son los dispositivos que aportan información a los sentidos del usuario, generalmente a la vista y el oído y en algunos casos al tacto (Kalawsky, 1993; Burdea y Coiffet, 2003).

Los **dispositivos de salida visual** se pueden dividir en estereoscópicos, que mediante dos imágenes con puntos de vista ligeramente diferentes generan percepción de profundidad en el cerebro por un fenómeno llamado paralaje, o no estereoscópicos.

En el caso de dispositivos de salida estereoscópica existen tres soluciones habituales.

- En primer lugar, proyectar directamente una imagen distinta a cada ojo. Esta opción es utilizada por los *Head-Mounted Displays* o, a nivel doméstico, por las *Google Cardboard* (Figura 9).
- En segundo lugar, proyectar una imagen doble y discriminar a cada ojo mediante sistemas de gafas pasivas con lentes de colores o polarizadas (habituales en cine 3D) o activas con obturadores sincronizados a la proyección (habituales en televisiones 3D).
- Por último, existen pantallas autoestereoscópicas que, mediante el uso de hojas lenticulares o barreras de paralaje, consiguen sensación de profundidad de forma autónoma.

Si bien la Realidad Virtual, por su propia naturaleza inmersiva, tiende a la visualización estereoscópica no hay que renunciar a las soluciones no estereoscópicas ya que se encuentran, a día de hoy, en toda clase de dispositivos comunes (televisores, ordenadores, teléfonos móviles y tablets), por lo que suponen una forma muy económica de extender el uso de la visualización interactiva a la sociedad.

En cuanto a los **dispositivos de salida auditiva**, se pueden clasificar simplícidamente en sistemas de altavoces con mayor o menor envoltura espacial (mono, estéreo, 5.1, 7.1) o soluciones mediante auriculares.

Hay que indicar que conseguir una recreación virtual precisa de la ubicación espacial de fuentes de sonido es extremadamente complejo ya que depende en gran medida de la geometría y materialidad del espacio y de la fisiología particular de cada espectador.

Aunque existen soluciones en el campo del sonido 3D y la holofonía, los sistemas habituales simplemente simulan la distancia y localización lateral de la fuente sonora modificando volumen y panorama, y no suelen tener en cuenta efectos más complejos como reflexiones físicamente precisas, sombras acústicas, modificaciones en el espectro debidas a la distancia, diferencias de tiempo y nivel interaural ni la localización en el plano medio del espectador.

Por último, los **dispositivos de salida háptica** o táctil tienen un uso mucho más restringido a campos de aplicación concretos como simulaciones de vuelo, teleoperación de brazos robóticos o entrenamiento quirúrgico.

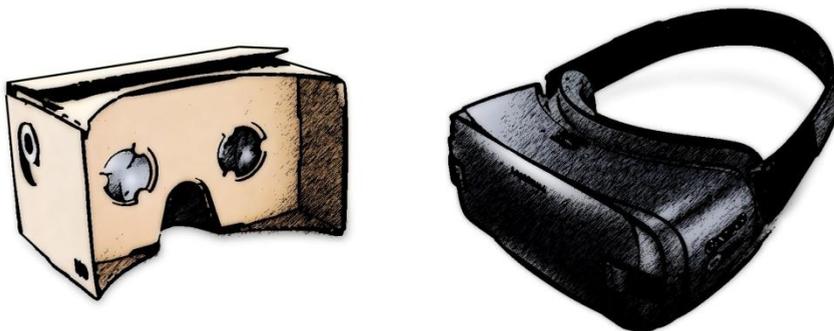


Figura 9. Visión inmersiva estereoscópica: Google Cardboard y Samsung Gear VR

Aplicaciones de la Realidad Virtual

Los Entornos Virtuales, en sus distintas variantes (simuladores, serious games, Realidad Virtual o Aumentada...), vienen siendo usados en los últimos años en muy diversas disciplinas.

En medicina, el ser humano virtual ha sustituido al cadáver en los estudios de anatomía (Ackerman, 1998) y al paciente en la práctica de operaciones quirúrgicas (Rosen, et al., 1996) permitiendo adquirir experiencia en un amplio abanico de procedimientos, sin limitaciones en el número y tipo de ensayos y sin riesgo humano.

Además, los Entornos Virtuales han demostrado propiedades analgésicas sin efectos secundarios en múltiples tratamientos (Hoffman, et al., 2001) y beneficios en tareas de rehabilitación motora (Holden, 2005).

En psicología, los Entornos Virtuales se han usado con éxito en diversas fobias como el miedo a volar o a las alturas (Rothbaum, et al., 1995), a los espacios cerrados (Botella, et al., 1998), a insectos (Carlin, Hoffman y Weghorst, 1997), o a hablar en público (Harris, Kemmerling y North, 2002). Estos tratamientos son más baratos, cómodos y seguros que la exposición real a la fuente del miedo.

En el campo de la educación, se han utilizado en la enseñanza de muy diversas disciplinas como biología, geología, antropología o historia (Slator, et al., 1999). También han confirmado su validez en el campo de la educación especial (Standen, Brown y Cromby, 2001).

Muchos otros sectores también se han beneficiado del uso de Entornos Virtuales, como la cultura (Charitos, et al., 2001), el ocio (Guttentag, 2010) o los procesos industriales y de fabricación (Mujber, Szecsi y Hashmi, 2004).

En el ámbito de la arquitectura y la construcción, los entornos virtuales (EVs) se están utilizando para la evaluación del uso y seguridad de las edificaciones, durante el proceso constructivo y en el mantenimiento a lo largo de su vida útil (Li, 2010).

Así, existen estudios para evaluar la accesibilidad de entornos urbanos como peatón (Simpson, Johnston y Richardson, 2003) o mediante silla de ruedas (Harrison, et al., 2002), simular la evacuación de edificios en caso de incendio (Rüppel y Schatz, 2011) u otro tipo de emergencias (Sagun, Bouchlaghem y Anumba, 2011), o entrenar al personal técnico en obra en cuestiones de seguridad y salud y el manejo de instalaciones (Zhou, Whyte y Sacks, 2012).

Como apoyo al proceso constructivo, los EVs se han utilizado para simular fases críticas en proyectos de gran complejidad (Fernandes, et al., 2006). Igualmente, se está ensayando con Entornos de Realidad Aumentada que permitan sobrepresionar elementos constructivos, estructurales o instalaciones virtuales sobre el espacio real, como asistencia en etapas de replanteo, control y mantenimiento de los mismos (Kensek, et al., 2000).

Pero, quizá la mayor aceptación y desarrollo que está adquiriendo el uso de EVs es como herramienta de visualización y toma de decisiones durante las fases de diseño arquitectónico (Wang y Tsai, 2011), ya que posibilita la observación en primera persona de espacios no construidos a un coste relativamente bajo, sin imposición de un punto de vista (como ocurre en fotografía), con capacidad de salvar limitaciones físicas y con la posibilidad de efectuar fácilmente modificaciones de diseño.

Así, en planeamiento urbano se han usado EVs como herramienta de ayuda en la toma de decisiones por parte de autoridades y técnicos municipales (Sunesson, et al., 2008) o en la consulta al ciudadano (Wergles y Muhar, 2009).

Igualmente en edificación, en el ámbito del diseño centrado en el usuario se encuentran estudios basados en la presentación de propuestas (distribuciones, mobiliario...) al cliente para recoger sus opiniones y preferencias sobre viviendas, oficinas o laboratorios (Westerdahl, et al., 2006).

Las investigaciones en *Evidence-Based Design (EBD)* también están utilizando en los últimos años Entornos Virtuales (Wang y Tsai, 2011) para crear diseños orientados a las necesidades del usuario (Huisman, et al., 2012).

Es, además, probable que en los próximos años la Realidad Virtual se convierta en una tecnología habitual en el ámbito arquitectónico ya que existe un número cada vez mayor de investigaciones con el objeto facilitar la integración de estas tecnologías en entornos CAD (Kosmadoudi, et al., 2013) y BIM (Pauwels, Meyer y Campenhout, 2011).

En la bibliografía existente se encuentran diversos estudios de compatibilidad entre aplicaciones y formatos de archivo incluyendo exportación desde Revit (Yan, Culp y Graf, 2011), desde ArchiCAD (Hakkarainen, Woodward y Rainio, 2009), o desde diversos programas CAD y BIM a diversos *game engines* comerciales (Boeykens, 2011; López-Tarruella, Llinares, et al., 2016).

Formato panorámico 360º

El panorama 360ºx180º, o panorama esférico, es aquel que, con un ángulo de visión de 360º en horizontal y 180º en vertical, es capaz de captar todo el entorno circundante desde un punto de vista (Gledhill, et al., 2003). Este concepto de panorama puede ser aplicado a los formatos clásicos tanto estáticos, como el dibujo, la fotografía o el render, como a dinámicos, como el video o la animación (Figura 10).

El concepto no es nuevo, en 1787 el pintor irlandés Robert Parker desarrolla el primer ciclorama, o pintura panorámica en 360º, un enorme lienzo cilíndrico diseñado para ser visto desde su interior, que representa grandes escenas, que requerirá de su propio edificio de exposición (también llamado ciclorama) y que se convertirá en un espectáculo habitual a lo largo del siglo XIX (Benosman y Kang, 2001).



Figura 10. Render panorámico (arriba) y dos puntos de vista desde éste (abajo)

Prácticamente tras la invención de la fotografía, también surgirá el interés por plasmar amplios ángulos de visión, lo cual se realizará mediante panorámicas, composición de múltiples fotografías tomadas desde un mismo punto. Esta técnica será perfeccionada hasta la era digital en la que modernas técnicas de *stitching* o cosido realizadas por software de edición de imágenes hacen imperceptible la costura entre fotografías (Cabezos-Bernal, Cisneros Vivó y Vivó, 2016).

Como se ha explicado, el formato panorámico como concepto es muy antiguo. Sin embargo, y aunque existen visualizadores para distintos dispositivos informáticos, su uso ha sido prácticamente anecdótico, con la excepción de *Google Street View*, debido a la dificultad de presentarlo al espectador de una forma natural.

Esto ha cambiado radicalmente con la incursión de los Head-Mounted Displays. Su capacidad natural para seguir el movimiento y posición de la cabeza y alinear los escenarios visualizados, junto con su amplio campo de visión, lo convierten en el medio idóneo para mostrar este tipo de formato. Tanto es así, que tras la popularización de los Head-Mounted displays (HMD) se está iniciando un auge de cámaras especializadas en la grabación automática de fotografías y videos 360º.

Además, el HMD, con su facultad natural para la estereoscopia, facilita la visualización de panoramas estereoscópicos si bien, a día de hoy, la metodología de realización de formatos 360º estereoscópicos es bastante laboriosa, tanto a partir de imagen real (Cabezos-Bernal, Cisneros Vivó y Vivó, 2016) como generada por ordenador (Bourke, 2006).

La visualización de imágenes o videos panorámicos mediante HMD es una excelente opción como método de simulación ambiental, ya que combina ventajas de los distintos sistemas en una solución de compromiso que en muchos casos es óptima.

Respecto a sus homólogos tradicionales, fotografía, video, render o animación, no sólo incorpora la sensación de inmersión en el espacio simulado sino que, además, al permitir el libre movimiento de la mirada, permite cierto grado de interactividad.

Por ello, aunque técnicamente no lo sea, a la visualización de panoramas mediante HMD se le está llamando comúnmente Realidad Virtual.

Por otro lado, respecto al entorno virtual visualizado en HMD, la verdadera Realidad Virtual, presenta como primera ventaja una mucho mayor facilidad de ejecución. De tal forma que en el caso de una fotografía tan sólo hay que tomarla con una cámara 360º y en el caso de una imagen de síntesis el proceso es idéntico al de un render tradicional, mientras que generar un entorno virtual interactivo requiere del uso de *game engines* y un proceso de testeo más complejo.

Una segunda ventaja, en el caso de render panorámico frente al entorno virtual interactivo, es un mayor realismo debido a que el render no presenta limitación de tiempo en la generación de la imagen, pudiendo utilizar métodos muy lentos pero de resultados muy realistas (radiosidad, mapeado de fotones...) mientras que el procesado del entorno virtual interactivo se ha de realizar en tiempo real (es decir, al menos 20 imágenes por segundo).

Por el contrario, la principal desventaja del panorama respecto del entorno virtual es la incapacidad de movimiento por el espacio. Esto en ciertas ocasiones no es crucial, por ejemplo si la simulación no contempla la posibilidad de movimiento del sujeto (por ejemplo en recintos pequeños) y cuando es necesario incorporar diversos puntos de vista se puede solventar mediante conjuntos de panoramas vinculados (Benosman y Kang, 2001).

Al ser este formato el más reciente, existe poca investigación sobre su utilidad como formato de simulación en el ámbito de la psicología y diseño centrado en el usuario, por lo que resulta un campo de estudio de gran interés. Aún así, algún estudio comparativo ya muestra que la opción 360º puede ser más interesante que la imagen tradicional o el entorno virtual en cuanto a la ayuda al diseño (Higuera, López-Tarruella, Et al., 2016), o que no existen diferencias significativas a nivel de orientación entre la visualización en monitor y en HMD (Napieralski, et al., 2014)

Validez de los distintos sistemas de simulación ambiental

Utilidad de los sistemas de representación

Diversos autores (Bates-Brkljac, 2009; Radford, et al., 1997; Pietsch, 2000; Sheppard, 1989; Appleyard, 1977) han tratado de concretar los conceptos que determinan la utilidad y fidelidad de los distintos medios de representación arquitectónica, destacando tres factores independientes:

- *Precisión*: es el grado en el que la representación transmite la información de forma exacta y detallada.
- *Abstracción*: es el grado en el que la representación retiene las características esenciales de la información.
- *Realismo*: es el grado en el que la representación reproduce fielmente la apariencia perceptual del objeto simulado.

Cada medio de representación alcanza distintos niveles en cada uno de los factores. Así, por ejemplo, un plano arquitectónico es al mismo tiempo completamente abstracto y preciso pero nada realista o, por el contrario, una perspectiva a mano alzada puede ser abstracta y poco precisa y una imagen renderizada completamente realista. Y, en este sentido, cada medio puede ser idóneo para un propósito concreto.

Estudios comparativos entre sistemas

Desde que comenzasen a utilizarse fotografías e imágenes para simular entornos en estudios de psicología ambiental, y a medida que la tecnología ha posibilitado nuevas formas de simulación, ha existido un interés por comparar la validez de las opciones disponibles, tanto entre ellas como respecto de aquella realidad a la que sustituyen (de Kort, et al., 2003).

Así, en cuanto a comparativas entre imágenes tradicionales y generadas por ordenador, se han evaluado (Bates-Brkljac, 2009) los niveles de precisión, abstracción y realismo de dibujos en perspectiva a mano, acuarelas, renders de

modelos 3D y fotomontajes generados por ordenador. Los resultados concluyen que las representaciones generadas por ordenador se consideran más realistas y útiles por los evaluadores no arquitectos, en especial el fotomontaje, mientras que los dibujos realizados a mano obtienen las peores valoraciones.

También se han encontrado diferencias según la presentación del entorno sea mediante imagen estática o video, favoreciendo esta última mayores niveles de atención (Heft y Nasar, 2000) o cognición espacial (Christou y Bülthoff, 1999).

Otros estudios han tratado la imagen estática frente a entorno virtual (Stamps, 2007), el video predefinido frente al entorno virtual con libre navegación (Conniff, et al., 2010) o el video frente a realidad física (Bishop y Rohrmann, 2003).

Dos estudios de nuestro Grupo de Investigación han encontrado diferencias entre el uso de los formatos fotografía tradicional, fotografía panorámica 360º y Realidad Virtual, así como los soportes pantalla y HMD, para la evaluación de diseños por parte de no arquitectos, resultando la fotografía 360º y los cascos inmersivos los que aportaban mayores niveles autoevaluados de orientación y de ayuda en el proceso de diseño por parte de los usuarios (Higuera, López-Tarruella, et al., 2016; Higuera, López-Tarruella, et al., 2017).

Estudios comparativos entre variables de sistema

Otros estudios comparan variables dentro de un sistema concreto (Kalisperis, et al., 2006). Por ejemplo, se ha estudiado cómo afecta el tamaño de pantalla, la estereoscopia, el campo de visión (Zikic, 2007) o el nivel de detalle y el realismo gráfico de la simulación (Nikolic, 2007) en la sensación de presencia física de un entorno de Realidad Virtual.

Estudios comparativos frente al espacio físico

Aunque en los estudios anteriores, en general, se apunta que la realidad virtual es el sistema de simulación ambiental que mayor sensación de presencia ofrece y que más se acerca a la percepción del espacio simulado (de Kort, et al., 2003; Conniff, et al., 2010), muy pocos son los estudios comparativos entre realidad física y Realidad Virtual.

Entre los principales problemas que se encuentra al hacer una revisión bibliográfica destacan estudios que denominan “realidad virtual” a videos no interactivos u entornos virtuales no inmersivos ni estereoscópicos (Stone, 2015), estudios con muestras muy bajas (Kuliga, et al., 2015; Powers y Emmelkamp, 2008) o estudios muy antiguos (Richardson, Montello y Hegarty, 1999; Henry y Furness, 1993). Los factores antropométricos en general no han sido estudiados, excepto algún estudio que ha tratado transversalmente las diferencias por sexo o edad (Arthur, Hancock y Chrysler, 1997).

Las formas de comparar los distintos sistemas de simulación ambiental incluyen cuestionarios validados (por ejemplo de presencia o ansiedad para terapia psicológica) (Usoh, et al., 2000), cuestionarios particularizados (por ejemplo indicar las dimensiones de un espacio o el grado de preferencia) (de Kort, et al., 2003) o ejecución de tareas (midiendo errores o tiempos de ejecución) (Heydarian, Carneiro, Gerber y Becerik-Gerber, 2015). Muy pocos estudios comparan la respuesta psicofisiológica de los participantes (Stone, 2015).

Los ámbitos a los que se suelen circunscribir estos estudios comparativos son la rehabilitación motora (Booth, et al., 2014; Darekar, et al., 2015; Edmans, et al., 2006), entrenamiento quirúrgico (Ioannou, Kazmierczak y Stern, 2015; Mishra, et al., 2010), terapia psicológica (Botella, García-Palacios y Villa, 2007; Powers y Emmelkamp, 2008), estudios sobre la cognición (Kelly, 2006; Cockburn y McKenzie, 2002) y el comportamiento humano (Lessels y Ruddle, 2005; Slater, et al., 2000) y la arquitectura o el estudio de percepción de espacios.

Vale la pena analizar con un poco más de detalle los estudios que han comparado real frente a virtual en el ámbito de la arquitectura.

Henry y Furness (Henry y Furness, 1993) comparan la respuesta de 24 arquitectos ante distintas tareas a realizar en unas salas del Henry Art Museum de la Universidad de Washington. Se comparan tres grados de inmersión virtual (pantalla, HMD sin tracking de cabeza y HMD con tracking de cabeza) frente a real. Se pide a los participantes estimar alto, ancho y largo de tres salas, esbozar un croquis de los espacios e indicar la posición de diversos objetos. Se observa, en general, una infraestimación de dimensiones. La simulación mediante HMD con tracking de cabeza obtiene la mayor similitud con el espacio físico.

De Kort et al. (2003) analiza la respuesta cognitiva ante espacios arquitectónicos. 101 estudiantes visitan de forma real o virtual (mediante retroproyección y joystick) el hall de un edificio público. Se les pasa un cuestionario de valoración afectiva de 29 ítems, se les pregunta sobre estimación de alturas y colores, otros posibles usos y se les pide dibujar un plano. Aunque no se encuentran diferencias significativas en la estimación de alturas o colores, aquellos que vieron el espacio real sí que puntúan mejor en la estimación de posibles usos y la elaboración del plano.

Westerdahl et al. (2006) usan un entorno virtual estereoscópico proyectado en powerwall para mostrar a 20 personas distintas opciones de diseño para su futuro edificio de oficinas. Además de valorar la opción preferida los participantes completan el test SMB de percepción del espacio de Kuller. Dos años después, algunos de los participantes valorarán el edificio ya construido, encontrándose un alto grado de similitud en las respuestas respecto al entorno virtual previo.

Heydarin et al. (2015) comparan tareas propias de oficina en condiciones de alta y baja iluminación en un entorno real y su simulación virtual mediante el HMD Oculus DK1 y control mediante wandtracker. Encuentran diferencias significativas entre alta y baja iluminación pero no entre realidad y entorno virtual. También encuentran altas puntuaciones en un test de presencia realizado en el entorno virtual.

Kuliga et al. (2015) analizan la respuesta afectiva de 20 estudiantes ante distintos espacios de un centro de congresos. Quienes vieron el entorno virtual lo hicieron en formato desktop con control por gamepad. Se evaluó mediante cuestionario con 36 ítems afectivos basados en el de de Kort (2003), cuestionario de presencia (Witmer y Singer, 1998), cuestionario de nivel de realismo y cuestionario general sobre la experiencia. Los 36 ítems afectivos se redujeron a 5 factores (Atmósfera, Legibilidad espacial, Privacidad, Calidez y Activación) y no se encontraron diferencias significativas entre real y virtual.

Como conclusión, aunque las simulaciones virtuales interactivas en primera persona en sus distintos grados de inmersión han demostrado una mayor sensación de presencia que otros medios de representación, como imágenes o videos, aún queda mucho camino por recorrer en la evaluación de la validez del uso de entornos virtuales.

Gran cantidad de estudios han quedado obsoletos con el paso de los años, debido a la rápida evolución de los sistemas de realidad virtual en fechas presentes. Los equipos actuales y venideros ofrecen un realismo no imaginado hace apenas una década.

Por otro lado, existe una importante carencia de estudios que comparen la respuesta del usuario a nivel de constantes fisiológicas (ritmo cardiaco, sudoración, respiración, actividad cerebral...).

De igual forma, tampoco existen estudios que evalúen la validez de la imagen (o video) panorámica 360°x180°, un formato reciente que está adquiriendo una gran popularidad con el auge de los HMDs. Situada en un término medio de interactividad (permite el giro de cabeza pero no el desplazamiento por el entorno), presenta dos grandes ventajas frente a la realidad virtual pura; una mayor facilidad de creación (vía fotografía o render) y un mayor fotorrealismo.

En este sentido, y por último, apuntar la existencia de un estudio de D. Juan Luis Higuera Trujillo, Carmen Llinares Millán y el autor, pendiente de publicación en el cual se han comparado fotografía, fotografía 360° y realidad virtual con la

experiencia en un espacio real, evaluando presencia, valoración psicométrica mediante cuestionarios validados y respuesta fisiológica con equipamiento clínico. Los resultados sugieren que la imagen 360º es el formato más válido a nivel psicométrico, la realidad virtual a nivel fisiológico y además estas respuestas correlacionan con la sensación de presencia.

CAPÍTULO 3 | MEDICIÓN DE LA RESPUESTA DEL USUARIO

“La función de la arquitectura debe resolver el problema material sin olvidarse de las necesidades espirituales del hombre”

Luis Barragán

La investigación científica de las emociones

El objetivo de la ciencia es adquirir conocimiento sobre los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza para explicarlos, predecirlos y controlarlos.

Este conocimiento científico se adquiere por la rigurosa aplicación del método científico. Es racional, metódico, sistemático, verificable y provisional. Se apoya en conocimientos científicos previos y se construye a partir de teorías y de investigación científica (Tamayo, 2003).

Durante la investigación científica en el marco del diseño centrado en el usuario vamos a encontrar dos dificultades. En primer lugar, la información que va a generar el conocimiento científico proviene principalmente de preguntar a un usuario no experto en el tema de estudio (Canter y Wools, 1970). En segundo lugar, y en contraposición a las ciencias exactas, nos vamos a enfrentar a la dificultad de volver empíricas cualidades subjetivas como sentimientos o emociones (Kals y Müller, 2012).

En los apartados posteriores se va a definir el concepto de emoción y se van a describir las distintas herramientas y técnicas existentes para registrar la respuesta emocional del usuario, diferenciando entre los métodos psicométricos, o basados en la respuesta consciente, y los psicofisiológicos, o basados en la respuesta orgánica.

Emoción y respuesta del usuario

Cabe apuntar aquí, sin entrar a profundizar, que *emoción* es un concepto extremadamente complejo (Ekman, 1999; LeDoux, 1998) cuya definición, génesis y alcance ha ido generando a lo largo de la historia muy diversas teorías y amplio debate (véase, por ejemplo; Lazarus, 1981). Así, se ha tratado su naturaleza innata o social (Ekman, 1972), su universalidad (Ekman y Friesen, 1971) o su origen fisiológico o cognitivo (Cannon, 1987).

Hoy en día se puede definir emoción como *“una experiencia afectiva en cierta medida agradable o desagradable, que supone una cualidad fenomenológica característica y que compromete tres sistemas de respuesta; cognitivo-subjetivo, conductual-expresivo y fisiológico-adaptativo”* (Chóliz, 2005).

Lo que sí es evidente es que la emoción es una reacción adaptativa y social al entorno que ejerce influencia en numerosos procesos cognitivos como la percepción (Bower, 1981), la atención (Carretié, et al., 2001), la memoria (Tapia, et al., 2008), la toma de decisiones (Balleine, Delgado y Hikosaka, 2007), o la preferencia (Zajonc, 1968).

Además, se sabe que el efecto emocional de estímulos no percibidos conscientemente, como pueda ser el entorno arquitectónico, ejerce una influencia constatable en la propia valoración del estado anímico de las personas (Öhman y Soares, 1998). O dicho de otro modo, la configuración atractiva o repulsiva de un espacio puede condicionar nuestro estado emocional en él, incluso aunque no prestemos atención consciente al entorno.

En cuanto a la clasificación de las emociones para su estudio, existen dos grandes líneas. Por un lado, la que propone su categorización en conjuntos de emociones básicas independientes, por ejemplo alegría, tristeza, miedo, sorpresa, ira y asco (Ekman, 1992), incluyendo los que además separan en emociones primarias o animales, de génesis directa por el sistema límbico (LeDoux, 1998), y emociones secundarias con intermediación cognitiva (Damasio, 1996).

Por otro lado, la que propone los distintos estados emocionales como puntos en un espacio multidimensional, principalmente a partir de los ejes *valencia* (emoción positiva o negativa) y *activación* (intensidad emocional) (Cacioppo, et al., 1993; Russell, Weiss y Mendelsohn, 1989) aunque, en ocasiones, añadiendo otras dimensiones (Mehrabian, 1996; Russell y Mehrabian, 1977).

Además, en cuanto a su duración, la emoción puede manifestarse de forma rápida como reacción puntual a un evento o de forma lenta como estado de ánimo que se prolonga en el tiempo, a partir de mecanismos cerebrales diferenciados pero no independientes (Carretié, 2011), ya que emociones puntuales pueden condicionar estados duraderos al igual que éstos pueden modular posteriores reacciones puntuales.

En los estudios desarrollados en la parte experimental de esta tesis que han tratado temas emocionales se ha considerado una clasificación dimensional y una respuesta puntual del usuario.

Herramientas de captación de la respuesta del usuario

En el ámbito de la psicología y ciencias sociales existen diversos métodos de obtener información de la conducta humana, cada uno con sus ventajas e inconvenientes, más o menos adecuados para cada estudio y casi todos ellos autoevaluados, es decir, que el sujeto responde consciente y libremente.

En una primera clasificación se pueden dividir en dos grandes grupos, métodos cualitativos y cuantitativos. Los cualitativos tienen una perspectiva holística, no suelen presentar variables definidas, ni posibilidad de medición, ni análisis estadístico, permiten descubrimientos imprevistos, el investigador suele tomar un papel participante y no suelen probar hipótesis, sino generarlas. Por el contrario, los cuantitativos son objetivos, presentan variables, las miden, las analizan estadísticamente y permiten inferencias (Sommer y Sommer, 1986).

Normalmente, para obtener un conocimiento global de la situación se aborda el estudio mediante diferentes técnicas, lo que se conoce como "*operaciones convergentes*" (Webb, 1981).

De todos los métodos disponibles, los más utilizados son la observación, la entrevista, el cuestionario, la escala de evaluación y el experimento, que se describirán a continuación.

Además, es habitual que los métodos se solapen de tal manera que un cuestionario se construya a través de datos recogidos mediante entrevistas, y éstas a partir de observación del comportamiento de los usuarios en un entorno.

La observación

Es un método de investigación cualitativa muy adecuado para estudiar comportamientos habituales no verbales donde el sujeto no es consciente de cómo actúa (Sommer y Sommer, 1986).

La observación casual, sin categorías establecidas ni sistemas de registro, tiene su utilidad en las primeras fases de investigación o complementando otros

procedimientos. No es el más sistemático pero a veces es el único disponible. Se suelen tomar notas de campo el mismo día para evitar olvidos o matices en las impresiones.

La observación sistemática emplea técnicas de registro, categorías preestablecidas, y listas de verificación (por ejemplo, para contajes). Para aumentar la confiabilidad suelen utilizarse dos observadores simultáneos, comparando posteriormente sus notas. Una observación casual previa puede servir para definir las categorías usadas aquí.

La etnografía es aquella en la que el observador se relaciona con los sujetos, se presenta como científico y puede realizar entrevistas, etc.

Y la observación participante es aquella en la cual el observador es parte de los sujetos de estudio. Sus notas carecen de confiabilidad (el investigador puede “volverse local”).

El trazado de mapas

Existen dos métodos basados en mapas para estudiar la relación de la gente con su entorno, los mapas conductuales y los mapas cognitivos (Kaplan, 1973).

Los mapas conductuales son planos del espacio con la localización y movimientos de las personas, muestran dónde se mueven y qué comportamientos tienen los usuarios, que pueden ser distintos a los esperados cuando se planeó un espacio. Se utilizan en psicología ambiental y planeamiento urbano. Éstos pueden ser:

- **Centrados en el espacio:** Se traza un plano con las características arquitectónicas y ambientales, una lista de conductas a analizar con símbolos para cada una de ellas y se realiza la observación del escenario y registro de datos en horarios determinados (por ejemplo, mapa de uso de una plaza).

- Centrados en el individuo: El sujeto ha de ser consciente y aceptar que se le siga, manteniendo la confidencialidad. Hace falta un periodo de tiempo para que el sujeto se acostumbre. Se utilizan en estudios de consumo.

Los mapas cognitivos son las representaciones mentales de lugares por parte del usuario, y pueden diferir mucho de la realidad física. Estas diferencias revelan mucho sobre cómo comprende el espacio el sujeto. Se suele pedir que se dibuje un croquis de un área determinada indicando las características principales o importantes o se aporta un plano general y se solicita que se dibujen los detalles. Este método es particularmente útil para entender la comprensión del espacio de los niños.

La entrevista

La entrevista es una conversación con cierto propósito (Taylor y Bodgan, 1987). Es un método cualitativo que permite explorar sentimientos y actitudes complejas y en profundidad, así como ahondar en algunos puntos de forma más particularizada que con cuestionarios u otro tipo de métodos.

Atendiendo al canal por el que se obtiene la información puede ser presencial, en la calle, telefónica, y en cuanto a su estructura puede ser libre, semiestructurada, o estructurada. Suele requerir la categorización de las distintas ideas expresadas para facilitar su análisis y permite ser grabada para su posterior transcripción y estudio.

La entrevista estructurada a partir de preguntas preestablecidas permite el trabajo conjunto con información de diversos sujetos, mientras que la poco o nada estructurada permite obtener información inesperada de interés (un ejemplo puede verse en el apartado "*Un caso de diseño centrado en el usuario*").

Por otro lado, la principal limitación de la entrevista es que los participantes tienden a contestar lo socialmente correcto cuando se encuentran interrogados por un desconocido, de tal manera que pueden omitir conscientemente información relevante.

El focus group

Es un tipo de entrevista grupal que se enfoca en un tema concreto (Grabowski, Massey y Wallace, 1992). Puede ser usado tanto durante la fase inicial de diseño para obtener las necesidades de los usuarios como para evaluar el resultado final de un proceso.

Su principal ventaja es que permite recopilar información de diversos participantes al mismo tiempo confrontando sus puntos de vista. La sinergia producida por la retroalimentación desde la experiencia de cada una de las partes ha demostrado aportar mejor información que mediante entrevistas aisladas (Kaplowitz y Hoehn, 2001).

Es recomendable que la sesión de *focus group* no tenga más de cinco participantes, además del moderador, para evitar subgrupos ni que dure más de dos horas. La elección del grupo puede variar dependiendo del tipo de información que se busque. Así, un grupo de usuarios (por ejemplo, pacientes de un hospital) puede ayudar a reconocer los requerimientos espaciales y un grupo de profesionales (por ejemplo, médicos y enfermeras) puede ayudar a evaluar soluciones de diseño.

Por otro lado, la capacidad del moderador de un *focus group* de manejar al grupo es decisiva para que, de una manera natural, se llegue a los objetivos pretendidos, evitando que el diálogo se enquistase en un punto, que la conversación se desvíe del tema a tratar, que algún participante acapare el protagonismo o ejerza presión sobre el grupo (Sharts-Hopko, 2001).

El cuestionario

Es el instrumento cuantitativo más ampliamente utilizado en Psicología Ambiental (Kals y Müller, 2012) ya que permite traducir variables empíricas en respuestas cuantificadas de modo rápido y eficaz. Como características principales destacan que es una herramienta que permite obtener la respuesta de grandes grupos (no se centra tanto en el individuo como en el grupo al que pertenece) y que, al utilizar un procedimiento unitario, facilita la cuantificación y la comparación de resultados.

Dos aspectos claves en el diseño de una investigación que vaya a utilizar cuestionario son la correcta definición de las variables a evaluar y la correcta selección de la muestra.

El cuestionario permite preguntas de respuesta abierta, de elección múltiple o cerradas, debiendo siempre ser lo más cortas y sencillas de comprender posible, presentándose de manera neutral y ordenándose de forma que la respuesta a una cuestión afecte en el resultado de la siguiente (para más información ver: Anguita, et al., 2003).

La escala de evaluación

Cuando un cuestionario permite cuantificar de forma graduada un constructo (una variable abstracta que no es directamente observable, como la inteligencia o el bienestar) se habla de escala de evaluación. Ésta puede medir un único constructo (escala unidimensional) o varios (escala multidimensional) a partir de sus distintas preguntas (Arribas, 2004).

Las escalas de evaluación deben ser validadas, es decir, se debe realizar una evaluación de la aptitud de sus propiedades métricas asegurando que aportan resultados válidos y fiables (Anguita, et al., 2003).

Cabe aquí definir *validez* como el grado en que produce información creíble. La *validez interna* indica en qué grado mide lo que supuestamente debe medir y la *validez externa* mide en qué grado es generalizable un resultado.

Por otro lado, la *fiabilidad* indica en qué grado mide con precisión, sin error. La *fiabilidad* se valora a través de la *consistencia*, o grado de homogeneidad entre los diferentes ítems, y la *estabilidad temporal*, o concordancia en las respuestas de una misma muestra en distintas ocasiones.

El experimento

El experimento es el proceso diseñado especialmente para confirmar o desmentir una relación causal (hipótesis) eliminando, en la medida de lo posible, cualquier efecto producido por elementos ajenos al estudio (Sommer y Sommer, 1986).

El objeto del experimento es comprobar, para una muestra, el efecto producido en una, o varias, variables de estudio al modificar de forma controlada una, o varias, variables independientes.

Existen varios conceptos fundamentales que deben ser definidos (Field, 2005):

- **Contraste de hipótesis:** es un procedimiento para comprobar si una propiedad que se supone en una población estadística es compatible con lo observado en una muestra de dicha población.
 - **Hipótesis nula (H_0):** es una proposición no sujeta a contraste empírico que se plantea como explicación a una circunstancia y que es generalmente aceptada a menos que nuevos datos parezcan evidenciar que es falsa.
 - **Hipótesis alternativa (H_1):** es una proposición alternativa a la hipótesis nula que plantea el investigador y que, en caso de ser corroborada mediante el método científico, permite rechazar la hipótesis nula.
 - **Error de tipo I: o falso positivo,** es el error que se comete cuando el investigador no acepta la hipótesis nula siendo ésta verdadera en la población. Se relaciona con el nivel de significación estadística.
 - **Error de tipo II: o falso negativo,** es el error que se comete cuando el investigador acepta la hipótesis nula siendo ésta falsa en la población. Se relaciona con el nivel de poder estadístico.
- **Muestra:** es el subconjunto de casos o individuos que representan a la población con la que se quiere contrastar la hipótesis, por imposibilidad material de estudiar a toda la población.

Para que la muestra sea efectivamente representativa deben escogerse un tamaño muestral y una técnica de muestreo adecuadas que permitan inferir los resultados extraídos de ella a la población objeto de estudio con un margen de error aceptable.

- Variable: es una propiedad cuantificable cuyo valor puede fluctuar y ser medido.
 - Variable independiente: es aquella cuyo valor no depende de otra variable. A nivel experimental, se denomina así a la que, según la hipótesis de investigación, se presupone causa del fenómeno estudiado y es modificada de forma controlada por el examinador para estudiar variaciones en dicho fenómeno.
 - Variable dependiente: Es aquella que se presupone depende de los valores de otra variable. A nivel experimental, se denomina así a la que, según la hipótesis de investigación, se presupone que va a ser influida por modificaciones en la variable independiente.
 - Variable cuantitativa: Aquella variable (dependiente o independiente) que toma valores numéricos, sean estos discretos o continuos.
 - Variable cualitativa: Aquella variable (dependiente o independiente) que toma valores no numéricos.
 - Variable extraña: cualquier otro factor variable no considerado y se ha de intentar eliminar o mantener constante durante el experimento para que no afecte a los resultados. Pueden surgir de diversas fuentes; de los sujetos de estudio, del investigador, del estímulo, de los materiales utilizados...

En cualquier caso, el proceso de aleatorización es crucial. Tiene como objeto que el investigador no seleccione los sujetos en los grupos que se comparan y que los factores de confusión se distribuyan por igual en los distintos grupos de estudio.

Dos aspectos relevantes a la hora de minimizar los sesgos en el experimento en el ámbito clínico, donde se persigue comprobar la eficacia de un tratamiento son el

uso de grupo de control, que es aquel que no recibe tratamiento y de método ciego o doble ciego.

En el caso del experimento en el ámbito de la Psicología Ambiental hay que advertir que, en muchas ocasiones no es posible utilizar ensayos ciegos ni grupos de control, debido a la casuística de los experimentos. Si, por ejemplo, se compara el efecto de la presencia de luz natural y vistas a la naturaleza en el estado de ánimo y la recuperación de un paciente hospitalizado frente a su ausencia (por ejemplo, Ulrich, 1984), no sólo es imposible que el sujeto no sea consciente de si disfruta, o no, de vistas a la naturaleza, es que, además resulta complicado definir cuál es el control ¿una habitación sin vistas o sin ventana?.

Por último, respecto a los resultados experimentales, hay que matizar dos puntos. Por un lado, que demostrar una causa probable para un efecto no elimina otras causas posibles (Simon y A., 1954). Por otro lado, que la limitación principal del experimento es que se aleja de la realidad al ser realizada en condiciones de laboratorio (Bell, et al., 2001).

Para eliminar este último problema, la psicología ambiental, como se vio en el capítulo anterior, ha prestado siempre especial atención a los distintos sistemas de simulación disponibles en cada momento.

Métodos de captación de la opinión del usuario

Dentro del ámbito del *diseño centrado en el usuario* se han desarrollado una serie de técnicas o métodos orientados a identificar las expectativas y deseos de éste (Dahan y Hauser, 2001). Entre ellos figuran como los más utilizados el modelo de Kano, el Análisis Conjunto, el método de Pugh, el Despliegue de la función Calidad o la Ingeniería Kansei (Agost y Vergara, 2010). Y entre estos, destaca la Ingeniería Kansei al ser la única capaz de captar la parte subjetiva o emocional.

Ingeniería Kansei

Concepto

Kansei es una palabra japonesa que podría traducirse como *sentimiento psicológico*. Etimológicamente, el término se divide en *kan* (sensación) y *sei* (sensibilidad) y se refiere a las cualidades de un producto para transmitir emociones placenteras en su uso.

La Ingeniería Kansei, o Ingeniería Emocional, es una metodología de diseño desarrollada en la década de los 1970 por Mitsuo Nagamachi del *Kure Institute of Technology* (Hiroshima, Japón) para encontrar las relaciones existentes entre los distintos parámetros de diseño que definen un producto, la percepción emocional que un usuario tiene de dicho producto, según su propio lenguaje, y su valoración final (Nagamachi, 1995).

La principal ventaja que aporta la *Ingeniería Kansei* frente a otras técnicas de análisis de preferencias como el *Quality Function Deployment*, que permite identificar las relaciones entre las necesidades funcionales del consumidor y las características técnicas (Akao y Mazur, 2003), o el *Análisis Conjunto*, que proporciona información de las características del producto que son más importantes para el consumidor (Green y Srinivasan, 1990), es que establece un marco adecuado para trabajar con atributos simbólicos y percepciones de los usuarios, expresadas en su propio lenguaje (Schütte, et al., 2004).

Metodología

El procedimiento Kansei (Schütte, et al., 2004) consta de dos fases.

En la primera fase se identifican y cuantifican las percepciones de un producto por parte de los usuarios. Esto implica tres etapas:

- Crear un espacio Semántico: recogiendo todas las expresiones relativas al concepto de diseño a evaluar, que pueden ser cientos, a partir de diccionarios, literatura específica, etc. y se reducen a un número manejable (veinte a cuarenta) mediante algún método como el Diagrama de afinidad (AD) (Terninko, 1997).
- Crear un espacio de Propiedades: a partir de una amplia muestra de modelos del producto objeto de estudio, buscando que abarquen el más completo espectro de formas y soluciones posible.
- Vincular el espacio Semántico con el espacio de Propiedades, de tal manera que se muestren las relaciones entre elementos de diseño y respuestas semánticas: Por ejemplo, evaluando el producto mediante Semántica Diferencial (SD) (Osgood, 1952) y obteniendo dimensiones afectivas independientes mediante Análisis Factorial (FA) (Osgood y Suci, 1955).

En la segunda fase, y una vez obtenidas las dimensiones afectivas que definen un producto concreto para un usuario concreto, se pueden evaluar variaciones de un aspecto concreto de diseño del producto de tal forma que permita vincular criterios de diseño con los factores afectivos subyacentes y la valoración final del usuario. Para ello se pueden utilizar diversas técnicas estadísticas como las correlaciones (Huang, Chen y Khoo, 2012), la Teoría Cuantitativa Tipo I de Hayashi (Matsubara y Nagamachi, 1997) o las redes neuronales (Ishihara, et al., 1997).

Ámbito de aplicación

Son muy numerosas las aplicaciones de la Ingeniería Kansei en diversos ámbitos del diseño industrial y de producto.

Así, se encuentran aplicaciones en la industria del automóvil (Nagamachi, 1995; Jindo y Hirasago, 1997), en el campo de la telefonía (Hsu, Chuang y Chang, 2000), del calzado (Alcántara, et al., 2005), de vasos (Petiot y Yannou, 2004), de dispositivos electrónicos (Chuang y Ma, 2001), de cámaras (Yang, 2011), de zapatillas deportivas (Wang, et al., 2016), de wearables (Lin, Chien y Kerh, 2016), de mobiliario (Wan y Toppinen, 2016), de herramientas (Mondragón, Company y Vergara, 2005) o de páginas web (Lokman y Nagamachi, 2009).

En el ámbito de la arquitectura, aún siendo escaso, comienza a crecer el número de estudios existentes. De esta forma, encontramos trabajos centrados en productos de la construcción, como cocinas (Matsubara y Nagamachi, 1997) o azulejos cerámicos (Agost y Vergara, 2014), o en elementos arquitectónicos, como fachadas (Nagasawa, 1995; Kinoshita, et al., 2004; Sendai, 2011), jardines (Matsubara, et al., 2011) o espacios interiores (Mariah, Harun y Ibrahim, 2009).

Cabe hacer especial mención a la producción científica en el ámbito de la aplicación de Kansei a la arquitectura que está realizando el equipo de la Dra. Llinares de la Universidad Politécnica de Valencia, pioneros a nivel internacional.

Así, han aplicado Kansei a promociones inmobiliarias, obteniendo relaciones entre la respuesta emocional y la intención de compra (Llinares y Page, 2007), utilizando por primera vez la Ingeniería Kansei en conjunción con el Modelo de Kano de satisfacción del cliente (Llinares y Page, 2011) y correlacionando parámetros de diseño con sensaciones de los usuarios (Montañana, 2009).

A escala urbana han evaluado las emociones que determinan la elección de barrio (Llinares y Page, 2008), analizando las diferencias producidas entre arquitectos y no arquitectos (Llinares, Montañana, Navarro, et al., 2011).

Sus trabajos en interiores han tratado la percepción de la calidad acústica en auditorios (Galiana, Llinares y Page, 2012; Galiana, Llinares y Page, 2016), la

sensación de confort en bibliotecas (Llinares, Montañana, Fernandez, et al., 2011), la iluminación de espacios docentes (Castilla, Llinares y Blanca, 2016; Castilla, 2015) o los factores que influyen en la valoración de salas pediátricas y neonatales.

También han estudiado la respuesta del observador ante el render arquitectónico (Iñarra, 2014; Iñarra, Juan y Llinares, 2013), encontrando diferencias entre arquitectos y no arquitectos (Llinares y Iñarra, 2014).

Sus últimos esfuerzos se centran en la aplicación conjunta de Ingeniería Kansei, Realidad Virtual y medición psicofisiológica para el diseño de espacios arquitectónicos (Llinares, et al., 2014).

Medición psicofisiológica

La respuesta cognitivo-emocional del ser humano es producida por la actividad cerebral. A su vez, esta actividad cerebral, a través del sistema nervioso autónomo, provoca ciertos cambios corporales a nivel electroquímico (variación de la actividad cardíaca, de la respiración, de la sudoración, de la actividad muscular...). Estos cambios fisiológicos pueden ser registrados con el instrumental adecuado (Kreibig, 2010).

De esta manera, las señales fisiológicas moduladas por la actividad cerebral como respuesta ante eventos externos pueden ser un complemento a las técnicas utilizadas tradicionalmente en psicología, y basadas principalmente en auto-registros, con objeto de entender de una manera más completa el comportamiento del ser humano.

La estructura del cerebro

El cerebro humano es posiblemente la estructura más compleja conocida por el hombre, contenida en una masa de aproximadamente un kilo y medio, y cuyo objeto parece ser mantenernos con vida y en constante contacto con el medio (Mora, 2005).

A nivel evolutivo y funcional, Paul MacLean propuso en 1970 su teoría del cerebro *triúnico*, según la cual nuestro cerebro se compone de tres cerebros organizados anatómicamente como capas de una cebolla. En su nivel más interno y antiguo, el cerebro reptiliano, que comprendería el tallo cerebral y el encéfalo, regularía los elementos básicos de supervivencia como la homeostasis y las funciones autonómicas. En un nivel intermedio, el cerebro paleomamífero, incluiría la amígdala, el hipotálamo y el hipocampo, correspondiendo con lo que hoy se llama sistema límbico y se sabe que regula tanto las emociones e instintos como la actividad fisiológica y endocrina. En su nivel más externo y joven, el cerebro neomamífero, o neocortex, formado por un manto de células de color gris (la *materia gris*) de un metro cuadrado y unos dos a cinco milímetros de espesor

plegado a base de giros y surcos para caber dentro del cráneo (constituye el 75% del volumen del cerebro), es el responsable del pensamiento avanzado, la resolución de problemas, la razón, la autoreflexión y el habla.

Aunque esta división tiene un valor más pedagógico que anatómico, respecto al cerebro animal, si que se sabe que el cerebro humano (principalmente el neocortex y sus áreas asociativas) ha experimentado dos grandes saltos evolutivos y en cuanto a tamaño desde el cerebro primate (*Homo erectus* y *Homo sapiens*) debido a la interacción con el entorno y especialmente gracias al desarrollo de la cultura y el lenguaje (Rubia, 2000).

El cerebro sólo es una parte del sistema nervioso. Éste, junto al cerebelo, el bulbo raquídeo y la médula espinal forman el sistema nervioso central. Y a éste se le incorpora el sistema nervioso periférico compuesto por toda la red de nervios que conectan con el resto del organismo.

A nivel estructural, el cerebro se compone de dos hemisferios conectados por el cuerpo caloso y divididos a su vez, mediante surcos, en cuatro lóbulos (frontal, temporal, parietal y occipital) y 52 áreas de Brodmann. Estas divisiones anatómicas son artificiales, ya que el cerebro está completamente interconectado entre sí y funciona como un todo (Figura 11).

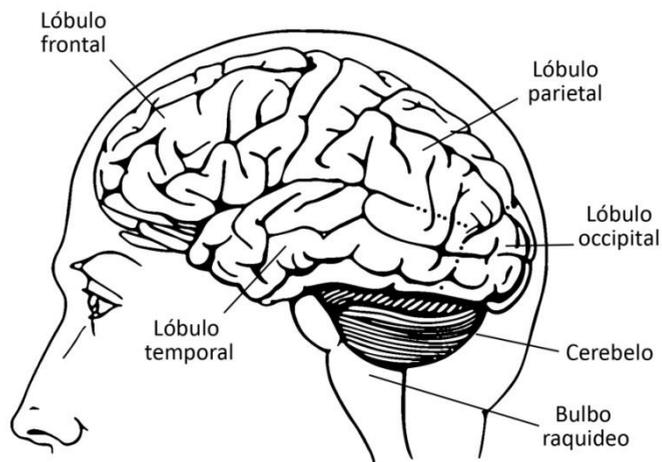


Figura 11. El cerebro y los lóbulos cerebrales.

Respecto la corteza cerebral exterior, resumidamente puede decirse que el lóbulo frontal procesa las funciones motoras, ejecutivas y la conducta social, el temporal la audición, el lenguaje, el equilibrio y la memoria a largo plazo, el parietal las sensaciones (excepto el olfato) y el occipital la visión.

Bajo la corteza cerebral, se encuentra el sistema límbico, compuesto por el tálamo, encargado de la distribución de estímulos sensoriales, el hipotálamo, que se ocupa del metabolismo, la regulación de la temperatura, las conductas instintivas y del control del sistema nervioso autónomo, la amígdala, implicada en la evaluación del significado emocional de los estímulos y a la memoria implícita emocional, y el hipocampo, dedicado a la memoria explícita y espacial y a la orientación.

El sistema nervioso posee unas 100.000.000.000 células nerviosas o neuronas, conectadas de media, cada una de ellas, a otras 10.000 neuronas de muy diferentes formas y tamaños, pero todas estructura arborescente. Así, la neurona tipo se compone de un núcleo o soma, un axón o emisor a modo de tronco y una cantidad de dendritas o receptores, a modo de ramas y hojas (Figura 12).

Cada neurona, como demostró Ramón y Cajal, es una *“individualidad morfológica”* comunicada a otras tantas neuronas gracias un doble proceso eléctrico y químico. Por un lado, una neurona excitada genera un potencial eléctrico que se transmite por el axón hasta las conexiones sinápticas con las neuronas vecinas. Allí, el potencial activa diversas sustancias químicas, los neurotransmisores, que excitan o inhiben a las dendritas de las células vecinas (Rubia, 2000).

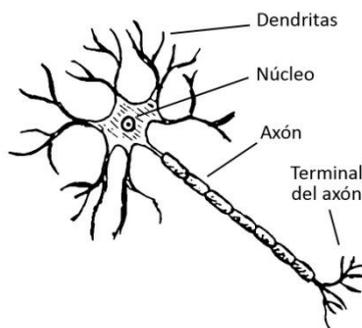


Figura 12. Neurona.

Además de la comunicación interna, existen neuronas especializadas que presentan relaciones aferentes y eferentes de comunicación con el resto del organismo y, a partir de éste, con el medio. De este modo, algunas neuronas, llamadas sensoriales, captan los diferentes estímulos a través de receptores especializados y, por otro lado, otras neuronas, llamadas motoras, controlan la actividad muscular (Carretié, 2011).

Modularidad de la actividad cerebral

Uno de los primeros grandes debates científicos surgidos en el estudio del funcionamiento del cerebro enfrentó la teoría de la modularidad cerebral (distintas áreas del cerebro se ocupan de distintas funciones) y la del procesamiento distribuido (todo el cerebro se ocupa de todas las funciones).

Ya en 1800 la *frenología* de Franz Joseph Gall defendía una especie de modularidad según la cual a partir de la forma y las protuberancias de la cabeza era posible estimar la personalidad del sujeto. Aunque es considerada hoy en día una pseudociencia, no deja atribuírsele un cierto mérito a Gall por dos motivos; proponer que el cerebro es el órgano de la mente y plantear que ciertas funciones cognitivas puedan estar localizadas (Rubia, 2000).

En 1861, Paul Broca respaldó experimentalmente la teoría de la modularidad cerebral al vincular casos de afasia (incapacidad de hablar) con lesiones concretas de la tercera circunvolución del lóbulo frontal, también llamada *área de Broca* (Broca, 1861). Y, ya en la segunda mitad del siglo XX, Wilder Penfield, logró cartografiar mapas sensoriales y motores cerebrales, conocidos coloquialmente como homúnculos (Figura 13), tras estimular con electrodos el cerebro descubierto de pacientes de epilepsia severa previo a la eliminación de las zonas dañadas (Finger, 2001).

Más allá del simplista mito según el cual el hemisferio derecho es el creativo y el izquierdo el lógico, en la actualidad se sabe que la modularidad cerebral es un hecho. De esta forma, no sólo cada área o lóbulo cerebral tiene unas funciones más

o menos específicas (como se indicó anteriormente) sino que, además, las cortezas sensorial y motora de un hemisferio procesan y controlan el lado contrario del cuerpo, es decir, el hemisferio izquierdo siente y mueve la mano derecha y viceversa. Este hecho se produce incluso en cuanto a la visión donde, curiosamente, debido al cruce de fibras nerviosas en el quiasma óptico, cada hemisferio percibe la mitad opuesta del campo de visión de ambos ojos.

Sin embargo, la organización espacial de las distintas funciones mentales es un fenómeno complejo en el que una gran cantidad de áreas se encuentran implicadas en una gran cantidad de procesos de forma relativamente equilibrada. Así, por un lado ciertas funciones activan varias áreas al mismo tiempo y por otro ciertas áreas se encargan de diferentes funciones en principio independientes. Por otro lado, ciertas funciones pueden no estar ubicadas en el mismo lugar en distintas personas (por ejemplo, el lenguaje se ubica en el hemisferio izquierdo en el 90% de las personas) e incluso en caso de *hemisferectomía* (extracción completa de un hemisferio cerebral) en niños, gracias a la plasticidad neuronal, el hemisferio intacto puede ser capaz de desarrollar con normalidad las diversas funciones cognitivas en la edad adulta (Pulsifer, et al., 2004).

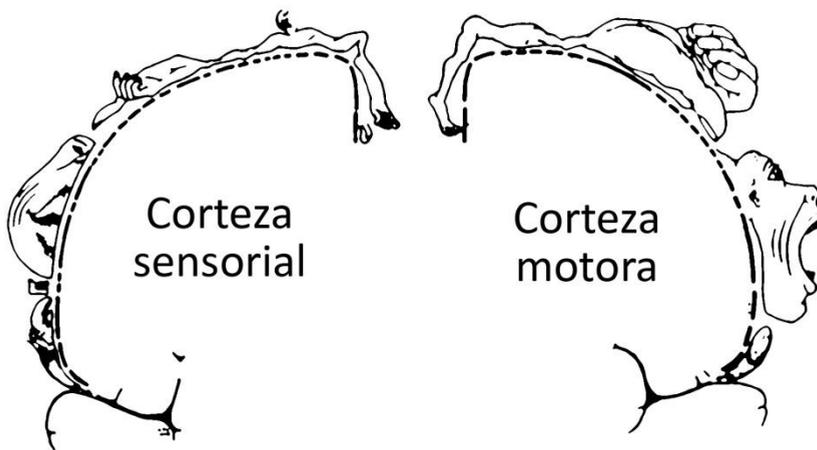


Figura 13. Homúnculos sensorial y motor.

Medida directa, indirecta y comportamental de la actividad cerebral

El cerebro presenta un ritmo prácticamente constante de actividad electroquímica tanto durante la vigilia como durante el sueño, incluso en ausencia de estímulos, (Carretié, 2011) y, por otro lado, también responde ante acontecimientos discretos. Estas dos componentes de la actividad cerebral se han denominado niveles tónicos y fásicos, y pueden ser registrados por el instrumental adecuado de diversas maneras.

Por un lado están las señales cerebrales directas, que se pueden obtener a partir de la actividad eléctrica o de las variaciones hemodinámicas que se producen durante la activación de las neuronas.

Por otro lado, la actividad cerebral, a través del sistema nervioso autónomo, modula una serie de aspectos periféricos como la sudoración, el ritmo cardiaco o la dilatación pupilar. Su registro implica una medida indirecta de la actividad cerebral que, a veces proporciona mejor información que la propia señal cerebral (por ejemplo del nivel de activación) (Kreibig, 2010).

El sistema nervioso autónomo está controlado por zonas del cerebro relacionadas con la emoción (la amígdala, la corteza insular y la corteza prefrontal ventral) y ejerce su actividad sobre glándulas y los sistemas vascular, digestivo, respiratorio y cardiaco sin control consciente de la persona (de ahí su nombre de autónomo). Se divide en sistema los nerviosos *simpático* y *parasimpático*, de actividad antagonista.

El sistema nervioso simpático nos prepara para la acción. Algunos efectos de la activación simpática son el aumento de la tasa cardiaca, la contracción de los vasos sanguíneos de ciertas zonas, la disminución de los procesos digestivos, el aumento de la sudoración o la liberación en sangre de adrenalina. El sistema nervioso parasimpático, por el contrario, se activa en estado de relajación aumentando los procesos digestivos, disminuyendo la tasa cardiaca, etc (Carretié, 2011).

Por último, ciertas reacciones motoras o comportamentales, como los gestos y expresiones, o el movimiento de los ojos, si bien no están gobernados de forma autónoma por el cerebro, sino de forma voluntaria por el sistema nervioso

sensoriomotor, también permiten obtener información indirecta de la actividad cerebral.

Como, se ha indicado, todos los músculos del cuerpo se encuentran conectados a dos tipos de neuronas, las eferentes, que provocan la contracción voluntaria de los grupos musculares mediante la liberación del neurotransmisor acetilcolina, y las aferentes, que retroalimentan información sobre el nivel de contracción muscular alcanzado (propiocepción). De esta manera, cualquier acción humana (mirar, hablar o pulsar un botón en un experimento), en su forma y tiempo, nos está aportando, en cierta manera, información cerebral.

Las tecnologías más populares dentro de estas líneas de investigación son electroencefalografía (EEG), magnetoencefalografía (MEG), resonancia magnética funcional (RMf), respuesta galvánica de la piel (GSR), electrocardiografía (ECG) y variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) y eye-tracking (ET).

A continuación se explican las distintas tecnologías disponibles para registrar las señales fisiológicas del organismo.

Electroencefalografía

Supone un registro directo de la actividad eléctrica cerebral (Vecchiato, Tieri, et al., 2015).

La señal electroencefalográfica (EEG) es detectable en el cuero cabelludo a partir de la actividad eléctrica de distintas poblaciones neuronales. Es una señal con baja resolución espacial pero muy alta resolución temporal y se limita a la actividad cortical (la capa más cercana a la superficie).

Su registro se hace mediante la colocación de un número más o menos elevado de electrodos en el cuero cabelludo. Al tratarse de una señal muy débil, ésta debe amplificarse y, posteriormente, filtrarse de manera que se eliminen las interferencias producidas por campos electromagnéticos cercanos o por la actividad muscular del propio sujeto (parpadeos, latidos...).

Magnetoencefalografía

La señal magnetoencefalográfica (MEG) registra la componente magnética superficial de la actividad electromagnética de las neuronas (Streit, et al., 1999). Tiene una mayor resolución espacial que el EEG ya que los campos magnéticos cerebrales presentan menos interferencias que los eléctricos. El registro se hace mediante magnetómetros en salas con aislamiento magnético para eliminar las interferencias del exterior. Es una tecnología relativamente reciente y con un muy alto coste.

Resonancia magnética funcional

La imagen por resonancia magnética funcional (IRMf) es la técnica de registro de la actividad hemodinámica relacionada con el suministro metabólico a las neuronas activas más utilizada hoy en día, es decir, evalúa el riego sanguíneo que llega a cada área cerebral (Phan, et al., 2002). Sus ventajas principales son una alta resolución espacial y la capacidad de acceder a capas subcorticales. Sin embargo, su resolución temporal es menor al EEG y MEG.

Actividad Electro dérmica

La Actividad Electro dérmica (EDA) o respuesta galvánica de la piel (GSR) es un indicador de la activación del sistema nervioso simpático de los sujetos relacionado con estados de activación emocional (Boucsein, 2012) y ha sido empleada desde hace más de un siglo como medida indirecta de la respuesta cerebral ante estímulos debido a su relativa sencillez técnica (Carretié, 2011).

El método consiste en hacer circular una pequeña corriente eléctrica por la piel del sujeto entre dos electrodos y registrar la variabilidad de la conductancia eléctrica debido a la sudoración. Las glándulas sudoríparas ecrinas, activadas por el cerebro en situaciones de activación, estrés o alerta, y presentes en gran número en la zona

de las palmas de las manos y de los pies, reaccionan de forma muy activa y dinámica ante estímulos del entorno.

La actividad electrodérmica se suele descomponer en dos medidas (Dawson, Schell y Fillion, 2000), la tónica, o *skin conductance level* (SCL) que es bastante estable y refiere al nivel basal de conductancia y a las respuesta inespecíficas, y la fásica, o *skin conductance response* (SCR) de variabilidad más rápida que la anterior y que refiere a los aumentos de conductancia y recuperación posterior debidos a la respuesta ante estímulos puntuales.

Entre las principales ventajas del estudio de la respuesta del usuario mediante la medición de la respuesta galvánica de la piel frente a las tecnologías anteriormente descritas incluyen el uso de instrumental con un coste claramente inferior y una mayor facilidad a la hora de manipular e interpretar la información. Esto debido tanto a la mayor sencillez de la señal registrada como a su mayor antigüedad como técnica, lo cual ha permitido ir consolidando el conocimiento sobre la misma.

Variabilidad de la frecuencia cardiaca

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

La frecuencia cardiaca se puede medir mediante electrocardiografía o mediante pletismografía. La electrocardiografía (ECG) es la representación de la actividad bioeléctrica de los músculos cardiacos. La pletismografía es la medición de cambios de presión y volumen del órgano. El fotopletismógrafo es un dispositivo que consta de un diodo emisor de luz y un fotoreceptor que se ubican en lados opuestos del dedo o la muñeca del sujeto y, a partir de las pequeñas fluctuaciones de la luz que

atraviesa el cuerpo, permite estimar el volumen el flujo sanguíneo de venas y arterias subcutáneas.

La variación del ritmo cardiaco a lo largo del tiempo (*heart rate variability* o HRV) ha demostrado en diversos estudios tener una relación con los sistemas simpático y parasimpático y, a través de ellos, con la actividad cognitiva (Mann, et al., 2015) y emocional (Rantanen, et al., 2010; Rantanen, et al., 2013; Kreibig, 2010).

Las variables de estudio de la HRV pueden ser divididas en dos grupos. Por un lado las que estudian el dominio del tiempo, entre las que se incluyen:

Promedio R-R (ms): es la media entre intervalos R-R o latidos.

- SDNN (ms): desviación estándar de los intervalos R-R. Muestra la variación de tiempos entre latidos.
- pNN50 (%): es el porcentaje del número de intervalos adyacentes que varían más de 50ms.
- rMSSD (ms): es la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos. Es un indicador del control cardiaco vagal (sistema parasimpático).

Por otro lado, las que estudian el dominio de la frecuencia, entre las que destacan:

- Baja frecuencia (LF): frecuencias alrededor de 0.04-0.15 Hz. El poder de producción en la LF depende del tono simpático a causa de la actividad de los vagoreceptores. Aunque no existe consenso claro, se le supone una relación con el sistema simpático (Billman, 2013).
- Alta frecuencia (HF): frecuencias alrededor de 0.15 a 0.4 Hz, dependiendo de la frecuencia respiratoria. Existe amplio consenso de que refleja la actividad cardiaca parasimpática (Billman, 2013), responsable de mantener un estado de descanso (McCorry, 2007). De esta manera, se considera que mayores valores de la franja HF del HRV se relacionan con estados de mayor relajación o menor estrés.

- Relación LF/HF: basado en las relaciones con los sistemas simpático y parasimpático de sus componentes, se ha propuesto como un indicador de la variación entre ambos sistemas (Billman, 2013).

Eye tracking

Aunque creamos que nuestro sistema visual aporta información amplia y exacta del entorno, el área de visión de precisión y correctamente enfocada abarca unos pocos grados (la fovea), siendo el resto del espacio percibido de forma más o menos borrosa e indeterminada. Además, se ha estimado que el nervio óptico tiene una capacidad de transmisión de información de apenas un megapíxel. Esta es la resolución real que llega a nuestro cerebro (Martinez-Conde, Macknik y Hubel, 2004).

Por ello, el mecanismo que tenemos para recrear una imagen completa y precisa del espacio es el movimiento rápido del ojo, barriendo y mapeando constantemente a nuestro alrededor. Este movimiento se denomina sacádico.

El seguimiento del recorrido de la mirada ante estímulos ha sido utilizado en investigación sobre percepción (Massaro, et al., 2012), psicología (Mele y Federici, 2012), marketing (Wedel y Pieters, 2008) o diseño (Goldberg, et al., 2002).

Desde los primeros métodos invasivos a partir de lentillas especiales con punteros de diversos tipos se ha evolucionado a sistemas informáticos no invasivos basados en el reflejo corneal de haces de luz infrarroja que facilitan una gran cantidad de información (Duchowski y T., 2003). Por ejemplo, pueden registrar tiempos de fijación en distintas áreas de interés, número de veces que se ha observado un punto, representación gráfica del recorrido de la mirada o las zonas más visitadas por grupos de usuarios.

Saber cómo miramos, qué miramos primero, qué miramos más, o cuánto tiempo detenemos la mirada en un punto, nos aporta información adicional sobre nuestra respuesta cognitiva y emocional ante estímulos.

En el caso del diseño centrado en el usuario permite conocer qué miró un sujeto cuando evaluó mejor o peor un producto, aportando pistas de qué elementos de diseño son importantes y cuáles deberían ser modificados. Por otro lado, mediante pruebas de ejecución de tareas nos puede aportar información de qué disposición de elementos facilitan la usabilidad (por ejemplo, durante la evaluación de una tienda online, se puede analizar cuánto tiempo tarda un usuario en realizar una compra y en qué puntos o momentos se “perdió” visualmente, de tal forma que ayude a redistribuir los elementos mostrados en pantalla).

En el campo del diseño arquitectónico se ha utilizado para evaluar cómo se miran los renders de los concursos de arquitectura, qué se visualiza en las propuestas ganadoras y qué diferencias existen entre arquitectos y no arquitectos (Llinares y Iñarra, 2014), o cómo mira el consumidor la información relativa a promociones inmobiliarias (de Juan, 2015; Sternberg y Wilson, 2006; De Lucio, et al., 1996).

Electromiografía facial

El análisis de la expresión facial ha sido objeto de estudio desde hace más de un siglo (Darwin, 1872) por su relación con la emoción (Ekman, 1999). A través del nervio facial, la amígdala controla los movimientos involuntarios y el *cortex motor* los voluntarios de los músculos faciales. Por ello, ante estímulos emocionales se activan una serie de microexpresiones de forma no controlada por las personas que la expresión fingida de dicha emoción no puede imitar.

La electromiografía (EMG) facial infiere el estado emocional de los sujetos a partir de la medición de la actividad eléctrica generada por los músculos, principalmente el *cigomático mayor* y el *corrugador superciliar*, mediante una serie de electrodos de bajo voltaje (Cacioppo, Tassinary y Fridlund, 1990).

Es un método preciso y no invasivo capaz de medir variaciones sutiles de la expresión cuyo principal inconveniente es la necesidad de disponer electrodos en el sujeto.

Existe consenso sobre su capacidad de predecir la valencia de la reacción ante estímulos (Brown y Schwartz, 1980; Larsen, Norris y Cacioppo, 2003; Lang, et al., 1993; Laparra-Hernández, et al., 2009).

Análisis visual automático de las expresiones faciales

La interpretación de expresiones faciales se ha realizado por parte de evaluadores muy entrenados a partir de clasificaciones estandarizadas como la *Facial Action Coding System* (Ekman y Friesen, 2013).

Con los avances en informática, visión artificial y *machine learning*, el campo de la interpretación de emociones automatizada por ordenador a partir de imágenes de rostros es un campo de investigación en auge, con resultados en los ámbitos tan dispares como la psicofisiología (Levenson, Ekman y Friesen, 1990), robótica (Bartlett, et al., 2003), telemedicina (Dai, et al., 2001), prevención de accidentes (Vural, et al., 2010) o marketing (Shergill, et al., 2008).

La técnica se basa en la captura de la imagen del rostro mediante cámaras digitales, la detección de la posición de puntos clave para la recreación virtual del mismo y la posterior clasificación respecto a bases de datos de expresiones previas a partir de la cual el sistema devuelve un resultado probabilístico sobre el estado emocional del rostro analizado.

Aplicación de la medición fisiológica en diseño y arquitectura

Como se adelantó en el capítulo anterior, el interés por aplicar el conocimiento neurocientífico a disciplinas ajenas ha propiciado el uso de tecnologías de medición fisiológica fuera del ámbito clínico. Así, se encuentran estudios que combinan métodos objetivos y subjetivos en diversos campos relacionados con la experiencia en entornos simulados (Kivikangas, et al., 2011).

En el campo del videojuego, entre otros, se ha correlacionado la respuesta cerebral con la sensación de presencia física en entornos 2D y 3D mediante EEG (Kober, Kurzmann y Neuper, 2012; Kober y Neuper, 2012), ECG y EDA (Slater, et al., 2009), así como con el nivel de activación emocional durante el juego en primera persona (Drachen, et al., 2010).

En el caso de la evaluación de espacios arquitectónicos, se ha estudiado mediante EEG y ECG la respuesta del usuario ante el color (Küller, Mikellides y Janssens, 2009) y la luz del entorno (Küller, et al., 2006).

El efecto relajante de la presencia de naturaleza se ha registrado mediante EMG, EEG, HRV (Chang y Chen, 2005; Chang, et al., 2008) y GSR (López-Tarruella, Higuera y Llinares, 2016b).

Ciertos factores afectivos del espacio, como el confort, el agrado o la familiaridad, también han podido ser correlacionados con respuestas corticales de los usuarios (Vecchiato, Tieri, et al., 2015; Vecchiato, Jelic, et al., 2015) mediante EEG.

De igual manera se ha podido aislar la respuesta fisiológica a elementos constructivos concretos, como puedan ser tipos de pavimento cerámico (Laparra-Hernández, et al., 2009) mediante EMG y GSR.

Por último, entre los últimos trabajos de este campo, destacan aquellos que han podido plasmar gráficamente el nivel de estrés del usuario en los distintos puntos del espacio a lo largo de su recorrido por un entorno arquitectónico visualizado mediante Realidad Virtual (Higuera, Marín, Rojas, López-Tarruella, et al., 2016; Higuera, Marín, Rojas y López-Tarruella, 2016).

SECCIÓN B | ESTUDIOS

La siguiente sección comprende seis estudios experimentales que tratan de dar respuesta a las distintas hipótesis planteadas, cada uno de ellos con su propia revisión del estado del arte adaptado a la experiencia, planteamiento de objetivos, desarrollo experimental, exposición de resultados y discusión final.

La Tabla 1 muestra el conjunto de experiencias realizadas. Las experiencias 2 a 5 recogen la parte fundamental de la presente memoria, todas ellas llevadas a cabo en el mismo espacio y siguiendo una secuencia metodológica. Los estudios 1 y 6 responden a cuestiones que han surgido de forma paralela durante las investigaciones y que nos ha parecido adecuado incluir.

	Objetivo	Estímulo	sistema de visualización	Muestra	Medida
1	Diferencias de valoración entre arquitectos y no arquitectos	180 imágenes de fachadas	imagen PC	419 participantes	cuestionario
2	Diferencias en comprensión espacial en función del sistema de presentación	Sala de lactancia	plano PC imagen 360º PC entorno virtual PC entorno virtual HMD	165 participantes	cuestionario
3	identificar factores afectivos de un espacio	20 imágenes de salas de lactancia	imagen PC	77 participantes	cuestionario
4	Evaluación afectiva de un espacio en función de su color	Sala de lactancia en 9 colores diferentes	imagen 360º HMD	106 participantes	cuestionario
5	Respuesta psicofisiológica a un espacio en función de su color	Sala de lactancia en 3 colores diferentes	imagen 360º HMD	20 participantes 60 visualizaciones	cuestionario Fisiológicas (EDA + HRV)
6	Respuesta psicofisiológica a un espacio en función de la presencia de naturaleza	30 interiores naturales 30 interiores artificiales	video PC	10 participantes	cuestionario Fisiológicas (EDA)

Figura 3 Cuadro resumen de los estudios desarrollados

ESTUDIO 1 | DIFERENCIAS EN PREFERENCIAS DE DISEÑO ENTRE ARQUITECTOS Y NO ARQUITECTOS

Introducción

Diferencias de valoración entre arquitectos y no arquitectos

Desde el primer trabajo sobre el tema (Hershberger, 1969), una gran cantidad de estudios ha ido corroborando que existen claras diferencias entre arquitectos y no arquitectos en cuanto a sus percepciones y preferencias arquitectónicas (Akalin, et al., 2009; Devlin, 1990; Devlin y Nasar, 1989; Fawcett, Ellingham y Platt, 2008; Ghomeshi y Jusan, 2013; Gifford, et al., 2000; Gifford, et al., 2002; Hubbard, 1996; Imamoglu, 2000).

Estas diferencias se producen incluso entre estudiantes de arquitectura de diversos cursos (Erdogan, et al., 2010; Wilson, 1996), por lo que se ha asumido que son debidas a la formación en aspectos estéticos y compositivos de los diseñadores. Es decir, sesgo por defecto profesional (Gardner y Berlyne, 1974; Wilson, 1996).

Así, se ha observado que la capacidad de abarcar en mayor grado las sutilezas y complejidades de la arquitectura en sus análisis por parte de los arquitectos tiene diversos efectos: En primer lugar, tienden a ser más críticos en sus valoraciones (Akalin, et al., 2009; Brown y Gifford, 2001). En segundo lugar, sus valoraciones tienden a ser más similares entre sí como colectivo (Wilson, 1996). Y en tercer lugar, la estructura conceptual o interpretación del objeto arquitectónico para llegar a estas valoraciones es distinta de la del no arquitecto (Devlin, 1990; Hubbard, 1996).

Además, esta diferencia es tal, que los arquitectos son incapaces de predecir la valoración estética de los no arquitectos sobre un diseño (Brown y Gifford, 2001; Nasar, 1989), tendiendo a ser demasiado optimistas respecto a la acogida que van a tener sus diseños entre el público profano (Fawcett, Ellingham y Platt, 2008).

Sin embargo, si el objetivo del arquitecto es crear diseños que no sólo le satisfagan a sí mismo y a otros compañeros, sino a la amplia mayoría, es esencial que

comprenda la forma de entender y valorar la arquitectura por parte de los no arquitectos.

Es esencial, además, porque el fruto de su trabajo, el edificio, se va a medir en mercados competitivos con otras opciones y su viabilidad final va a depender muchas veces de la demanda de un cliente (público o privado) no arquitecto.

El significado simbólico de la arquitectura y las preferencias

Como se ha anticipado, los arquitectos emplean estructuras conceptuales distintas a los no arquitectos para interpretar las características físicas y objetivas de una construcción y convertirlas en valoraciones (Devlin, 1990; Brown y Gifford, 2001). Es decir, la valoración arquitectónica es un constructo mental.

Al respecto, Rapoport (1982) clarificará que en los arquitectos priman las percepciones mientras que en los no arquitectos priman las asociaciones. Groat (1982) comprobará que los arquitectos tienden a clasificar los edificios bajo categorías del tipo “forma”, “estilo”, “calidad arquitectónica”, etc. mientras que los no arquitectos lo hacen en términos de “preferencia” y “tipo de edificio”. Devlin (1990) ratificará que la valoración del arquitecto es abstracta y conceptual frente a la del no arquitecto que es afectiva y descriptiva. Y Llinares e Iñarra (2014) manifestarán que, a la hora de valorar un proyecto, los arquitectos eligen el que aporta innovación mientras que los no arquitectos optan por el que transmite calidez.

Por otro lado, se sabe que la preferencia por ciertos diseños viene vinculada al significado simbólico que el evaluador asocia con el objeto percibido (Akalin, et al., 2009). Es decir, entre la percepción y la valoración final existe un proceso epistémico por el que se dota de cualidades afectivas al diseño.

De esta manera, ciertos conceptos, como la coherencia o la legibilidad (Stamps, 2004) o ciertas características de diseño, como el estilo (Nasar y Kang, 1999) o los materiales empleados (Sadalla y Sheets, 1993) confieren unos valores representativos a la obra construida que son evaluados en términos de respuesta

afectiva por el espectador traduciéndose en un cierto nivel de agrado o preferencia (Gifford, et al., 2000).

En este sentido, en cuanto a conceptos, la complejidad es uno de los atributos que más correlacionan con la preferencia estética (Imamoglu, 2000). Por ejemplo, los usuarios prefieren fachadas con un nivel de complejidad visual medio, frente a las muy, o muy poco, complejas (Akalin, et al., 2009; Stamps y Miller, 1993; Nasar y Hong, 1999). Y esta complejidad es percibida por el evaluador principalmente a partir del detalle más que a la complejidad de la forma global (Groat, 1982). Es decir, depende de la cantidad de ornamento, textura y relieve (Stamps, 1999b). Además, en términos generales, los no arquitectos tienden a considerar los diseños como más complejos (Imamoglu, 2000; Devlin y Nasar, 1989).

Igualmente, diversos estudios han evaluado la legibilidad de la arquitectura (Clinton y Devlin, 2011; Devlin, 2007; Maass, et al., 2000), concluyendo que una apariencia incoherente con el uso del edificio tiende a afectar negativamente en las valoraciones e incluso en el grado de profesionalidad percibida del servicio que allí se ofrece., mientras que una apariencia visual acorde a la función mejora la calidad de la experiencia (Nasar, Stamps y Hanyu, 2005).

Diversos autores (Gifford, et al., 2002; Küller, 1991; Gifford, et al., 2000) han ido evaluando muchos otros conceptos como la unidad, la claridad, la amabilidad, la originalidad, la potencia o el estatus social de los espacios, comprobando su importancia en la preferencia final (y ratificando que son percibidas de forma diferente por arquitectos y no arquitectos).

Estudios centrados en fachadas

Gran parte de los estudios empíricos sobre preferencias y evaluaciones comentados anteriormente se han centrado en el análisis de fachadas. Por ejemplo los trabajos sobre complejidad de Stamps e Imamoglu o los de legibilidad de Devlin.

Esto es porque la fachada permite el trabajo con no arquitectos mediante series de imágenes de forma relativamente rápida y sencilla, sin entrar a profundizar en aspectos organizativos o funcionales del espacio.

Además, las fachadas admiten el estudio de gran cantidad de aspectos y elementos de diseño (estilos, materiales, dimensiones, complejidad...).

Por ejemplo, Alkhresheh (2012) ha evaluado qué ratio de hueco frente a macizo es el preferido en fachadas de edificios residenciales, encontrando una tendencia en U invertida con máximo entre 0,4 y 0,5 y ha expresado su importancia al hacer constar que diversos estilos arquitectónicos presentan sistemáticamente diversos ratios (por ejemplo, románico frente a movimiento moderno).

Herzog y Shier (2000) han comprobado que las personas prefieren accesos visibles desde la distancia, aunque Ikemi (2005) añade que un cierto misterio, entendido como la promesa de nueva información si se adentra en el entorno, es también deseable.

Heath et al. (2000) han comprobado cómo se valora el skyline generado por edificios de gran altura en función de las formas de sus fachadas.

Otros estudios se han centrado en cómo afectan materiales y acabados en la percepción y valoración de los usuarios (Sadalla y Sheets, 1993; Fawcett, Ellingham y Platt, 2008; Gifford, et al., 2002; Cubukcu y Kahraman, 2008). Así, se ha visto que en las preferencias de los arquitectos respecto de los no arquitectos priman el hormigón y el ladrillo frente al aplacado de piedra, las formas rectangulares frente a las curvas y poligonales, o la línea recta frente al ornamento (Ghomeshi y Jusan, 2013; Nasar, 1983). Además, la estructura visual de una fachada ayuda al no arquitecto a comprender a qué tipo de edificio se enfrenta, aumentando su legibilidad (Krampen, 1991).

Estudios centrados en estilos arquitectónicos

El estilo arquitectónico, la época, la tendencia, de un edificio es un tema de gran interés en el estudio de las preferencias arquitectónicas (Stamps y Nasar, 1997; Stamps, 1999a) porque aglutina una gran cantidad de variables asociadas (grado de complejidad, familiaridad, materiales y elementos...).

Por ejemplo, se ha observado (Devlin y Nasar, 1989) que los edificios de estilo “moderno” usan menos materiales, más hormigón, más color blanco, formas más simples y accesos descentrados, frente al estilo “popular” que usa tonos cálidos, profusión de materiales y cubiertas inclinadas.

Así, se encuentran estudios que comparan edificios de diversos estilos (Herzog y Shier, 2000; Devlin y Nasar, 1989; Erdogan, et al., 2010; Stamps y Nasar, 1997; Nasar y Kang, 1999), que se centran en la interpretación de un determinado estilo o tendencia, por ejemplo el postmodernismo (Groat, 1982), la arquitectura actual (Gifford, et al., 2000; Hubbard, 1996) o la orgánica (Joye, 2003), o que analizan la valoración de edificios de un determinado uso en función de su estilo, por ejemplo comisarías (Clinton y Devlin, 2011), tribunales (Maass, et al., 2000) o edificios sanitarios (Devlin, 2007).

Sesgos cognitivos y su influencia en la preferencia arquitectónica

Pensar cuesta. Hacer valoraciones sobre nuestro entorno requiere un esfuerzo.

En términos proporcionales el cerebro humano ronda entre el 1% y el 2% del peso del cuerpo y, sin embargo, su consumo de energía (en términos de oxígeno y glucosa) oscila alrededor del 20%. Y la energía es un bien escaso.

Por ello, para gestionar eficientemente la inconmensurable cantidad de tareas que tiene a su cargo a lo largo de todos los minutos de todos los días de nuestra vida asignando los recursos de la manera más adecuada, el cerebro ha desarrollado una serie de estrategias heurísticas.

Al efecto, el psicólogo premio Nobel Daniel Kahneman (2013) explica que se pueden distinguir dos sistemas de pensamiento en las personas.

El que llama *sistema 2* es racional, metódico, lento y aporta conclusiones motivadas. Es el que se activa cuando hemos de realizar una operación matemática compleja o realizar un movimiento de ajedrez. Y requiere esfuerzo.

El denominado *sistema 1* es rápido, intuitivo y de bajo consumo a costa de ser más impreciso. Es una especie de piloto automático que nos permite desenvolvemos relativamente bien en la vida diaria sin sobrecargar nuestras capacidades cognitivas. Es el que nos permite juzgar sin esfuerzo el nivel socioeconómico, el estado emocional o las intenciones de un desconocido tras ver su aspecto un instante. Y es evolutivamente necesario, ya que es el que nos ha hecho reaccionar inmediatamente y sobrevivir a potenciales amenazas.

Se podría decir que el *sistema 1*, o atajo heurístico, es una extrapolación probabilística del registro histórico de decisiones correctas del *sistema 2*, o pensamiento razonado, es decir, una respuesta cognitiva automatizada. De esta manera, la operación "2+2", de tan habitual se nos vuelve automatizada, como también le pueda pasar a un experto jugador de ajedrez con ciertos movimientos.

Sin embargo, el razonamiento heurístico es más proclive a cometer errores. Y cuando estos errores son sistemáticos se les ha llamado sesgos cognitivos (Tversky y Kahneman, 1975). De esta forma, se podría definir sesgo cognitivo como "*una alteración en el razonamiento que es moderadamente difícil de eliminar y que lleva a una distorsión de la percepción, a una distorsión cognitiva, a un juicio impreciso o a una interpretación ilógica*" (Kahneman y Tversky, 1972).

La lista de sesgos cognitivos conocidos es muy extensa (Pohl, 2004). Desde el *sesgo de confirmación*, que nos inclina a preferir la información que confirma nuestros supuestos previos, pasando por el *sesgo de disponibilidad*, que nos incita a dar más valor a aquella información que tenemos más accesible, el *sesgo retrospectivo*, o inclinación a interpretar los hechos pasados como predecibles o el *efecto Bandwagon*, o tendencia a creer en algo porque lo cree la mayoría.

Los sesgos cognitivos nos afectan a todas las personas, independientemente de nuestro nivel intelectual. Quizá el caso más dramáticamente ejemplarizante de los últimos años haya sido la burbuja inmobiliaria de comienzos de siglo. En contra de toda lógica, en una situación de incremento disparatado de precios como nunca antes se había visto, la sociedad (*bandwagon*) se lanza a comprar viviendas de forma irracional e irresponsable, negando cualquier posible caída de precios (*confirmación, disponibilidad*). Ahora, años después de producirse el "crash", lo percibimos como algo inevitable que todos habíamos visto venir (*retrospectivo*).

Retomando el tema, y como se ha dicho anteriormente, las preferencias y valoraciones de los arquitectos tienden a ser distintas de las de los no arquitectos y muy parecidas entre sí. Esto se ha interpretado como el resultado del proceso de formación académica (Gifford, et al., 2000; Wilson, 1996).

La pregunta que cabe hacerse es ¿pueden estar sesgadas las valoraciones arquitectónicas por parte de arquitectos y no arquitectos?.

Existen dos sesgos en particular que vale la pena analizar con detenimiento.

Sesgo por efecto laguna de exposición

Stamps y Nasar (1997) apuntan, a raíz de las valoraciones de edificios más o menos populares, que parece probable que las personas prefieran diseños que se acomoden a sus estructuras de conocimiento previo. Es decir, que prefiramos aquello que ya conocemos, no por mejor sino por conocido.

El *efecto laguna de exposición*, en inglés *mere exposition effect*, es la tendencia a dar mayor valor a aquello que nos es familiar, cuya existencia se ha estudiado en otros ámbitos (Zajonc, 1968).

Cabría preguntarse si las valoraciones sobre diseño arquitectónico están influidas por el conocimiento previo de aquello que se valora. Máxime cuando a lo largo de su educación, el arquitecto se ha visto muy expuesto a estilos y soluciones

arquitectónicas distintas a las que está acostumbrado a ver el no arquitecto, es decir, nos son familiares distintos diseños.

Sesgo de autoridad

El *sesgo de autoridad*, *Argumentum ad verecundiam* o *authority bias*, es la tendencia a atribuir infalibilidad a una opinión de forma acrítica si ésta es expuesta por una autoridad en la materia (Walton, 1997). Su existencia quedó dramáticamente expuesta en el célebre *experimento de Milgram* (1963).

La disciplina de la arquitectura es muy proclive a regalarnos autoridades en la materia. Arquitectos de prestigio ganan concursos y premios internacionales y se exponen en revistas que, muchas veces, presentan sus diseños de una manera más hagiográfica que crítica. Es decir, no resulta fácil encontrar juicios críticos sobre obras de autores de renombre. ¿No tienen defectos o no podemos verlos?.

Así, cabría preguntarse si las valoraciones sobre ciertos diseños arquitectónicos están influidas por la mera figura del diseñador. O, dicho de otro modo, ¿valoraríamos igual la misma obra si es de un Gran Maestro que si es de un desconocido?.

Limitaciones de los estudios existentes

Pese a la gran cantidad de estudios existentes sobre la preferencia estética en el ámbito de la psicología ambiental existen algunas carencias que deberían ser abordadas con objeto de ampliar el horizonte de conocimiento de este campo. En concreto, no se ha encontrado ningún estudio que cumpla conjuntamente la mayoría de los siguientes aspectos:

- Tratarse de un estudio sobre fachadas urbanas que estudie conjuntamente las preferencias de diversos estilos, desde los históricos hasta los más recientes (p.e. minimalismo), y los diversos materiales de acabado.

- Estar enfocado más al arquitecto que al psicólogo en el sentido de ofrecer una perspectiva del estado actual, así como unos resultados interpretables en el sentido de guías de diseño.
- Tratarse de un estudio comparativo por perfiles no limitado a arquitectos frente no arquitectos, sino abarcando de forma continua el amplio espectro desde el no arquitecto hasta el arquitecto más veterano.
- Estar contextualizado en la España del siglo XXI, considerando la casuística que conlleva esta adscripción tanto geográfica como temporal.
- Tratar el potencial efecto de los sesgos cognitivos como una posible aproximación al *porqué* de dichas diferencias de valoración.

Objetivo

El objetivo de este estudio es doble.

En primer lugar, comprobar si existen diferencias entre arquitectos, estudiantes de arquitectura y no arquitectos en sus preferencias en cuanto a estilos arquitectónicos y materiales de acabado, de tal manera que se pueda plasmar la evolución de estas preferencias a lo largo de las distintas etapas de experiencia del arquitecto.

En segundo lugar, comprobar si existen sesgos que influyen en estas preferencias arquitectónicas. En concreto se estudian el sesgo de familiaridad (o laguna de exposición) según el cual se tendería a valorar más positivamente un diseño si se conoce previamente, y el sesgo de autoridad según el cual se tendería a valorar más positivamente un diseño si el autor es un diseñador de reconocido prestigio.

Materiales y métodos

Estímulos

Se definieron nueve grupos correspondientes a distintos estilos arquitectónicos o épocas. Posteriormente, se seleccionaron veinte imágenes de fachadas pertenecientes cada grupo, procurando que cada grupo equilibrase el número de obras conocidas y desconocidas, la entidad de las mismas y los materiales o acabados empleados. En la selección no se consideró tanto que la fachada seleccionada estuviera adscrita canónicamente como visualmente a dicho estilo.

Así resultó un total de ciento ochenta imágenes de fachadas vinculadas a los siguientes estilos; *antigüedad* (incluyendo imágenes de fachadas románicas y góticas), *clasicismo* (incluyendo imágenes de fachadas clásicas y neoclásicas), *modernismo* (incluyendo Art Nouveau, Jugendstil o Secession), *movimiento moderno y racionalismo*, *arquitectura de los años 50 a 80* (incluyendo brutalismo y postmodernismo), *arquitectura actual no emblemática* (principalmente residencial), *arquitectura actual emblemática* (obra pública de entidad), *arquitectura actual minimalista* y *arquitectura actual de formas radicales* (incluyendo formas fractales, deconstructivismo y biomorfismo) (Figura 1.1).

Además, se seleccionó una imagen independiente para el estudio de sesgo de autoridad consistente en un render de una fachada del que se hicieron tres versiones:

- Versión de control sin manipular.
- Versión sesgo positivo, incluyendo el texto “*Diseño preliminar de vivienda unifamiliar en Aveiro. Álvaro Siza Vieira*”. Álvaro Siza es un arquitecto de prestigio internacional, Doctor Honoris Causa, ganador de los premios Pritzker, Mies Van der Rohe, Alvar Aalto, Praemium Imperiale, León de Oro de la Bienal de Venecia y Medalla de oro del RIBA, y con extensísima difusión de su obra, por lo que puede ser considerado una autoridad en la materia por sus colegas.



Figura 1.1 Ejemplo de imágenes mostradas

- Versión sesgo negativo, incluyendo el texto *“Reforma de vivienda en Fuentesrobles. Antonio García decorador”*, sugiriendo una propuesta de diseño realizada por un proyectista sin titulación académica de arquitecto. Se buscó en el INE el nombre y apellido más común, y se sugirió una ubicación rural de poca entidad para eliminar cualquier atisbo de glamour o sofisticación.

Cuestionario

Se elaboró un cuestionario que contenía un primer grupo de cuestiones sobre el perfil del sujeto y un segundo grupo de valoración de imágenes con las siguientes preguntas:

- *¿Conocías o has estado anteriormente ante esta fachada?*
Respuesta: *si / no*
- *Valora estéticamente esta fachada*
Respuesta: *escala 0 / 10 puntos*
- *Indica qué materiales o acabados distingues en esta fachada*
Respuesta: *pedra, ladrillo, madera, hormigón, metal, vidrio, blanco y color*

El objeto de esta pregunta era relacionar la valoración del participante con los materiales que éste percibe, que pueden no coincidir con los que la obra realmente tiene (por ejemplo, una fachada de hormigón blanco puede ser percibida como blanca pero no como hormigón por algunos usuarios).

Se diseñó el cuestionario de tal manera que a cada participante se le preguntaran estas tres cuestiones para una imagen de cada estilo (nueve preguntas) más la imagen del sesgo y se aleatorizó la presentación de las imágenes. La encuesta se difundió de forma online gracias a la colaboración de varias Universidades españolas y del Colegio Oficial de Arquitectos de Valencia.

Participantes

Un total de 419 participantes completaron los diez apartados del cuestionario, de tal manera que resultaron 3.771 respuestas para las preguntas relativas a estilos arquitectónicos más 419 para el apartado de sesgo. El perfil demográfico de los participantes se muestra en la Tabla 1.1

estilo	frecuencia	porcentaje	estudios	frecuencia	porcentaje
antiguo	419	11,1%	no arquitecto	59	14,1%
clasicismo	419	11,1%	estudiante 1º y 2º	64	15,2%
modernismo	419	11,1%	estudiante 3º y 4º	66	15,8%
racionalismo	419	11,1%	estudiante 5º y PFC	86	20,5%
años 50 - 80	419	11,1%	arquitecto	144	34,4%
actual residencial	419	11,1%	Total	419	100,0%
actual emblemático	419	11,1%			
actual minimalismo	419	11,1%	edad	frecuencia	porcentaje
actual radical	419	11,1%	< 18	5	1,2%
Total	3771	100,0%	19 a 30	255	60,9%
			31 a 40	72	17,2%
género	frecuencia	porcentaje	41 a 50	52	12,4%
hombre	221	52,7%	51 a 60	27	6,4%
mujer	198	47,3%	> 61	8	1,9%
Total	419	100,0%	Total	419	100,0%

Tabla 1.1 Perfil demográfico de los participantes

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron tratados con el programa informático estadístico SPSS v.22. Se hicieron los siguientes análisis:

a. Análisis de las diferencias en relación a los estilos arquitectónicos

Se obtuvieron las medias y desviaciones típicas de las valoraciones segmentando por grupo de estilo arquitectónico y por grupo de nivel de estudios. A los estudiantes de arquitectura se les dividió en tres grupos relativos a primero y segundo curso, tercero y cuarto curso y quinto curso y PFC, de tal manera que se pudiera percibir su evolución a lo largo de su desarrollo académico. De igual manera, a los arquitectos se les desglosó por grupos de edad.

A partir de la tabla de contingencia resultante se grafieron dos conjuntos de gráficos. En primer lugar, se representaron de forma conjunta las valoraciones medias de cada estilo en función del perfil del participante (no arquitecto, estudiante de arquitectura y arquitecto) de tal manera que se facilitara la interpretación comparativa de qué estilos son los más o menos valorados en función de dicho perfil. En segundo lugar, se grafizó la valoración de cada estilo independiente a lo largo de la evolución académica y profesional del participante de forma que se apreciara la variación de valoraciones a lo largo del tiempo.

Por último se analizó la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las valoraciones, tanto para el global de los estímulos como segmentando por estilo arquitectónico, mediante el test no paramétrico U de Mann-Whitney.

b. Análisis de diferencias en relación a los materiales

Se procedió de forma similar que en el apartado anterior. Debido a que no se podían separar y mediar las valoraciones de las distintas imágenes por material ya que algunas imágenes se incluían en diversas categorías de material, se decidió politomizar la información de tal manera que en vez de medias pudiera extraerse el coeficiente de correlación rho de Spearman entre valoraciones y materiales segmentado por perfil de participante. En tal caso, los resultados no se interpretan como valoraciones de 0 a 10 sino como relaciones de dependencia pero permiten igualmente extraer conclusiones.

Al igual que en el apartado anterior se generaron dos conjuntos de gráficos. El primero presentando de forma conjunta los coeficientes de cada material en función del perfil del participante. El segundo grafizando la correlación de cada material independiente a lo largo de la evolución académica y profesional del participante.

En este caso, en lugar de estudiar diferencias estadísticamente significativas, las correlaciones presentan sus propios niveles de significación.

c. Análisis de diferencias por efecto laguna de exposición

A continuación se buscaron diferencias significativas en las imágenes en función de que se hubiera contestado afirmativa o negativamente en la pregunta “¿Conocías o has estado anteriormente ante esta fachada?”.

Al haber sido efectuadas aleatoriamente un total de 3.771 valoraciones para 180 imágenes (20 imágenes por 9 grupos), resultaban de media 20,95 valoraciones por imagen. Así que se seleccionaron todas las imágenes que hubieran tenido, al menos 10 respuestas afirmativas y 10 negativas, de manera que estuviera equilibrada la prueba. A las imágenes que cumplían el criterio se les efectuó el test U de Mann-Whitney.

d. Análisis de diferencias por sesgo de autoridad

Por último, se analizó la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las valoraciones de la imagen *sesgo* en función de que se hubiera visualizado la imagen control, el sesgo positivo o el sesgo negativo y segmentando por perfil del participante (no arquitecto, estudiante de arquitectura y arquitecto), mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Resultados

a. Análisis de diferencias en relación a los estilos arquitectónicos

Las medias y desviaciones típicas se muestran en la Tabla 1.2. La Figura 1.2 muestra las valoraciones de los distintos grupos según el perfil del participante. Las Figuras 1.3 a 1.11 muestran individualizadamente la progresión en las valoraciones de cada grupo en función de la evolución de dicho perfil.

		antiguo	clásico	modernista	racionalismo	años 50 a 80	actual no emblemático	actual emblemático	actual minimalismo	actual radical	media	n
no arquitecto	media	6,88	6,93	7,12	5,14	5,37	5,29	6,05	5,85	6,08	6,08	59
	d.e.	1,88	1,97	1,95	2,33	2,37	2,40	2,31	2,41	2,69	2,36	
estudiante 1º y 2º	media	6,45	6,55	6,25	5,66	5,53	5,56	7,00	7,45	5,88	6,26	64
	d.e.	1,53	1,73	2,02	2,27	2,42	2,36	2,12	1,74	2,89	2,23	
estudiante 3º y 4º	media	6,39	6,44	6,45	6,61	4,98	5,98	7,05	7,32	5,41	6,29	66
	d.e.	2,11	1,64	2,36	2,21	2,36	2,14	1,97	1,56	2,71	2,24	
estudiante 5º y PFC	media	6,91	6,56	7,06	6,95	5,42	6,37	6,78	7,49	5,81	6,59	86
	d.e.	1,73	1,67	1,84	1,81	2,30	2,10	2,07	1,58	2,69	2,08	
arquitecto < 30	media	7,34	6,80	6,64	7,02	5,95	6,70	6,95	7,55	5,39	6,70	44
	d.e.	1,60	1,91	2,41	2,42	1,93	2,12	2,06	2,02	2,76	2,23	
arquitecto 31 a 40	media	7,24	6,40	6,62	6,57	5,36	5,76	6,69	7,17	5,60	6,38	42
	d.e.	1,85	1,95	1,89	2,17	2,57	2,50	2,32	2,16	3,19	2,38	
arquitecto 41 a 50	media	7,09	6,06	7,09	7,97	6,13	6,19	6,00	7,63	4,69	6,54	32
	d.e.	1,89	1,98	1,80	1,60	2,38	2,58	2,77	1,77	3,05	2,42	
arquitecto > 50	media	7,04	5,69	7,00	7,42	5,35	6,31	5,31	7,31	4,96	6,26	26
	d.e.	1,51	2,29	2,26	2,10	2,02	1,35	2,36	1,83	2,68	2,24	
media	media	6,85	6,51	6,76	6,52	5,46	5,99	6,61	7,20	5,59	6,39	419
	d.e.	1,80	1,85	2,07	2,27	2,32	2,26	2,24	1,94	2,81	2,26	

Tabla 1.2 Medias y d.e. en las valoraciones segmentadas por perfil de participante

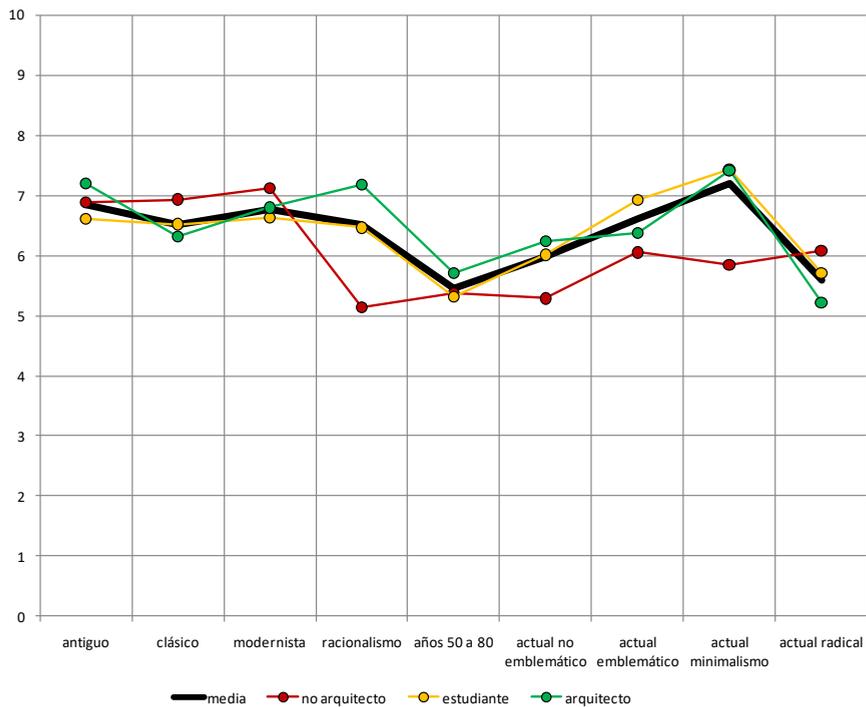


Figura 1.2 Medias de las valoraciones por estilo

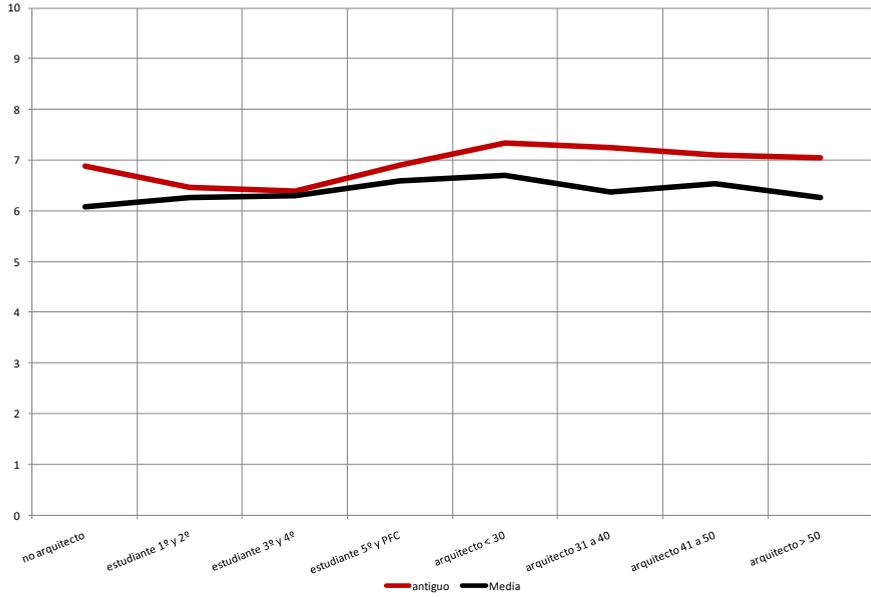


Figura 1.3 Grupo Antiguo: Valoraciones medias segmentadas

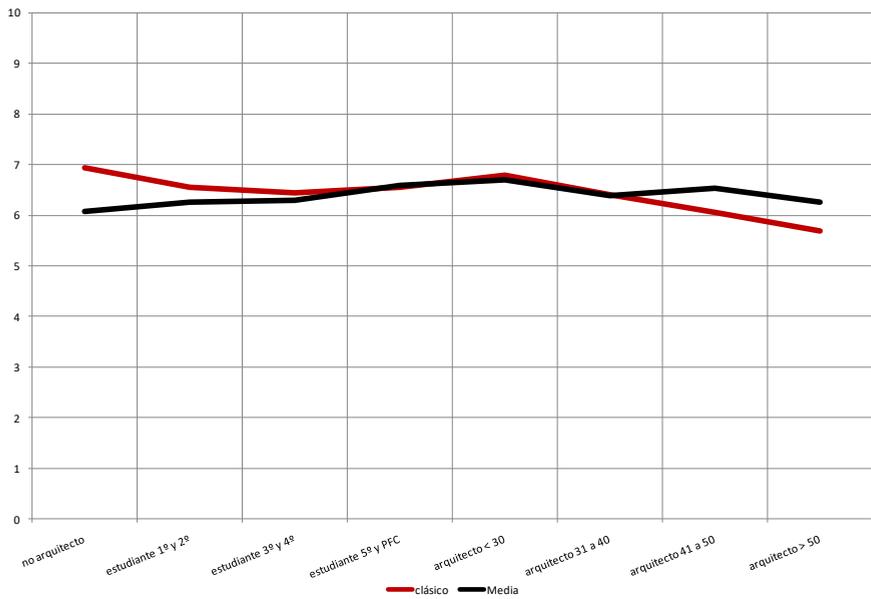


Figura 1.4 Grupo Clásico: Valoraciones medias segmentadas

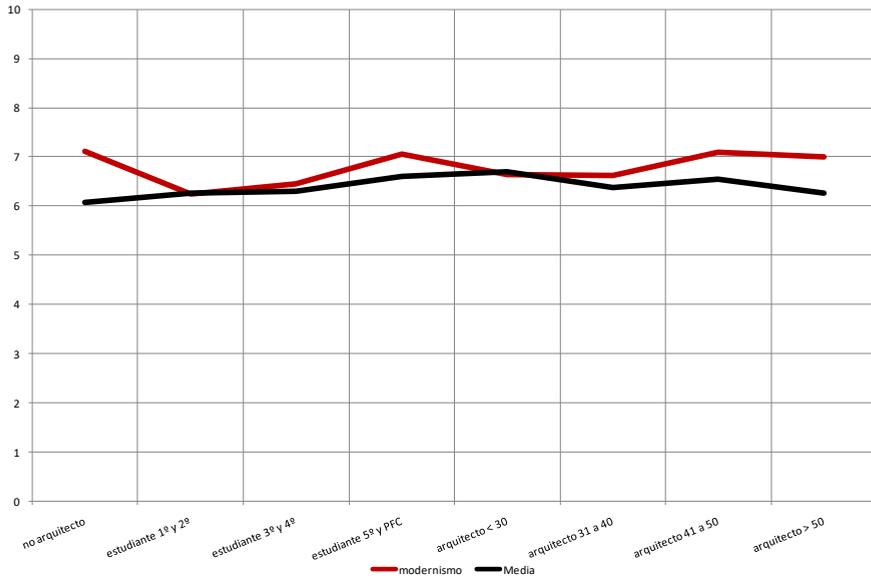


Figura 1.5 Grupo Modernismo: Valoraciones medias segmentadas

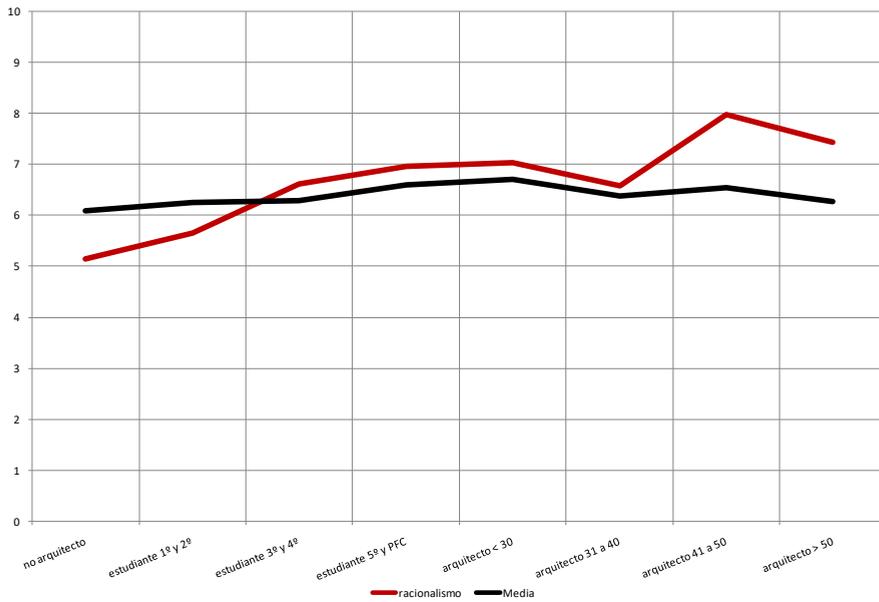


Figura 1.6 Grupo Racionalismo: Valoraciones medias segmentadas

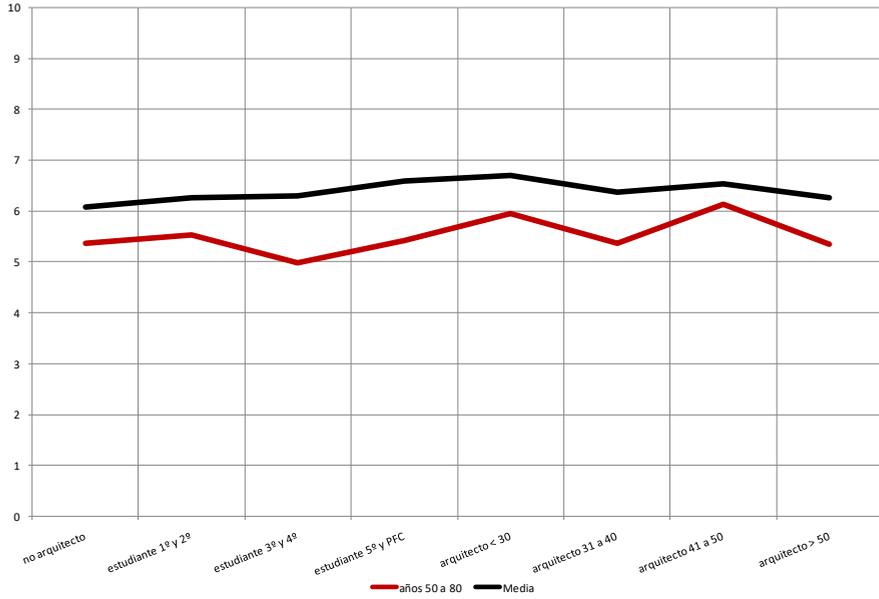


Figura 1.7 Grupo Años 50 a 80: Valoraciones medias segmentadas

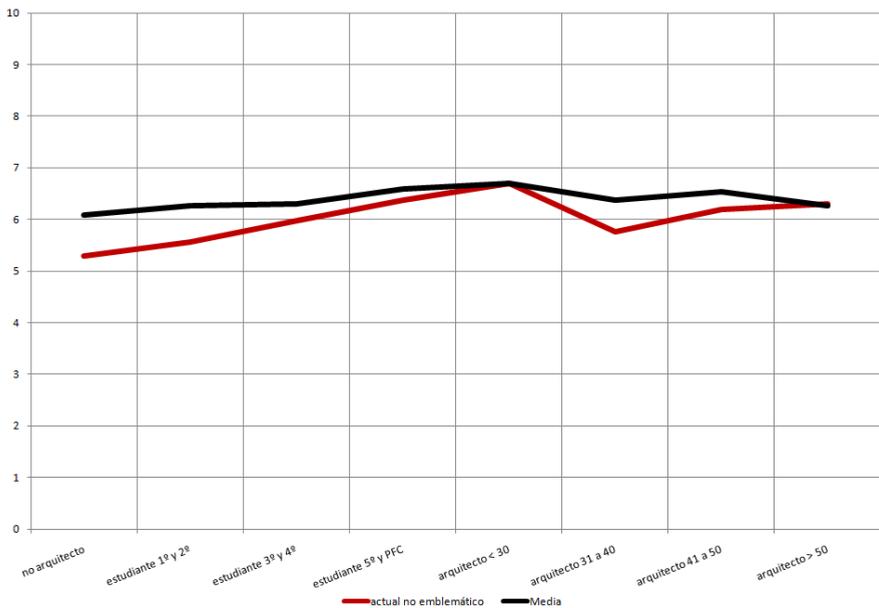


Figura 1.8 Grupo Actual no emblemático: Valoraciones medias segmentadas

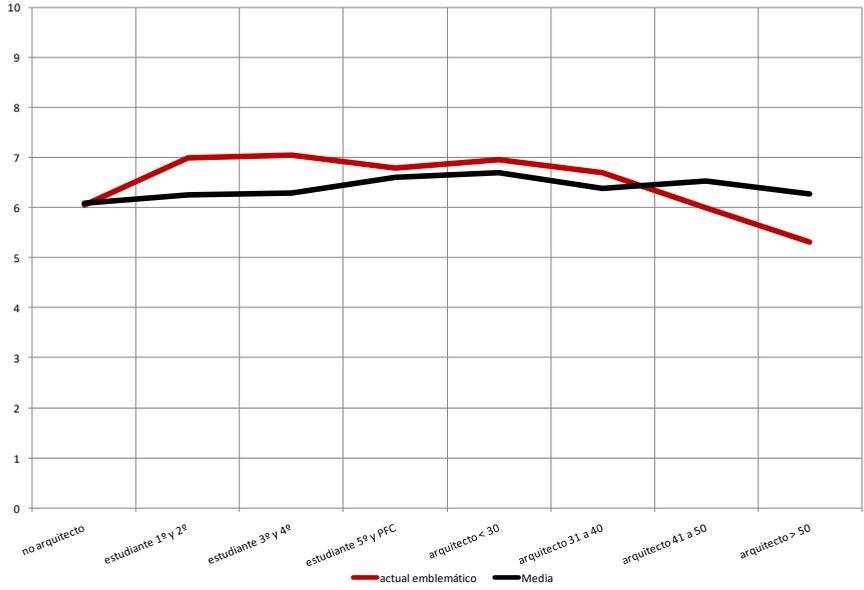


Figura 1.9 Grupo Actual emblemático: Valoraciones medias segmentadas

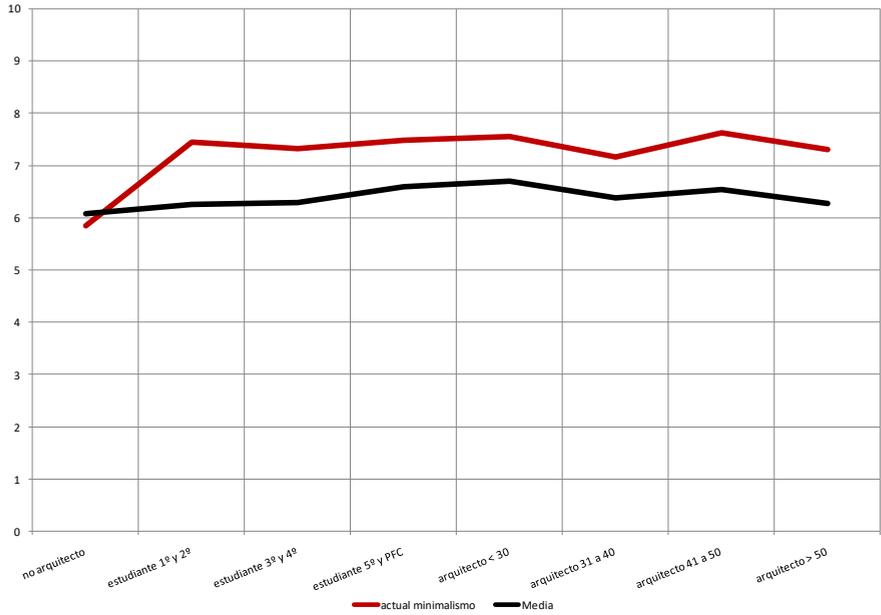


Figura 1.10 Grupo Actual minimalismo: Valoraciones medias segmentadas

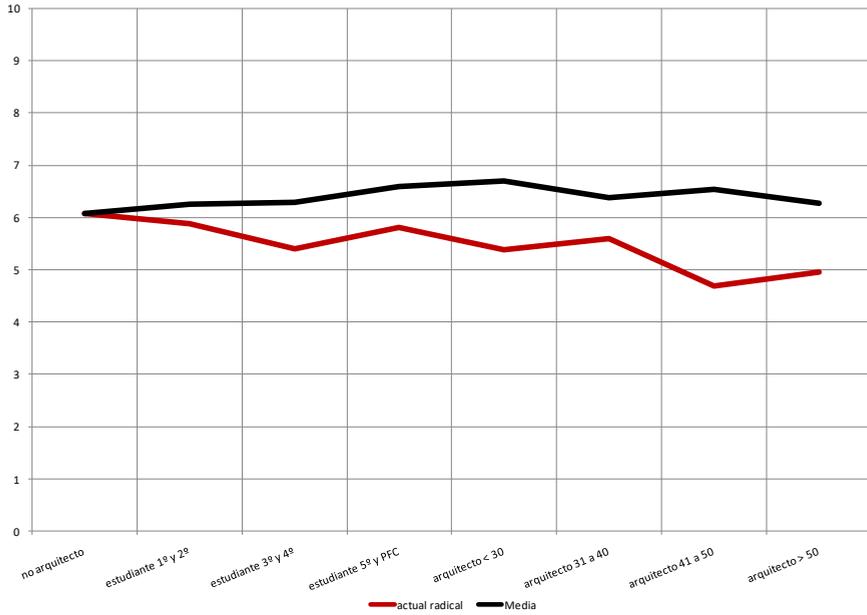


Figura 1.11 Grupo Actual radical: Valoraciones medias segmentadas

La Tabla 1.3 muestra los resultados del análisis de diferencias significativas en las valoraciones global y particularizada para los distintos estilos arquitectónicos en función del perfil del participante. A nivel global se encuentran diferencias significativas entre arquitectos y no arquitectos y entre estudiantes de arquitectura y no arquitectos. Por estilos se encuentran diferencias en los grupos antiguo (arquitectos / estudiantes), clásico (arquitectos y estudiantes / no arquitectos), racionalismo (para todos los perfiles), actual no emblemático (arquitectos y estudiantes / no arquitectos), (arquitectos y no arquitectos / estudiantes), minimalismo (arquitectos y no arquitectos / estudiantes) y arquitectura radical (arquitectos / no arquitectos).

	general		antiguo		clásico		modernismo		racionalismo	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
arquitecto	-3,53	0,00	-1,00	0,32	-2,28	0,02	-1,31	0,19	-5,53	0,00
no arquitecto										
estudiante	-2,48	0,01	-1,33	0,18	-2,22	0,03	-1,75	0,08	-4,07	0,00
no arquitecto										
arquitecto	-1,86	0,06	-3,16	0,00	-0,81	0,42	-0,58	0,56	-3,46	0,00
estudiante										

	años 50 a 80		actual no emblemático		actual emblemático		actual minimalista		actual radical	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
arquitecto	-0,81	0,42	-2,63	0,01	-1,01	0,31	-4,51	0,00	-1,85	0,06
no arquitecto										
estudiante	-0,28	0,78	-2,15	0,03	-2,62	0,01	-4,66	0,00	-0,95	0,34
no arquitecto										
arquitecto	-1,62	0,11	-0,92	0,36	-2,01	0,04	-0,72	0,47	-1,43	0,15
estudiante										

Tabla 1.3 Análisis de diferencias significativas en las valoraciones de estilo. Test de Mann-Whitney

b. Análisis de diferencias en relación a los materiales

Los coeficientes de correlación y sus niveles de significación se muestran en la Tabla 1.4. La Figura 1.12 muestra las valoraciones de los distintos materiales según el perfil del participante. Las Figuras 1.13 a 1.20 muestran individualizadamente la progresión en las valoraciones de cada material en función de la evolución de dicho perfil. Los resultados se analizan en el apartado *Discusión y conclusiones*.

		pedra	ladrillo	madera	hormigón	metal	vidrio	blanco	color
Otras profesiones	Coef	0,19	-0,08	0,03	-0,15	0,05	0,04	0,03	-0,03
	sig	0,00	0,05	0,51	0,00	0,21	0,38	0,46	0,56
estudiante 1º y 2º	Coef	0,03	-0,11	0,01	0,06	0,00	0,19	0,14	-0,09
	sig	0,50	0,01	0,81	0,17	0,97	0,00	0,00	0,04
estudiante 3º y 4º	Coef	0,09	-0,13	0,08	0,06	0,04	0,12	0,08	-0,11
	sig	0,02	0,00	0,05	0,17	0,38	0,00	0,04	0,01
estudiante 5º y PFC	Coef	0,09	-0,01	0,08	0,03	0,07	0,14	0,05	-0,08
	sig	0,02	0,88	0,03	0,45	0,07	0,00	0,16	0,03
arquitecto < 30	Coef	0,11	0,01	0,11	-0,05	-0,02	0,16	0,11	-0,08
	sig	0,03	0,86	0,03	0,32	0,69	0,00	0,03	0,10
arquitecto 31 a 40	Coef	0,11	-0,11	0,08	-0,03	0,03	0,05	0,19	-0,03
	sig	0,04	0,04	0,14	0,62	0,59	0,35	0,00	0,57
arquitecto 41 a 50	Coef	0,06	-0,05	0,00	0,11	0,01	0,13	0,15	-0,18
	sig	0,34	0,39	1,00	0,06	0,86	0,03	0,01	0,00
arquitecto > 51	Coef	0,24	0,05	0,13	0,12	-0,01	0,06	0,02	-0,22
	sig	0,08	0,47	0,08	0,11	0,92	0,40	0,82	0,11

Tabla 1.4 Correlaciones valoración / material segmentadas por perfil de participante. Test de Spearman.

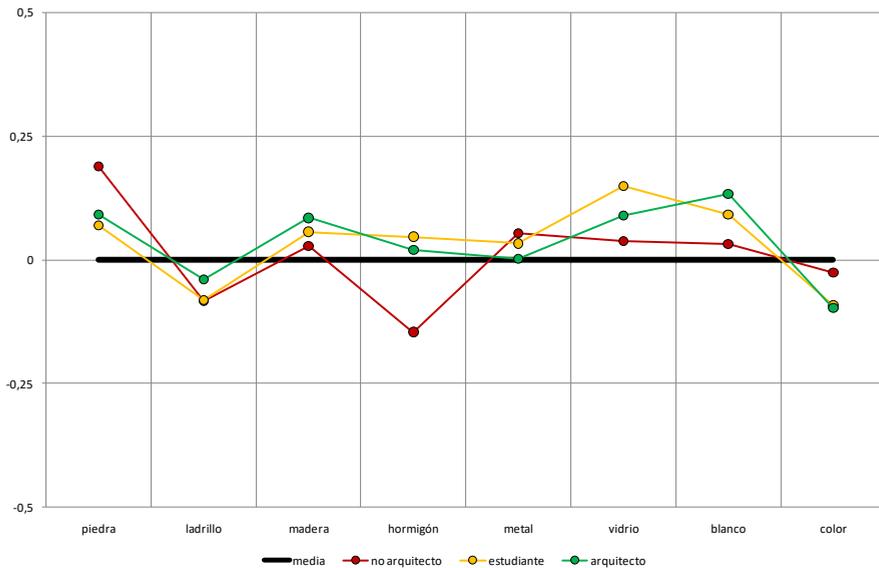


Figura 1.12 Correlaciones de las valoraciones por material

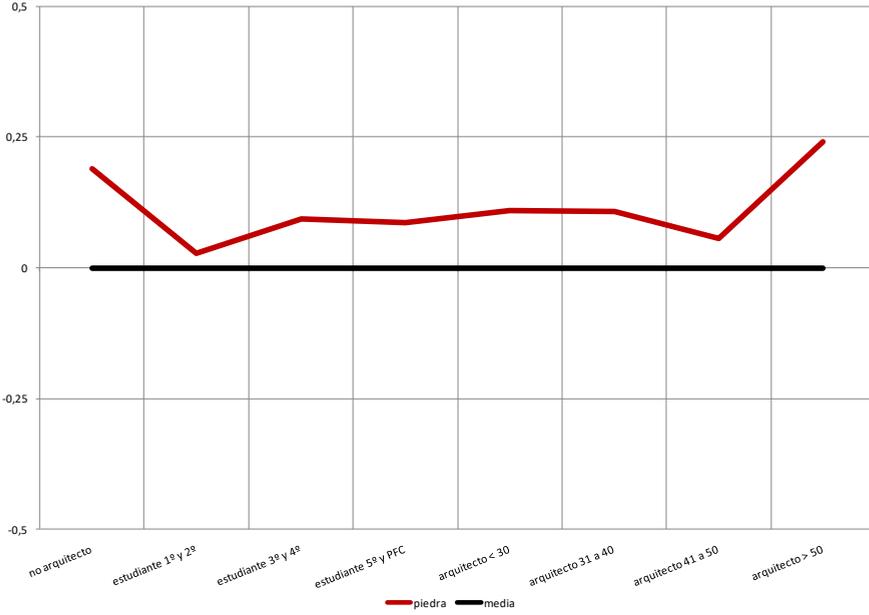


Figura 1.13 Material Piedra: Valoraciones medias segmentadas

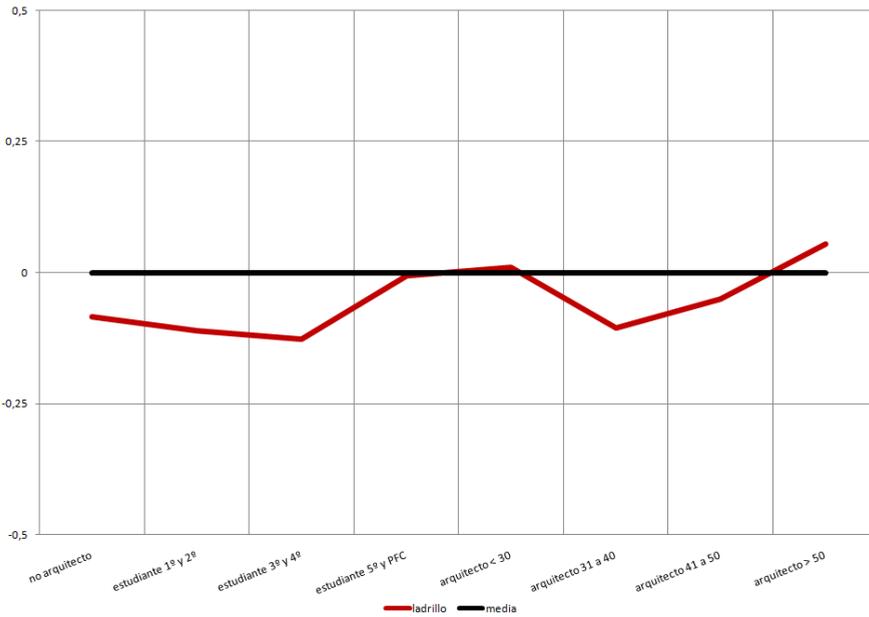


Figura 1.14 Material Ladrillo: Valoraciones medias segmentadas

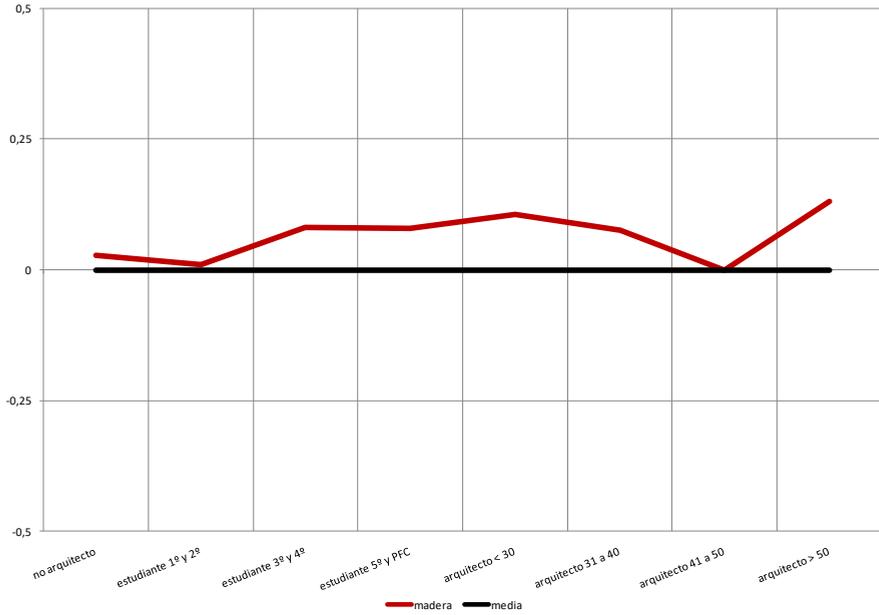


Figura 1.15 Material Madera: Valoraciones medias segmentadas

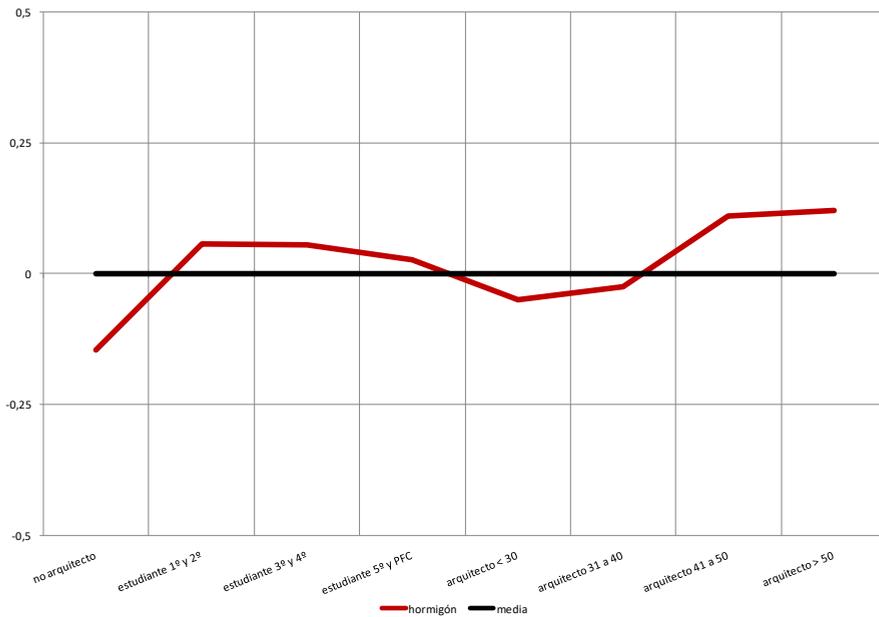


Figura 1.16 Material Hormigón: Valoraciones medias segmentadas

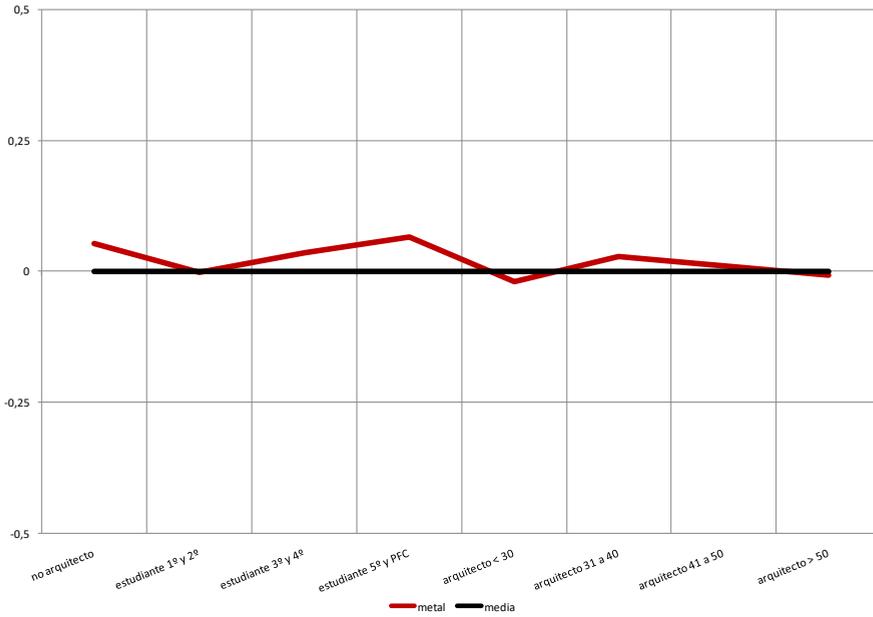


Figura 1.17 Material Metal: Valoraciones medias segmentadas

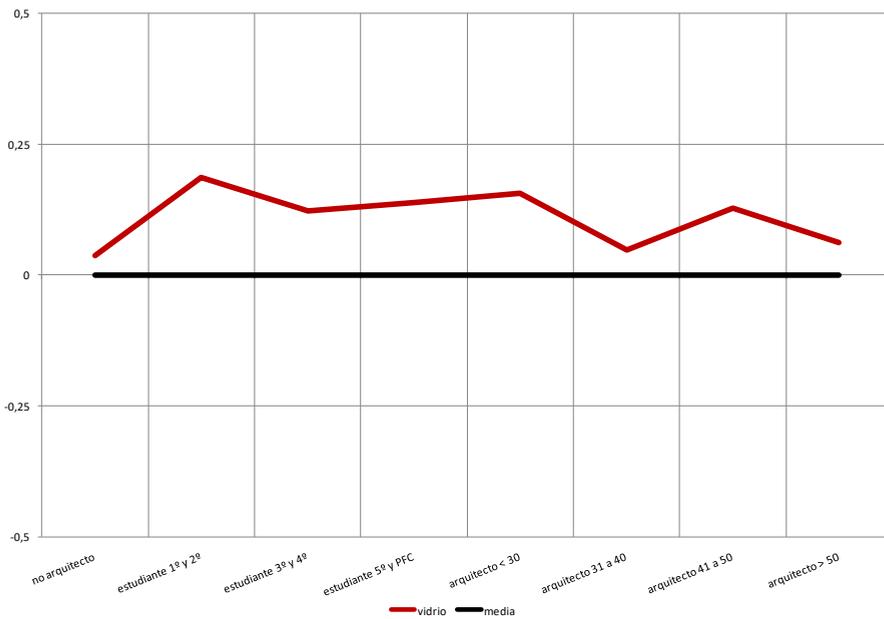


Figura 1.18 Material Vidrio: Valoraciones medias segmentadas

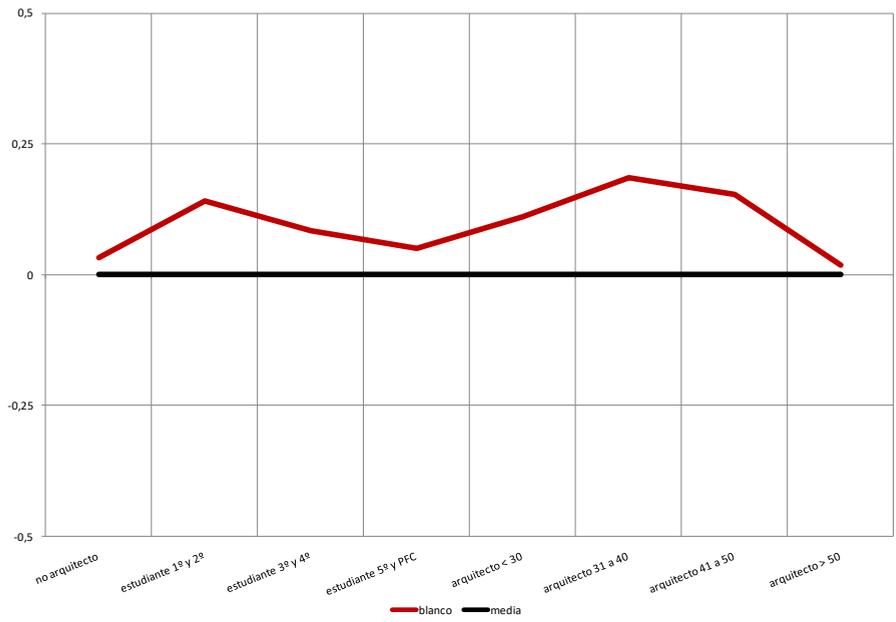


Figura 1.19 Material Blanco: Valoraciones medias segmentadas

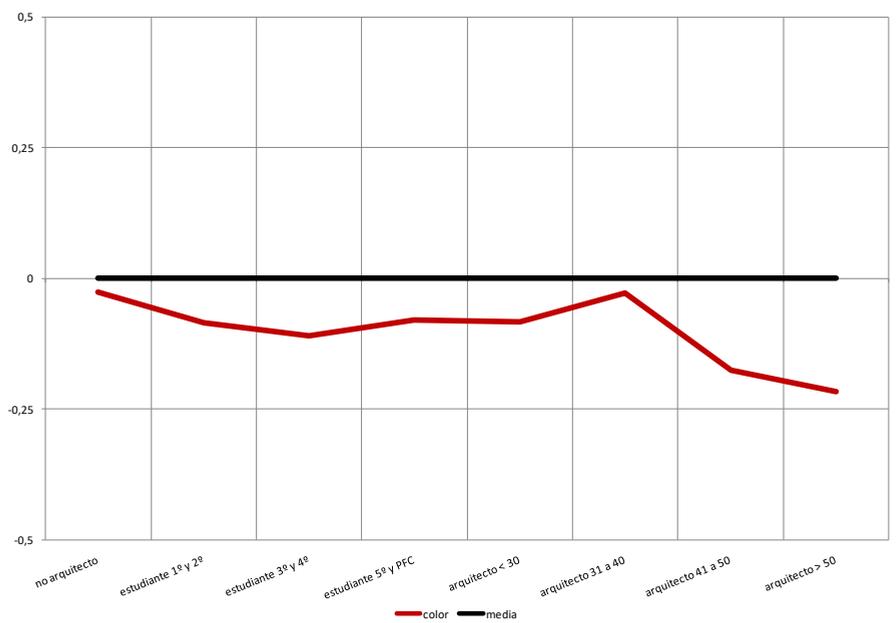


Figura 1.20 Material Color: Valoraciones medias segmentadas

c. Diferencias por sesgo de exposición

De las 180 imágenes valoradas, 21 cumplían el criterio de haber sido evaluadas al menos por 10 participantes que conocieran previamente la obra y 10 que no la conocieran. De ellas se encontraron diferencias significativas en 7 es decir, el 33,33% (Tabla 1.5 y Figura 1.21).

imagen	n	media	Z	p	imagen	n	media	Z	p																																																																																																																																																																																				
118	no	10	6,80	-0,077	0,971	408	no	11	5,27	-3,324	0,001																																																																																																																																																																																		
	si	10	6,60				si	12	8,58			119	no	10	6,90	0,187	0,212	516	no	10	6,20	-1,862	0,067	si	14	7,71	si	13	7,62	204	no	10	5,20	-2,396	0,016	612	no	17	6,59	-0,534	0,604	si	11	7,55	si	10	6,00	209	no	10	7,40	-0,255	0,809	706	no	12	5,67	-0,869	0,418	si	11	7,18	si	10	6,50	217	no	15	6,27	-1,203	0,256	707	no	22	6,86	-2,711	0,007	si	12	7,00	si	10	8,60	303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563	si	10	8,00	si	13	7,62	307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60	
119	no	10	6,90	0,187	0,212	516	no	10	6,20	-1,862	0,067																																																																																																																																																																																		
	si	14	7,71				si	13	7,62			204	no	10	5,20	-2,396	0,016	612	no	17	6,59	-0,534	0,604	si	11	7,55	si	10	6,00	209	no	10	7,40	-0,255	0,809	706	no	12	5,67	-0,869	0,418	si	11	7,18	si	10	6,50	217	no	15	6,27	-1,203	0,256	707	no	22	6,86	-2,711	0,007	si	12	7,00	si	10	8,60	303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563	si	10	8,00	si	13	7,62	307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																			
204	no	10	5,20	-2,396	0,016	612	no	17	6,59	-0,534	0,604																																																																																																																																																																																		
	si	11	7,55				si	10	6,00			209	no	10	7,40	-0,255	0,809	706	no	12	5,67	-0,869	0,418	si	11	7,18	si	10	6,50	217	no	15	6,27	-1,203	0,256	707	no	22	6,86	-2,711	0,007	si	12	7,00	si	10	8,60	303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563	si	10	8,00	si	13	7,62	307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																					
209	no	10	7,40	-0,255	0,809	706	no	12	5,67	-0,869	0,418																																																																																																																																																																																		
	si	11	7,18				si	10	6,50			217	no	15	6,27	-1,203	0,256	707	no	22	6,86	-2,711	0,007	si	12	7,00	si	10	8,60	303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563	si	10	8,00	si	13	7,62	307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																							
217	no	15	6,27	-1,203	0,256	707	no	22	6,86	-2,711	0,007																																																																																																																																																																																		
	si	12	7,00				si	10	8,60			303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563	si	10	8,00	si	13	7,62	307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																									
303	no	11	7,18	-1,363	0,197	718	no	10	6,80	-0,274	0,563																																																																																																																																																																																		
	si	10	8,00				si	13	7,62			307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393	si	14	6,86	si	10	7,10	313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																																											
307	no	10	5,90	-1,245	0,235	720	no	10	7,60	-0,936	0,393																																																																																																																																																																																		
	si	14	6,86				si	10	7,10			313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045	si	11	7,27	si	10	7,60	319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																																																													
313	no	20	7,05	-1,440	0,183	805	no	11	5,55	-2,002	0,045																																																																																																																																																																																		
	si	11	7,27				si	10	7,60			319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044	si	17	7,59	si	12	5,67	402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																																																																															
319	no	14	6,00	-2,741	0,006	901	no	11	3,18	-2,014	0,044																																																																																																																																																																																		
	si	17	7,59				si	12	5,67			402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080	si	12	8,33	si	10	6,90	407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																																																																																																	
402	no	19	6,84	-2,666	0,007	907	no	15	5,20	-1,768	0,080																																																																																																																																																																																		
	si	12	8,33				si	10	6,90			407	no	12	6,17	-1,706	0,093							si	10	7,60																																																																																																																																																																			
407	no	12	6,17	-1,706	0,093																																																																																																																																																																																								
	si	10	7,60																																																																																																																																																																																										

Tabla 1.5. Análisis de diferencias en valoración de imagen por sesgo de exposición. Test de Mann-Whitney.



Imagen 2.04



Imagen 3.19



Imagen 4.02



Imagen 4.08



Imagen 8.05



Imagen 7.07



Imagen 9.01

Figura 1.21 Imágenes con diferencias significativas por sesgo de exposición

d. Diferencias por sesgo de autoridad

El test no encontró diferencias estadísticamente significativas en función del estímulo presentado (control, sesgo positivo y sesgo negativo) para ninguno de los perfiles analizados (arquitecto, estudiante y no arquitecto) (Tabla 1.6).

	grupo	N	media	H	sig.
no arquitecto	control	18,00	7,94		
	sesgo positivo	16,00	7,00	3,29	0,19
	sesgo negativo	26,00	6,77		
estudiante	control	64,00	7,52		
	sesgo positivo	77,00	7,60	0,39	0,82
	sesgo negativo	74,00	7,64		
arquitecto	control	46,00	7,00		
	sesgo positivo	53,00	7,66	1,98	0,37
	sesgo negativo	45,00	7,40		

Tabla 1.6. Diferencias en valoración de imagen por sesgo de autoridad. Test de Kruskal-Wallis

Discusión y conclusiones

En este estudio se han analizado las diferencias de valoración respecto a estilos y materiales arquitectónicos entre no arquitectos, estudiantes de arquitectura y arquitectos españoles con distinto grado de experiencia, así como la posible existencia de sesgos cognitivos que influyeran en dichas valoraciones. Como era de esperar según la bibliografía (Imamoglu, 2000), se han encontrado diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a estilos, cabe destacar que los más apreciados por todos los grupos son los relativos a la *antigüedad* (románico, gótico...) y *modernismo*. El *minimalismo* ha sido, con diferencia, el mejor valorado por estudiantes y arquitectos, aunque no ha sido apreciado por los profanos. El grupo peor valorado, en general, es el correspondiente a los *años 50a 80* que incluía obras brutalistas y postmodernas. Las imágenes relativas a edificios *racionalistas* y del Movimiento Moderno han tenido la mayor dispersión entre grupos, obteniendo valoraciones negativas por no arquitectos, neutras por estudiantes y positivas por arquitectos. Por otro lado, la mayor dispersión de valoraciones dentro de grupos, tal como indican las desviaciones típicas, corresponde al grupo *radical*, que incluye obras deconstructivistas, formas fractales y biomórficas y fachadas con forma de objetos.

Si consideramos las diferencias por perfiles, en general, las valoraciones de los no arquitectos han sido superiores para los grupos *clasicismo*, *modernismo* y *radical*, y claramente inferiores para *racionalismo* y *minimalismo*, lo que nos anticipa una cierta influencia del efecto laguna de exposición. Por otro lado, en cuanto a las valoraciones globales por perfil, el no arquitecto es quien ha valorado más bajo en general, mientras que el arquitecto menor de 30 años, el recién licenciado, ha puntuado más alto. Podría decirse que se configuran como polos entre el escepticismo y el optimismo por la arquitectura.

Si atendemos a la evolución de las preferencias, destaca como el grupo *racionalismo* es preferido por el segmento de más edad, arquitectos a partir de 40 años. La arquitectura *actual emblemática* de arquitecto de prestigio sigue una

trayectoria en U invertida, no gusta especialmente al profano ni al arquitecto veterano, pero tiene su acogida entre el estudiante y recién licenciado. El caso del *minimalismo* es particular, siendo muy poco apreciado por el no arquitecto, sus valoraciones se disparan desde los primeros años de formación y se mantienen constantes con una muy buena acogida por todos los profesionales. Por último, el grupo *radical* va disminuyendo progresivamente sus valoraciones a lo largo de las distintas etapas.

En cuanto a los materiales, la piedra, el vidrio y el color blanco son los mejores valorados en general, la madera y el metal se encuentran en término medio y el ladrillo y el color presentan las peores posiciones. El hormigón es un caso particular, pues presenta la mayor dispersión entre grupos. No gusta nada al no arquitecto pero obtiene una valoración neutra entre estudiantes y arquitectos. Esto podría anticipar también una cierta influencia del efecto laguna de exposición.

En cuanto a los sesgos, respecto al efecto laguna de exposición sí que se encuentran resultados reseñables. 7 de las 21 imágenes que han sido visualizadas por, al menos, 10 personas que conocían previamente la obra y 10 que no, presentan diferencias significativas en su valoración. Además, en todos los casos que la diferencia era estadísticamente significativa la mayor valoración la daba el grupo que sí conocía la obra previamente.

Aunque por economía de espacio no se han incluido más datos en el estudio, se comprobó que para 9 visualizaciones por grupo las diferencias se producían en 8 de 24 imágenes (33%), para 8 visualizaciones en 11 de 34 (32%) y para 7 en 14 de 44 (32%). No se probaron grupos inferiores.

Estos resultados llevan a concluir que la exposición previa a un diseño, en este caso a una fachada, puede condicionar el grado de preferencia posterior.

Si, como indica la bibliografía, la causa de estas diferencias de valoración es la diferencia de formación, el efecto de la familiaridad debido a la exposición en cierta medida explicaría por qué los no arquitectos prefieren estilos clásicos y los arquitectos apreciamos fachadas minimalistas o materiales como el hormigón.

Durante nuestra formación hemos estado mucho más expuestos a este tipo de estímulos.

Alguien podría argumentar que correlación no implica causalidad. Es decir, alguien extremadamente versado en arquitectura gótica es muy probable que aprecie enormemente la arquitectura gótica y que haya estado muy expuesto a la misma. Lo que no quedaría claro es si la exposición al estímulo ha generado el interés o si, al contrario, el interés por lo gótico ha incitado la búsqueda del estímulo.

Sin embargo, si extendemos el razonamiento a grupos de jóvenes cuyas valoraciones estéticas de un material que en principio desconocían, como es el hormigón, han mejorado ostensiblemente, a la vez que se volvían más similares entre sí (Wilson, 1996), a medida que cursaban estudios de arquitectura, parece razonable que una exposición común a un estímulo ha facilitado un cambio común (el razonamiento contrario sugeriría que muchos jóvenes comienzan a estudiar arquitectura por amor al hormigón).

Aun así, esta pequeña prueba es más intencional que definitiva. Además, hay que apuntar que, por necesidad de una muestra importante, se incluyeron todos los perfiles de evaluadores incluidos. Parece interesante continuar estudios en esta línea que permitan dilucidar si la exposición previa afecta igualmente a arquitectos y no arquitectos.

Por otro lado, y esto habla bien del espíritu crítico de la profesión, no se ha encontrado ninguna diferencia estadísticamente significativa en la prueba de sesgo de autoridad. Ni arquitectos ni estudiantes valoraron más favorablemente un diseño por ser obra de Álvaro Siza, Doctor arquitecto de prestigio internacional, que por ser de Antonio García, sin siquiera la titulación de arquitecto.

Quizá el valor de este estudio, además de los resultados concretos, es mostrar una pequeña fotografía sobre las diferencias de apreciación entre aquellos que diseñan y aquellos que disfrutan (o sufren) los diseños, en un contexto actual y geográficamente cercano. Ello para ser conocedores de los puntos de conflicto y de

contacto existentes con objeto de lograr acercar posturas de una manera que sea beneficiosa para todos.

En primer lugar, ser conscientes de la influencia que la exposición a ciertos estímulos puede ejercer en nosotros como arquitectos, nos debería hacer más reflexivos a la hora de proyectar.

Por un lado, durante el proceso proyectual deberíamos sopesar críticamente si una solución es la apropiada al contexto o si es un simple reflejo de una moda o de una tendencia. Una tendencia generada en la literatura especializada, en las revistas del gremio, de tal forma que podrá ser aceptada por nuestros colegas pero ajena al ciudadano.

Esto, además, debería abrir un debate introspectivo acerca de para quién diseñamos ¿para nosotros mismos?, ¿para nuestros iguales?, ¿o para todos?. La respuesta, tal vez, implica un cierto compromiso de renuncia nuestra satisfacción personal para abrazar el bienestar de la mayoría.

Por otro lado, se revela una vía de acercamiento por parte del no arquitecto a la arquitectura; el camino del conocimiento. Hay que exponer al ciudadano a la buena arquitectura, hay que mostrársela, hay que explicársela. Hay que salir de nuestro círculo y hacer una mayor difusión de una forma sencilla y amena. Ser menos enigmáticos y más proselitistas. Contagiar nuestro entusiasmo. Enseñar. Conseguir que la gente quiera aprender.

No debe ser tan utópico cuando en la calle hay gente al corriente de las tendencias de moda, que aprecia el diseño de producto en electrónica y automovilismo, que se interesa por la alta cocina, que recibe clases de cata, que valora el buen cine...

Sabiendo donde estamos ahora, tal vez es el momento de dar una de cal y otra de arena. De saber dónde hacer concesiones y dónde ser riguroso. De ir transmitiendo la esencia. Quizá así llegue un momento en el que el propio usuario nos reclame la arquitectura que queríamos hacer.

ESTUDIO 2 | DIFERENCIAS EN LA COMPRESIÓN DE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE PRESENTACIÓN

Introducción

Las representaciones gráficas tienen dos funciones principales en el ámbito del proyecto arquitectónico. En primer lugar, son una herramienta de ayuda al diseño para el propio diseñador y, en segundo, son un medio de transmisión de ideas (Bates-Brkljac, 2007).

En cuanto al primer aspecto, hay que considerar que el trabajo proyectual es un proceso iterativo consistente en enfrentar un diseño concreto a una serie de requerimientos, analizar su grado de cumplimiento y efectuar correcciones de hasta que se alcanza un nivel considerado satisfactorio. En este sentido, la representación gráfica supone una herramienta que facilita el análisis conjunto de la información geométrica.

En cuanto al segundo aspecto, hay que considerar que el fin último del proyecto arquitectónico no es el ejercicio intelectual personal sino la materialización de una solución en el mundo físico. Esta materialización requiere de la participación de terceras personas, desde el cliente o tribunal de un concurso hasta las distintas autoridades, pasando por los distintos agentes del proceso edificatorio, cada uno con distintas capacidades de comprensión espacial. Y, sin embargo, la correcta evaluación y comprensión de los espacios ideados por parte de todos los implicados es crucial para la realización del proyecto. En este sentido, la representación gráfica supone un medio de transmisión de ideas geométricas.

Si el objetivo es utilizar la representación como sustituto de la realidad con el objeto de hacer juicios sobre el espacio (dimensiones, relaciones, configuraciones, cualidades...) parece determinante conocer en qué medida un medio de representación permite comprender el espacio.

Comprensión espacial

En términos amplios la comprensión espacial se interpreta como el conocimiento del propio yo en relación con el entorno (Devlin, 2001) y depende tanto de factores internos de la persona (por ejemplo, el papel del hipocampo en el sentido de orientación, como ya se indicó en el Capítulo 3) como de la estructura ambiental externa.

De esta forma, la cognición espacial crea una representación mental del espacio que vincula nuestra percepción del entorno con la toma de decisiones (Kaplan, 1973).

La comprensión espacial es un concepto amplio y complejo, de tal forma que no existe una manera única y global de evaluarla. Habitualmente, los investigadores han tratado aspectos parciales de la cognición espacial (como la orientación o la memoria) principalmente mediante pruebas particularizadas a cada caso consistentes, en su mayoría, en la realización de tareas por parte de los participantes y posterior análisis de aciertos y errores o tiempos de ejecución.

En los últimos años las técnicas de imagen cerebral y la Realidad Virtual han posibilitado avanzar en su estudio (Bülthoff y Veen, 2001). En concreto, y en el ámbito de este trabajo, la Realidad Virtual permite desarrollar investigaciones difíciles de llevar a cabo en el mundo real, como algunas sobre orientación donde se ha alterado la posición de edificios (Gillner y Mallot, 1998) u otros de ceguera al cambio en entornos interactivos (Wallis y Bulthoff, 2000). Además, la Realidad Virtual permite incorporar estímulos perturbadores, similares a los del espacio real, consiguiendo un entorno experimental ecológico frente a aquellos estudios reduccionistas en los que se han eliminado las variables fuera de análisis.

Influencia de la libertad de punto de vista

Cada medio de representación arquitectónico tiene distintas cualidades. Así, por un lado los planos técnicos transmiten la información con gran precisión, pero requieren una cierta capacidad intelectual para ser interpretados. Por otro lado, las imágenes o videos tradicionales ofrecen una vista tridimensional pero con puntos de vista restringidos. Los nuevos sistemas interactivos proporcionan una manera de percibir la información más libre, más inmersiva y más parecida a la realidad.

En cuanto a la libertad de visión, un estudio de Christou y Bühlhoff (1999), planteó si un espacio estudiado a partir de imágenes o videos parciales podría ser reconocido desde nuevos puntos de vista con la misma precisión que se reconocería en una simulación con libre movimiento. Sus conclusiones fueron que la navegación activa permite reconocer mejor el espacio. Posteriores estudios (Stamps, 2007; Conniff, et al., 2010; Higuera, López-Tarruella, et al., 2016) han apuntado resultados similares.

Influencia del grado de inmersión y presencia

Otra gran diferencia entre los nuevos sistemas de representación arquitectónica y los tradicionales es su mayor grado de inmersión.

Slater y Wilbur (1997) definen *inmersión* como la capacidad de envolver en información al usuario. Respondería a la propia cualidad del dispositivo físico de simulación, su campo de visión y posibilidad de estereoscopía. Por otro lado, consideran que *presencia* es la sensación psicológica subjetiva de “estar ahí”.

Diversos estudios han correlacionado mayores niveles de inmersión (Kalawsky, 2000) y realismo (Witmer y Singer, 1998) con mayor sensación de presencia (Baños, Botella y Alcañiz, 2004), lo cual parece razonable si se tiene en cuenta que para el evaluador de una simulación su atención se divide entre la propia simulación y los estímulos que le llegan del mundo real (Schnall, Hedge y Weaver, 2012).

Igualmente, mayores niveles de presencia se han relacionado con una respuesta más cercana a la realidad, tanto psicológica (Diemer, et al., 2015; Freeman, et al., 2000) como fisiológica (Kober, Kurzmann y Neuper, 2012), así como con una mayor capacidad de comprensión espacial (Darken, et al., 1999; Schnall, Hedge y Weaver, 2012).

El equipo de Kalisperis (Kalisperis, et al., 2006; Zikic, 2007; Nikolic, 2007) ha estudiado el efecto de diversas variables (estereoscopía, tamaño de pantalla, campo de visión, nivel de realismo y nivel de detalle) en la sensación de presencia y la comprensión espacial.

Por otra parte, una revisión reciente (McIntire, Havig y Geiselman, 2014) apunta que la estereoscopía presenta mejores resultados en tareas de estimación de dimensiones, identificación de objetos, manipulación de objetos y memoria espacial.

Evaluación de la orientación

Según Passini (1984), *wayfinding* (en castellano “encontrar el camino”), es la habilidad de las personas, tanto cognitiva como comportamental, de alcanzar su destino en el espacio. No sólo se refiere a mantener un sentido de la orientación sobre la posición actual sino a ser capaz de proyectarse mentalmente a lo largo de todo un recorrido manteniendo dicha orientación. Lo que se ha comparado con consultar un mapa mental (Kaplan, 1973).

Se ha comprobado que este *mapa mental* es funcional pero no euclidiano, de tal forma que nos permite determinar una ruta correcta para llegar a una dirección concreta pero no nos capacita para dibujar estructuras espaciales con fidelidad (McNamara, Ratcliff y McKoon, 1984). Por ejemplo, somos bastante ineficaces para interpretar cambios de dirección distintos de 90º, de tal forma que comprender la estructura de un centro histórico irregular resulta una tarea bastante más complicada que la de un área de ensanche.

También se ha comprobado que la legibilidad del espacio es un concepto clave para facilitar la orientación. A escala de ciudad, el libro del arquitecto Kevin Lynch “La imagen de la ciudad” (1977), con su segmentación del espacio público en distintos elementos estructurales (sendas, bordes, barrios, nodos y mojones), influyó a toda una generación de psicólogos ambientales. A escala de edificio, dentro del ámbito del EBD diversas investigaciones han evaluado la influencia de pistas visuales, como el color o la señalética, en la orientación de los usuarios. (Helvacioğlu y Olguntürk, 2011; Dogu y Erkip, 2000)

Esta idea de legibilidad espacial también ha permitido explicar porqué los entornos de Realidad Virtual facilitan la comprensión del espacio y la orientación; parece ser que la RV ofrece un mayor número de pistas visuales (Richardson, Montello y Hegarty, 1999).

Por ejemplo, la posibilidad que ofrecen los Head-Mounted Displays (HMD) de cambiar el punto de vista al girar la cabeza ayuda a comprender más fácilmente la posición de los objetos respecto al usuario (Chance, et al., 1998)

En cuanto a la evaluación del grado de orientación, las dos formas más habituales son la resolución de recorridos (cuando existen recorridos) (Germanchis, Cartwright y Pettit, 2005) o la indicación de puntos fuera del campo visual, midiendo el ángulo (Henry y Furness, 1993).

Diversos estudios concluyen que los entornos virtuales inmersivos facilitan la capacidad de orientación en los espacios presentados (Ragan, Bowman y Huber, 2012; Patrick, et al., 2000), al permitir la navegación activa y libre por el escenario (Peruch y Wilson, 2004; Carassa, et al., 2002; Hahm, et al., 2007). En el caso de imágenes panorámicas 360º, el único estudio encontrado (Napieralski, et al., 2014) no ha encontrado mejora en la orientación entre formato desktop y HMD.

Evaluación de la memoria espacial

La memoria espacial es la capacidad de recordar la configuración de un entorno una vez que el estímulo perceptual no está disponible y, en relación con los formatos de presentación, tiene relación con la atención que éstos son capaces de generar así como con su capacidad de mostrar los entornos de forma fácilmente interpretable (Darken, et al., 1999).

Habitualmente ésta se ha medido mediante preguntas tras visualizar el estímulo, sea acerca de la posición (Arthur, Hancock y Chrysler, 1997) o el número (Paraskeva y Koulieris, 2012) de elementos en el espacio, o sobre otras condiciones ambientales (Rohrmann y Bishop, 2002).

Algunos estudios sugieren que la presentación de la información en un contexto tridimensional (Cockburn y McKenzie, 2002) puede mejorar las tareas de memorización espacial. También son factores de influencia en la memorización espacial el campo visual (Bowman, et al., 2009) y la navegación activa (Hahm, et al., 2007).

Evaluación de la comprensión de formas y dimensiones

Una tarea clásica en el estudio de la comprensión espacial en el ámbito del diseño arquitectónico es la estimación de dimensiones, ya que es un aspecto fundamental del diseño (de Kort, et al., 2003).

La manera más sencilla de medir la percepción del tamaño es preguntar directamente al usuario. Sin embargo, como algunas personas no son hábiles en esta tarea, algunos estudios han trabajado con ratios o comparaciones (Henry y Furness, 1993) o tareas, como andar el número de pasos hasta llegar a un objetivo (Gooch y Willemsen, 2002).

Estudios previos indican que las dimensiones tienden a percibirse inferiores en las simulaciones que en la realidad, sean estas monoscópicas o estereoscópicas (Henry y Furness, 1993; Willemsen y Gooch, 2002).

También se ha comparado la estimación de dimensiones relativas entre elementos según sea su presentación mediante maqueta física o virtual (Sun, et al., 2014), concluyendo que la versión física es más precisa.

Otros estudios han investigado las diferencias en la comprensión de la estructura volumétrica del espacio. Así, Schnabel y Kvan (2003) han tratado las estrategias de reconstrucción de un puzle tridimensional según sea la forma de representación (plano, 3D en pantalla, o HMD). Aquellos que trabajaban con información 2D fueron más precisos y rápidos en el ensamblaje del volumen mientras que aquellos que visualizaron en 3D obtuvieron una mayor comprensión del objeto como ente volumétrico. En sus conclusiones apuntan el interés de esta mejor comprensión holística en trabajo con espacios arquitectónicos complejos, como el interior de la filarmónica de Berlín, donde el estudio de los planos puede aportar mucha información pero jamás podrá transmitir la sensación volumétrica como una vista subjetiva.

Schuchardt & Bowman (2007) han comprobado los beneficios de los sistemas inmersivos en la comprensión de entornos tan complejos como puedan ser cuevas subterráneas.

Por último, otra forma de evaluar de forma conjunta la comprensión de la forma y dimensiones, la orientación y la memoria espacial es pedir a los participantes del experimento la realización de bocetos (Henry y Furness, 1993; de Kort, et al., 2003). Sin embargo, esta tarea tiene la limitación de que requiere de una persona externa que evalúe la calidad de cada boceto, lo cual complica y reduce la objetividad de la tarea.

Evaluación de la comprensión a otros niveles

Existen otros aspectos relacionados con la comprensión del espacio. Por ejemplo, el grado de emoción que transmite un entorno a una persona puede ser indicador de cómo ha interiorizado ésta el espacio.

Al respecto existen estudios que relacionan mayor inmersión con mayor capacidad para “sentir” el espacio (Henry y Furness, 1993; Kuliga, et al., 2015).

También se ha preguntado al usuario acerca de posibles usos alternativos para un entorno visualizado (de Kort, et al., 2003), tarea que implica la comprensión de las condiciones del espacio físico a nivel global.

Por último, algunos trabajos han tratado la posible mejora de habilidades espaciales producida por el uso de diversos sistemas de representación. Así, por ejemplo se ha comprobado que la memorización de elementos bidimensionales mejora si estos se presentan en un contexto tridimensional que aporte pistas espaciales mnemotécnicas (Ragan, Bowman y Huber, 2012), o que la utilización de elementos de ayuda virtuales manipulables por el usuario mejora la comprensión espacial en tareas de rotación mental de figuras geométricas (Martín-Gutiérrez, et al., 2010; Rahimian y Ibrahim, 2011) o en tareas de comprensión de estructuras complejas (Limniou, Roberts y Papadopoulos, 2008; Bakdash, Linkenauger y Proffitt, 2008).

Objetivo

El objetivo de este experimento es analizar las diferencias en la comprensión de un espacio arquitectónico por parte del evaluador en función del formato de presentación de dicho espacio. En concreto se pretende comparar:

- Plano en planta, al ser un formato habitual de presentación en el ámbito del diseño arquitectónico.
- Imagen renderizada en calidad fotorrealista, al ser otro formato muy habitual. En este caso se opta por tres imágenes panorámicas 360º de forma que permitan la completa inspección del espacio.
- Entorno virtual interactivo, al ser un formato con gran auge en los últimos años y que permite al evaluador moverse libremente por el espacio a costa de un menor fotorrealismo.

Materiales y métodos

Estímulos

El espacio seleccionado como entorno a evaluar fue una sala de lactancia, ya que el uso real de este tipo de salas es eminentemente individual, lo cual eliminaba la necesidad de incorporar personajes virtuales que pudieran entorpecer una experiencia puramente espacial. Además, al equilibrar requisitos funcionales y emocionales, permitía ser utilizado en otras fases (estudios 4 y 5) de valoración de entornos arquitectónicos.

Los distintos sistemas de visualización a comparar, como se ha explicado, fueron:

- Plano visualizado online en pantalla de PC
- Imagen panorámica 360º visualizada online en pantalla de PC
- Entorno Virtual navegable visualizado online en pantalla de PC
- Realidad Virtual visualizada en Head-Mounted Display

Para la creación de los estímulos se diseñó una sala compuesta por una zona con tres puestos de lactancia con sillones y sus mesas auxiliares, un puesto independiente con mayor privacidad tras una mampara, una bancada con zona de preparación de biberones, lavamanos y cambia pañales y un cuarto anexo de almacenaje. Se consideraron los colores de las simulaciones blancos o neutros.

La versión *plano* se delineó en 2D con el software *AutoCAD 2010* y se escribieron leyendas describiendo los distintos elementos. A partir de éste, se desarrolló el modelo tridimensional con el software *SketchUp v.15*.

Una vez concluido el modelo tridimensional de la sala, para la versión *imagen panorámica 360º* se utilizó el plugin de renderizado *Vray* para *Sketchup*, donde se definieron los materiales y la iluminación y se generaron tres imágenes equirectangulares de dimensiones 5.000x2.500 píxeles comprendiendo tres puntos de vista que permitieran visualizar todo el espacio con claridad.

Por otro lado, para la versión *entorno virtual* se exportó el modelo tridimensional en formato FBX al *game engine Unity3D v.5*, donde se dispusieron los materiales y

las luces, simulando la iluminación indirecta mediante lightmaps precalculados para aumentar el realismo sin comprometer el trabajo en tiempo real, y se generó un entorno virtual interactivo ejecutable vía navegador de internet.

Por último, para la versión Realidad Virtual en Head-Mounted Display, se utilizó el plugin *Oculus Utilities for Unity*.

Las características del Head-Mounted Display utilizado fueron las siguientes:

- Cascos de Realidad Virtual Oculus DK 2
- Pantalla estereoscópica de 960 x 1080 píxeles por ojo
- Campo de visión de 100º
- Tracking de posición de la cabeza mediante giroscopios y acelerómetros
- Generación del Entorno Virtual mediante ordenador portátil
- Navegación mediante joystick

En la Figura 2.1 se muestran los distintos estímulos utilizados.

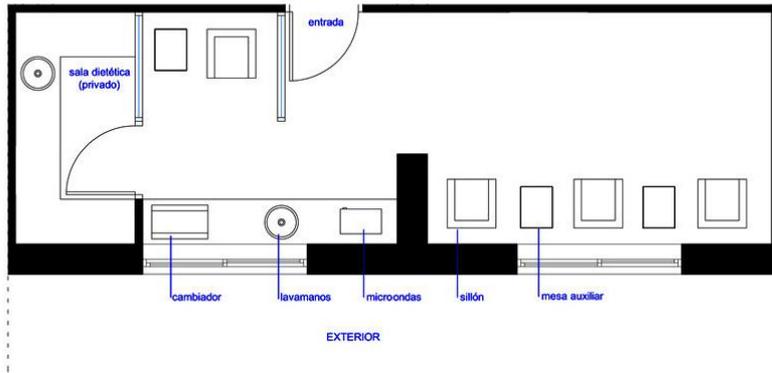


Figura 2.1 Formatos evaluados: plano (arriba), render (centro) y entorno virtual (abajo)

Cuestionario y desarrollo de la experiencia

Se diseñó un cuestionario para ser completado después de la visualización del estímulo. El cuestionario recogía:

- La pregunta filtro, “*¿Sabe usted qué es una sala de lactancia y para qué se utiliza?*” con el objeto de desechar a aquellos usuarios que contestaran negativamente.
- Preguntas relacionadas con el perfil de los participantes.
- Una pregunta de autoevaluación sobre comprensión del espacio visualizado, “*Indique, de 0 a 10, con qué claridad le ha permitido comprender el espacio la visualización anterior*”.
- Cuatro preguntas de memoria espacial, “*Indique cuántas unidades recuerda de cada elemento: [ventanas, pilares, asientos y cambiapañales]*”, similar a lo propuesto en Paraskeva & Koulrieris (2012).
- Dos preguntas de percepción espacial, “*indique las dimensiones, largo y ancho, en metros, de la zona principal de puestos de lactancia*”. Dado el pequeño tamaño del espacio y a la presencia de objetos de referencia no se vio inconveniente en preguntar directamente en unidades métricas, de forma parecida a de Kort et al., (2003).
- Una última cuestión de respuesta abierta, “*Indique cualquier sugerencia para mejorar el espacio que ha visto (que quitaría, añadiría o modificaría)*”, de tal forma que permitiera evaluar a un nivel global el grado en que se había comprendido el mismo, también de forma similar a de Kort et al., (2003).

Por la propia naturaleza del experimento (uso de un pequeño espacio y desarrollo online) no se consideró ninguna tarea de orientación ni de bocetado.

Se realizó la difusión del cuestionario online a personas que habían facilitado su correo electrónico previamente y con ayuda de diversas asociaciones relacionadas con la infancia y la lactancia. La versión con Head-Mounted Display se realizó de forma presencial en el laboratorio.

Durante el desarrollo de la experiencia se comunicaba a los participantes que observarían el espacio porque deberían contestar unas preguntas posteriormente, pero no se les explicó que debían memorizarlo, ya que el objetivo era comprobar el nivel de retentiva en una observación “normal”, o sin esfuerzo específico de memorización.

Participantes

La muestra total estudiada fue de 165 participantes. El tamaño muestral se calculó considerando un mínimo de 40 visualizaciones por estímulo, correspondiente a un error de $\pm 0,3$ para un nivel de confianza del 95% y una varianza de 1. La visualización en Head-mounted Display se efectuó posteriormente con una muestra de 15 participantes debido a limitaciones logísticas. Las características de los sujetos se recogen en la Tabla 2.1.

Formato	Frec.	%	edad	Frec.	%	género	Frec.	%
Plano PC	43	26,1%	Menor de 30	51	30,9%	Hombre	59	35,8%
imagen PC	66	40,0%	De 30 a 40	90	54,5%	Mujer	106	64,2%
EV PC	41	24,8%	De 40 a 50	18	10,9%	Total	165	100,0%
RV HMD	15	9,1%	Mayor de 50	6	3,6%			
Total	165	100,0%	Total	165	100,0%			

Tabla 2.1. Perfil demográfico de los participantes

Análisis de datos

El tratamiento estadístico se efectuó con el software SPSS v.22

a) Análisis de medias

En primer lugar se extrajeron las medias segmentadas por estímulo visualizado. Posteriormente se calcularon las medias segmentadas de los errores cometidos a partir de los errores absolutos de cada participante a cada pregunta, obtenidos como el valor absoluto de cada respuesta contestada menos el valor de la respuesta correcta. Por último, se promedió el error de las cuatro cuestiones de contaje, para obtener un valor medio de error de contaje, y el error de las dos cuestiones sobre dimensiones, para obtener un valor medio de error de dimensiones.

b) Análisis de diferencias en función del estímulo visualizado

En segundo lugar se buscaron diferencias significativas en los resultados segmentando por estímulo visualizado, mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis.

c) Análisis de respuestas abiertas

Por último se realizó un análisis de las respuestas abiertas. Para ello, en primer lugar se categorizaron las respuestas abiertas de los usuarios agrupándolas en los distintos aspectos en los que se centraban, de tal forma que se pudiera cuantificar el número de respuestas que se había dado a cada aspecto de diseño. Tras esto, se realizó un análisis de correlaciones entre los formatos visualizados y el número de respuestas de cada categoría, mediante el coeficiente Rho de Spearman, y un análisis de diferencias significativas mediante el test de Kruskal Wallis.

Resultados

a. *Análisis de medias*

Las respuestas a la autoevaluación de la comprensión espacial, en escala de 0 a 10, son las siguientes:

- Plano visualizado en PC: media=8,42 d.e.=1,55
- Imagen 360° visualizado en PC: media=7,95 d.e.=2,14
- Entorno virtual visualizado en PC: media=8,51 d.e.=1,27
- Realidad Virtual visualizado en HMD: media=8,93 d.e.=1,22

En cuanto a las respuestas de memoria espacial, las medias, errores medios respecto al valor real y desviaciones estándar se muestran en la Tabla 2.2.

Formato		Ventanas	Pilares	Asientos	Cambiador	Largo	Ancho
valor real		2	1	4	1	4,5	3
Plano PC	Media	0,81	1,49	3,70	1,09	4,63	3,00
	Error medio	-1,19	0,49	-0,30	0,09	0,13	0,00
	d.e.	1,12	1,24	0,83	0,95	0,98	0,72
Imagen 360 PC	Media	2,32	1,09	3,68	0,86	4,19	2,71
	Error medio	0,32	0,09	-0,32	-0,14	-0,31	-0,29
	d.e.	0,90	1,25	0,75	0,58	0,86	0,61
RV PC	Media	1,80	0,90	3,83	1,02	4,54	2,72
	Error medio	-0,20	-0,10	-0,17	0,02	0,04	-0,28
	d.e.	0,90	0,86	0,59	0,47	0,90	0,54
RV HMD	Media	2,07	1,27	3,73	1,20	5,10	2,77
	Error medio	0,07	0,27	-0,27	0,20	0,60	-0,23
	d.e.	0,96	0,70	0,70	0,41	0,63	0,37

Tabla 2.2 Análisis descriptivo de las respuestas de memoria espacial

La Figura 2.2 muestra la media de los errores absolutos para cada una de las preguntas de memoria espacial, así como el promedio para las preguntas de conteo y de estimación de dimensiones. Se observa como la imagen tradicional obtiene, en general, las peores valoraciones en las tareas de conteo y medidas. De igual manera, como la visualización mediante HMD reduce el error en la estimación de dimensiones.

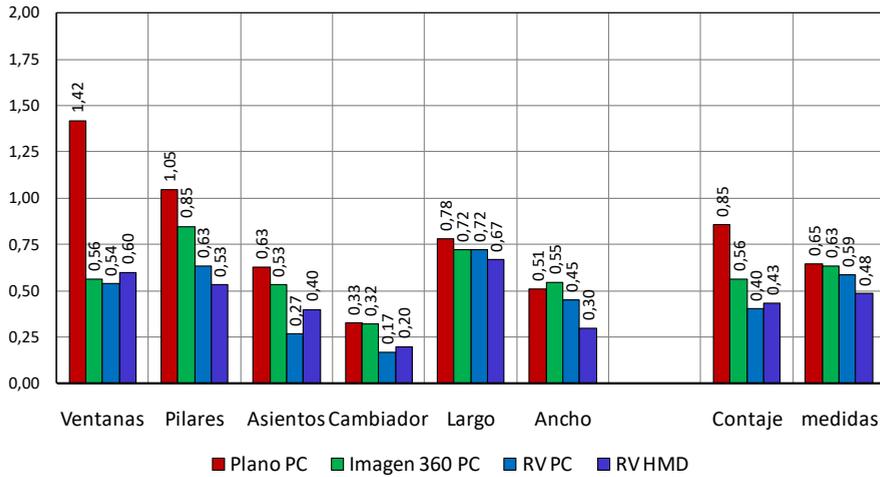


Figura 2.2 Medias segmentadas de los errores de las respuestas de memoria espacial

b. Análisis de diferencias en función del estímulo visualizado

La Tabla 2.3 muestra el resultado de la prueba de Kruskal Wallis indicando en negrita, en los casos en que se han encontrado diferencias de grupo, dónde se producen las diferencias por parejas. Se han hallado diferencias significativas para tres de las cuatro preguntas de contaje, así como la variable de contaje agrupada. En ninguna de las preguntas de estimación de dimensiones se han encontrado diferencias significativas.

Valor absoluto del error	rangos				Chi Cuadrado	significación
	PC		HMD			
	plano	imagen 360 ^e	entorno virtual	Realidad Virtual		
Ventanas	115,23	71,64	70,56	74,60	31,30	0,00
Pilares	96,85	82,39	74,78	68,47	7,87	0,05
Asientos	94,16	86,99	67,20	76,63	9,99	0,02
Cambiadores	80,38	89,16	76,71	80,60	3,76	0,29
largo	86,70	82,24	82,40	77,37	0,55	0,91
Ancho	82,93	89,89	79,40	62,73	4,97	0,17
Contaje	110,71	80,15	64,28	67,27	23,37	0,00
Dimensiones	86,12	86,39	79,73	68,07	2,28	0,52

Tabla 2.3 Análisis de diferencias de las respuestas. Test de Kruskal-Wallis

c. Análisis de respuestas abiertas

Se obtuvieron 87 comentarios o sugerencias sobre diversos aspectos del espacio visualizado. El índice de participación total, entendido como el número de respuestas sobre el de visualizaciones, fue de de 0,65 para plano, 0,56 para imagen 360º, 0,46 para entorno virtual y 0,33 para Realidad Virtual.

Las distintas respuestas fueron asignadas a ocho categorías de manera que se pudiera cuantificar el número de respuestas por categoría y por estímulo visualizado. Las categorías y un ejemplo de comentario se indican a continuación:

- Dimensiones: comentarios sobre funcionalidad relativos a la capacidad espacial, por ejemplo *“En caso de estar todos los puestos llenos, no sé si habría espacio para carritos y acompañantes. Yo tengo gemelos y en estas salas solemos entrar con el padre.”*
- Distribución: comentarios sobre funcionalidad relativos a la ordenación del espacio, por ejemplo *“Pondría más asientos juntos destinados a la lactancia y el cambiador lo pondría en otra sala, privado, con el contenedor de pañales...”*
- Microondas – cambiador: Comentario específico sobre la necesidad de separar más ambos elementos, por ejemplo *“el cambiador y el microondas en la misma encimera no me parece higiénico”*.
- Aseo: comentarios sobre la necesidad de aseo, por ejemplo *“...incluiría también un WC infantil para mamás que van con hermanos de distintas edades”*.
- Equipamiento: comentarios sobre funcionalidad relativos a diverso equipamiento o mobiliario, por ejemplo *“Añadiría una zona de paneles informativos sobre lactancia, y los asientos a poder ser sin reposabrazos”*.
- Confort: comentarios relativos al confort higrotérmico, acústico o lumínico, por ejemplo *“Que tenga calefacción y/o aire acondicionado”*.
- Intimidad: cuestiones relacionadas con la intimidad y privacidad de la sala, por ejemplo *“Colocar biombos entre los asientos”*.

- Ambiente: cuestiones sobre aspectos estéticos que hagan el espacio acogedor, por ejemplo “...algo que permita disfrutar mientras la lactancia, como imágenes relajantes, colores... Una visión de exteriores...”

La Tabla 2.4 recoge el número de respuestas adscritas a cada categoría de forma segmentada por estímulo, tanto en valor absoluto como relativo respecto al total de visualizaciones (n).

El análisis de correlaciones (Tabla 2.5) relaciona positivamente la visualización en plano con los apartados *distribución* y *microondas/cambiador* y negativamente con *ambiente*, la imagen 360º negativamente con *microondas/cambiador* y positivamente con *ambiente* y la Realidad Virtual con *dimensiones*.

El test de Kruskal Wallis con pruebas por parejas indica que las diferencias entre plano e imagen 360º son estadísticamente significativas en *microondas/cambiador* y *ambiente*.

	Pantalla PC			HMD	Total
	Plano	Imagen 360º	Entorno virtual	Realidad Virtual	
dimensiones	2 4.7%	3 4.5%	1 2.4%	3 20.0%	9 5.5%
distribución	4 9.3%	1 1.5%	2 4.9%	0 0.0%	7 4.2%
microondas cambiador	5 11.6%	0 0.0%	1 2.4%	0 0.0%	6 3.6%
aseo	2 4.7%	1 1.5%	1 2.4%	0 0.0%	4 2.4%
equipamiento	5 11.6%	11 16.7%	7 17.1%	1 6.7%	24 14.5%
confort	2 4.7%	2 3.0%	0 0.0%	0 0.0%	4 2.4%
intimidad	5 11.6%	5 7.6%	2 4.9%	0 0.0%	12 7.3%
ambiente	1 2.3%	14 21.2%	5 12.2%	1 6.7%	21 12.7%
Total	26 60.5%	37 56.1%	19 46.3%	5 33.3%	87 52.7%
n	43	66	41	15	165

Tabla 2.4 Clasificación y número de respuestas cualitativas segmentadas por estímulo

Correlaciones	Pantalla PC						HMD		Diferencias	
	Plano		Imagen 360º		Entorno virtual		Realidad Virtual		Kruskal Wallis	
	coef.	Sig.	coef.	Sig.	coef.	Sig.	coef.	Sig.	coef.	Sig.
dimensiones	-0.02	0.79	-0.03	0.68	-0.08	0.33	0.20	0.01	6.99	0.07
distribución	0.16	0.05	-0.11	0.17	0.02	0.83	-0.07	0.40	4.48	0.21
microondas cambiador	0.25	0.00	-0.16	0.04	-0.04	0.64	-0.06	0.43	10.99	0.12
aseo	0.09	0.27	-0.05	0.54	0.00	0.99	-0.05	0.52	1.49	0.68
equipamiento	-0.05	0.50	0.05	0.53	0.05	0.56	-0.07	0.35	1.62	0.65
confort	0.09	0.27	0.03	0.68	-0.09	0.25	-0.05	0.52	2.38	0.49
intimidad	0.10	0.20	0.01	0.90	-0.05	0.50	-0.09	0.26	1.49	0.68
ambiente	-0.19	0.02	0.21	0.01	-0.01	0.91	-0.06	0.45	9.02	0.03

Tabla 2.5 Análisis de correlaciones (Spearman) y diferencias (Kruskal-Wallis) en las respuestas cualitativas

Discusión y conclusiones

En el presente estudio se ha presentado un mismo diseño de sala de lactancia a una serie de participantes no vinculados al mundo del diseño arquitectónico, mostrándolas de cuatro formas diferentes, plano, render fotorrealista panorámico, entorno virtual interactivo y entorno de Realidad Virtual inmersiva, y se han medido diversos aspectos relacionados con la capacidad de comprensión espacial.

Pese a que en la autoevaluación sobre el grado de comprensión del espacio los participantes han puntuado de forma muy similar las distintas formas de presentación de estímulos, los resultados de las pruebas sí que han encontrado diferencias.

En cuanto a la memoria espacial, en la tarea de conteo de elementos vistos el plano ha tenido, en general, las peores puntuaciones mientras que los entornos interactivos las mejores. En las medias de los errores absolutos de las cuatro preguntas de conteo se encuentran diferencias significativas entre la presentación en plano frente a los formatos con visión subjetiva en primera persona.

En este caso, parece ser que la facilidad de interpretación de la información mostrada ha jugado un papel importante, es decir, el presentar la escena lo más parecida a la realidad (Darken, et al., 1999).

Cabe destacar, además, que la mayor tasa de error en la versión plano se ha producido en la ventana, un elemento que, por dimensiones, es mucho más patente en vista frontal que en planta e, igualmente, cuando se puede apreciar como entra la luz a través de ella.

Es decir, en un plano de planta una ventana es una serie de líneas mientras que en una simulación realista implica un cambio que se extiende al grado de iluminación del espacio y, por tanto, al ambiente general. Así, añadir o quitar una ventana no cambia tanto la apariencia de un plano de planta como el de una simulación del espacio.

Por otro lado, no se aprecian diferencias entre el formato más realista, la imagen, y los interactivos.

En cuanto a la estimación de dimensiones, las diferencias en las medias de los sumatorios de los errores absolutos no llegan a ser significativas, aunque se ordenan dando los mejores resultados a los entornos interactivos y, en concreto, a la visualización mediante HMD.

Esto lleva a pensar que la posibilidad de moverse libremente por el espacio ha permitido estimar ligeramente mejor las dimensiones (Christou y Bühlhoff, 1999; Conniff, et al., 2010), así como la estereoscopia (McIntire, Havig y Geiselman, 2014).

No se ha apreciado una tendencia a infraestimar dimensiones, como encuentran otros estudios (Henry y Furness, 1993) quizás debido a lo reducido del espacio presentado, que no permitía excesivo margen de error.

Los resultados más interesantes se producen en la tercera prueba, la propuesta de comentarios libres acerca del espacio. Tras categorizar las respuestas en los distintos apartados, el análisis de correlaciones encuentra una relación directa entre la visualización mediante HMD y el número de comentarios relativo a las dimensiones del recinto, lo cual apoya la idea de que inmersión y estereoscopia pueden hacer más patente la percepción de los tamaños.

De igual manera, la visualización mediante plano destaca en dos apartados relativos a la funcionalidad, como son la distribución y la cercanía entre microondas y cambiador. Estos aspectos coinciden en mostrarse muy explícitamente en la vista en planta.

Por el contrario, existe relación inversa respecto a los comentarios sobre el ambiente (principalmente orientados a usar color, plantas, cuadros, o hilo musical para hacer el espacio más acogedor). Parece ser que la visión de una abstracción de la información, como es la delineación de una vista seccionada en planta, nos hace entender el espacio desde un punto de vista más analítico y menos emocional.

Esto es corroborado por las correlaciones halladas entre la imagen renderizada, el más fotorrealista de los formatos evaluados. Presenta relación directa con los comentarios sobre el ambiente pero inversa sobre la relación microondas / cambiador. En ambos aspectos, además, la diferencia de valoraciones entre plano e imagen ha resultado estadísticamente significativa.

El entorno virtual interactivo visualizado en pantalla, que permite libre movimiento por el espacio con un realismo algo menor, ha obtenido las valoraciones más neutras en todos los aspectos.

Como resumen, parece claro que existen formatos más adecuados para según qué tipo de información se pretenda transmitir. Los planos en planta que tradicionalmente usamos los arquitectos parecen ser adecuados para transmitir información acerca de la funcionalidad de los espacios, como el análisis de distribuciones o la comprobación distancias desde un punto normativo.

Por otro lado, la presentación de imágenes renderizadas fotorrealistas, en este caso panorámicas 360º, parecen idóneas para transmitir la componente afectiva o emocional del espacio, quizá porque transmiten mejor la sensación de realidad física de un espacio construido.

Por último, los entornos virtuales interactivos han resultado ligeramente mejores para tareas de memoria espacial del espacio visualizado, tal vez por la posibilidad que ofrecen de explorar el espacio con libertad de movimientos, y de estimación de dimensiones, especialmente el HMD inmersivo y estereoscópico.

Como conclusión final, si el objetivo es transmitir de forma eficaz nuestros diseños, parece que la mejor opción es el uso combinado de medios.

ESTUDIO 3 | IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES AFECTIVOS DE UN ESPACIO

Introducción

Es un hecho que los espacios físicos afectan al estado emocional de las personas, llegando a ejercer una cierta influencia en la salud a través de sensaciones positivas o negativas (Evans, G. W., & McCoy, 1998; Devlin y Arneill, 2003). Muchos estudios han verificado que, en el ámbito sanitario, donde el usuario es física y mentalmente más frágil, un diseño adecuado puede influir, no ya sólo en la satisfacción y el bienestar del paciente, sino hasta en la cantidad de analgésicos requeridos o los tiempos de hospitalización (Ulrich, 1984) mientras que un entorno desacertado puede perjudicar el proceso de sanación (Ulrich, 1991).

Este hecho, probado a lo largo de las últimas décadas, realmente no es nada nuevo. Florence Nightingale (1863), ya en el siglo XIX advirtió que, entre otros factores, ciertos parámetros de diseño arquitectónico en los hospitales contribuían a mejorar la salud de sus pacientes, y así llegó a afirmar *“it may seem a strange principle to enunciate, as the very first requirement in a hospital, that it should do the sick no harm”*

En la actualidad, los avances en la ciencia médica y la tecnología nos han dotado de instalaciones sanitarias cuyos beneficios son incuestionables. Sin embargo, ello ha acarreado como efecto colateral una percepción un tanto institucional e intimidante de la arquitectura sanitaria (Fornara y Andrade, 2012). Se podría decir que el énfasis en perfeccionar la eficacia del acto médico ha relegado a segundo plano los requerimientos emocionales de sus usuarios.

Una vez logrado el altísimo nivel científico-técnico de las instalaciones sanitarias actuales, está cobrando cada vez más importancia la idea de humanizar la “máquina de curar” (Arneill y Devlin, 2002) mediante un enfoque centrado en el usuario.

En este sentido, de entre los factores que mejoran el bienestar de los usuarios dentro de un entorno sanitario (Devlin y Arneill, 2003), algunos, principalmente los

sensoriales, resultan más fácilmente abarcables desde un marco científico (por ejemplo, el confort higrotérmico, acústico o lumínico...) pero otros, principalmente los emocionales, resultan un tanto más etéreos o inaprensibles (por ejemplo, la privacidad, la sensación de control, la sensación de acogimiento...).

Es cierto que existe un interés en poder cuantificar cómo ciertos criterios o variables de diseño pueden afectar a estos factores intangibles y, con este objeto, se han estudiado configuraciones espaciales, acabados, iluminación, decoración o presencia de naturaleza. Sin embargo, este trabajo es extenso, porque distintos usos y distintos tipos de usuarios requieren de distintas soluciones, de tal forma que lo que funciona en una sala de espera pediátrica puede no funcionar en una unidad de cuidados intensivos, en un área de salud mental o en un centro para la tercera edad. Por eso, hay consenso en que es necesario más trabajo empírico en este campo (Nagasawa, 2000; Verderber y Fine, 2000).

Por otro lado, este tipo de estudios se ha realizado habitualmente mediante cuestionarios a los usuarios (Bruster, et al., 1994; Harris, McBride y Ross, 2002). La limitación principal de esta metodología es que (1) los conceptos consultados pueden no estar adaptados a los requerimientos específicos del espacio evaluado ni (2) corresponderse con la estructura conceptual del perfil del usuario a quien se pregunta. Así pues, resulta necesario encontrar una manera de evaluar la percepción del usuario teniendo en cuenta su propio modo de expresión.

En este sentido, la Ingeniería Kansei (KE) es un instrumento muy apropiado para el diseño orientado al usuario ya que permite conocer las preferencias de los evaluadores de un producto en su propio espacio semántico y vincularlas a variables de diseño (Nagamachi, 1995).

Objetivo

El objeto general de este estudio es identificar los factores afectivos que caracterizan dicho espacio y su influencia en la valoración del usuario, así como obtener una clasificación previa de diferentes soluciones de diseño en función de dichos factores. Este objetivo corresponde a la aplicación de la primera fase de la metodología Kansei a un espacio. La segunda fase de la metodología Kansei (vinculación de variables concretas de diseño con la valoración del usuario) se tratará en el Estudio 4.

El espacio seleccionado para su evaluación es la sala de lactancia, ya que puede pertenecer tanto al ámbito sanitario como estar integrada en muchas otras edificaciones de uso público diario, equilibra requerimientos funcionales y emocionales (por ejemplo, intimidad, seguridad o tranquilidad) y no ha sido estudiada con anterioridad.

Materiales y métodos

Estímulos

La muestra de estímulos estaba formada por un conjunto de 20 imágenes de salas de lactancia (Figura 3.1). Estas imágenes fueron seleccionadas a partir de diferentes hospitales y webs especializadas. El criterio de selección de estas imágenes fue que tuvieran la suficiente variabilidad en cuanto a los elementos de diseño. Así, se seleccionaron salas de diferentes distribuciones, equipamientos o acabados.

Ante la dificultad de controlar estas variables por tratarse de espacios reales se aleatorizaron de forma que existiera una alta variabilidad de estímulos, evitando así los posibles anidamientos (Kish, 1995). Para ello se utilizó la técnica del diagrama de afinidad (Terninko, 1997), con el objeto de organizar la información y encontrar afinidades en las imágenes seleccionadas previamente reduciendo su número inicial hasta alcanzar la cantidad definitiva.

Cuestionario y desarrollo de la experiencia

Se diseñó un cuestionario online para obtener la respuesta del usuario durante la visualización de los estímulos.

El cuestionario recogía (1) la pregunta filtro “*¿Sabe usted qué es una sala de lactancia y para qué se utiliza?*” con el objeto de desechar a aquellos usuarios que contestaran negativamente, (2) preguntas relacionadas con las características de los sujetos participantes (Tabla 3.1), (3) una pregunta sobre la valoración global de la sala, “*Si tuviera que utilizar una sala de lactancia, me gustaría que fuera ésta...*”, y (4) 25 cuestiones, a valorar mediante escala Likert de 5 puntos -2 a 2, relacionadas con la impresión afectiva de la sala.

Estos ítems fueron seleccionados siguiendo el proceso establecido por Schütte et al. (2004) y Llinares y Page (2008).

En primer lugar se recogieron el máximo número posible de adjetivos que la gente utiliza para expresar su sensación sobre el diseño de este tipo de espacios (de diferentes fuentes, como internet o revistas especializadas), resultando un total de 112 expresiones.

Después se aplicó la técnica del diagrama de afinidad (Terninko, 1997), reduciendo el número de expresiones a 25.

La difusión del cuestionario online se realizó mediante la colaboración del personal de un hospital, así como de diversas asociaciones relacionadas con la infancia y la lactancia que difundieron un vínculo que conducía a la encuesta online.

Participantes

La muestra estaba compuesta por 77 sujetos de los cuales el 34% eran hombres y el 66% mujeres (Tabla 3.1). El tamaño muestral se obtuvo con el criterio de un mínimo de 6 observaciones por cada variable a incluir en el análisis factorial, lo cual se indica como suficiente en Field (2005).

N	Edad	Género		¿Tienes hijos?			
	Frecuencia	%	Frecuencia	%			
Media	36.53	mujer	51	66.2	si	72	93.5
D.E.	4.36	hombre	26	33.8	no	5	6.5
Min / Max	21 / 47	Total	77	100.0	Total	77	100.0

Tabla 3.1 Información demográfica de los participantes

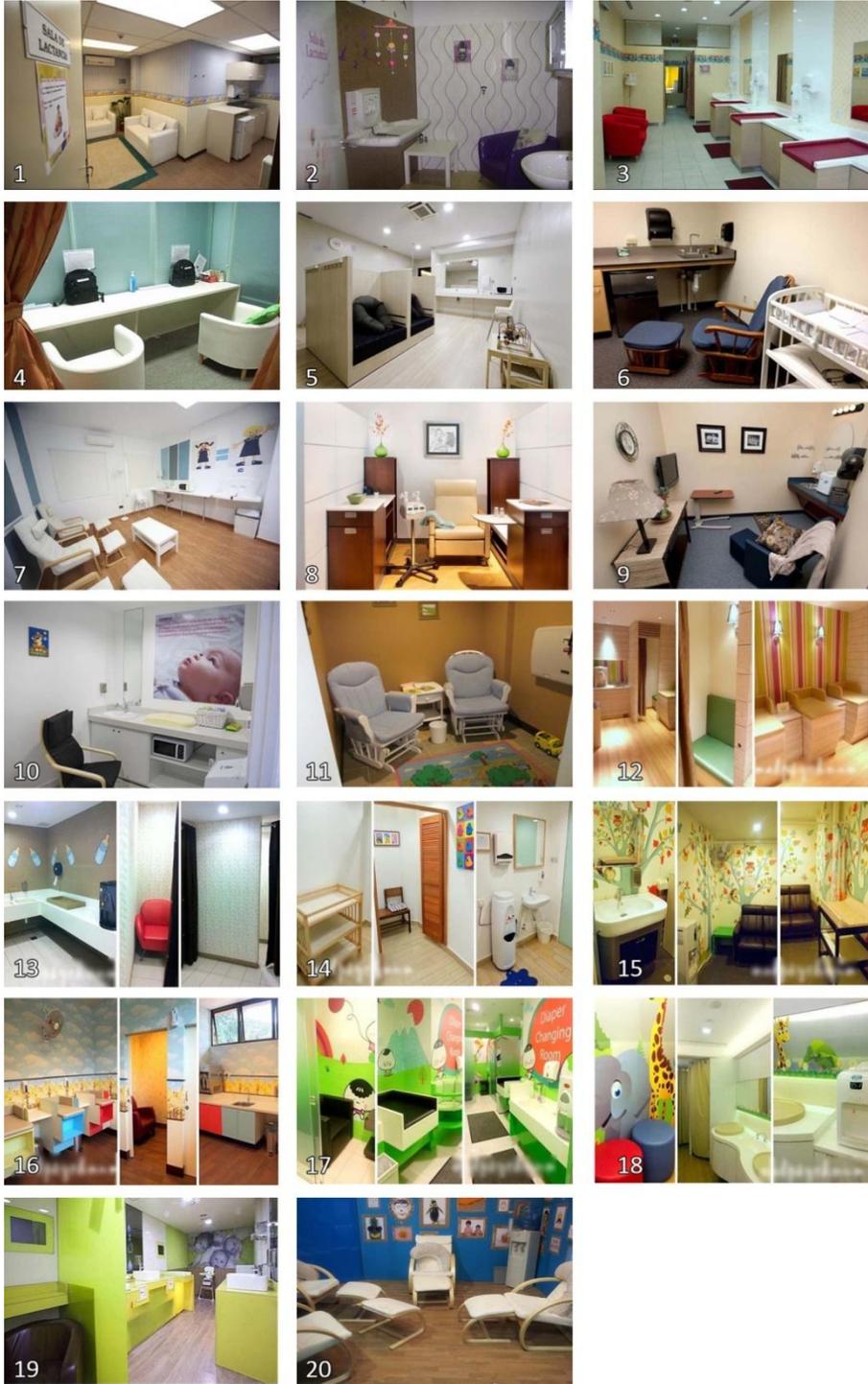


Figura 3.1. Imágenes mostradas en el Estudio 3

Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó con el software SPSS v.22.0.

a. Análisis de diferencias significativas en función del perfil del sujeto

En primer lugar se buscaron diferencias significativas en las respuestas de cuestionario según el perfil de sujeto, mediante los test U de Mann-Whitney y H de Kruskal-Wallis.

b. Obtención del espacio perceptual de los sujetos

Se realizó un análisis factorial de componentes principales para encontrar el conjunto de conceptos o factores semánticos subyacentes que utilizan las personas para describir su sensación en relación a las salas de lactancia (Basilevsky, 2009). Se seleccionaron únicamente componentes principales con *eigenvalues* superiores a uno y se utilizó rotación Varimax para obtener los ejes semánticos. Finalmente, la consistencia interna de las dimensiones fue evaluada mediante el coeficiente de Alfa de Cronbach (Streiner, 2003)..

c. Relación entre la estructura perceptual y la valoración global de la sala

A continuación se buscaron relaciones entre los factores y la valoración de los espacios visualizados mediante regresión lineal tomando como variable dependiente la valoración global de la sala y como variables independientes el conjunto de factores afectivos obtenidos en la fase anterior.

d. Obtención del espacio perceptual

Una vez obtenidos los factores semánticos, o espacio perceptual, es posible clasificar sobre ellos las distintas salas visualizadas. Además, al ser éstos linealmente independientes, es posible representar gráficamente la clasificación de salas sobre pares de factores para facilitar el análisis del espacio semántico. En este sentido, se utilizaron los pares de factores de mayor influencia en la valoración final como ejes X-Y para representar la clasificación de las salas en un espacio bidimensional.

Resultados

a. *Análisis de diferencias significativas en función del perfil del sujeto*

Los test de U de Mann-Whitney y Kruskal Wallis no muestran diferencias estadísticas significativas en el nivel 0.05 en ninguna respuesta en relación a la edad, género o tenencia de hijos (Tabla3.2).

Test	Género		Edad		Tienes hijos	
	Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Mann-Whitney	
	U	p	H	p	U	p
De calidad	241.50	0.79	14.78	0.67	124.00	0.35
espacioso	239.00	0.76	9.52	0.92	88.50	0.08
Atractivo	253.00	0.96	10.14	0.93	133.50	0.46
Innovador	218.00	0.48	14.03	0.58	164.00	0.95
Alegre	236.00	0.71	14.87	0.70	115.50	0.26
Exclusivo	224.00	0.55	17.47	0.49	134.50	0.48
Moderno	185.00	0.18	19.13	0.34	159.50	0.86
Hogareño	218.50	0.49	16.19	0.63	151.50	0.73
Frio	222.00	0.53	12.23	0.60	162.00	0.92
Sencillo	214.50	0.43	22.15	0.19	138.50	0.53
Acogedor	254.50	0.98	7.82	0.99	152.50	0.75
Privado	207.00	0.36	18.18	0.25	153.00	0.76
adjetivos Soleado	253.50	0.96	23.09	0.23	161.00	0.90
Cómodo	230.50	0.64	13.04	0.77	153.50	0.76
Funcional	248.00	0.88	14.55	0.61	127.50	0.39
Limpio	200.00	0.28	15.03	0.68	145.00	0.64
Bien equipado	248.50	0.89	9.75	0.94	116.00	0.27
Seguro	232.00	0.65	23.87	0.17	154.00	0.78
Luminoso	201.50	0.32	13.76	0.71	155.00	0.80
Claustrofóbico	248.00	0.88	17.37	0.44	161.00	0.90
Accesible	226.00	0.57	21.17	0.28	135.00	0.49
Profesional	254.00	0.97	18.82	0.41	102.00	0.15
Elegante	254.00	0.97	19.14	0.41	135.00	0.49
Original	242.00	0.80	20.40	0.32	152.00	0.75
Recargado	157.50	0.07	16.74	0.51	152.00	0.75
Valoración	218.00	0.49	18.53	0.45	163.50	0.93

Tabla 3.2 Diferencias en las respuestas en función del perfil del sujeto.

b. Obtención del espacio perceptual de los sujetos

El análisis factorial redujo el conjunto inicial de 25 adjetivos a seis factores independientes correspondientes a las componentes de “funcionalidad”, “diseño”, “calidez”, “amplitud”, “sencillez” y “luminosidad” (Tabla 3.3). Los valores de Alfa de Cronbach para estas seis dimensiones oscilaban entre 0.656 y 0.911, lo cual indica una considerable fiabilidad de acuerdo a Hair et al. (2010).

<i>adjetivo</i>	<i>Funcionalidad</i>	<i>Diseño</i>	<i>Calidez</i>	<i>Amplitud</i>	<i>Sencillez</i>	<i>Luminosidad</i>
<i>% Varianza explicada</i>	18.95	18.64	13.70	7.06	6.73	5.64
<i>Alfa de Cronbach</i>	.900	.911	.866	.723	.694	.656
Seguro	.806					
Funcional	.773					
Accesible	.702					
Bien equipado	.661		.332			
De calidad	.646	.320	.343			
Cómodo	.632	.314	.429			
Profesional	.574	.514				
Privado	.563		.393			
Límpio	.507					-.332
Moderno		.794				
Elegante		.732				
Original		.712	.419			
Innovador		.682	.546			
Exclusivo		.661				
Atractivo		.627	.510			
Frío			-.750	-.303		
Hogareño	.309		.682			
Alegre			.609			.411
Acogedor	.360	.521	.582			
Claustrofóbico			-.331	-.785		
Espacioso				.719		
Recargado					-.838	
Sencillo					.819	
Luminoso						.877
Soleado		.410				.649

Tabla 3.3 Análisis factorial

c. Relación entre la estructura perceptual y la valoración global de la sala

La regresión lineal identificó los factores relevantes en la valoración del espacio ($p < 0,01$) (Tabla 3.4). El factor con mayor influencia es la *funcionalidad* seguida, con igual peso, por los aspectos *diseño* y *calidez* y, en último lugar la *amplitud*. Los conceptos sencillez y luminosidad no afectan a la valoración de una manera estadísticamente significativa.

Evaluación	B	e.e	Beta	t	sig
Constante	2,896	,097		29,921	,000
Funcionalidad	,703	,097	,508	7,213	,000
Calidez	,541	,097	,391	5,550	,000
Diseño	,540	,097	,390	5,538	,000
Amplitud	,362	,097	,262	3,719	,000
Sencillez	,182	,097	,132	1,873	,065
Luminosidad	,061	,097	,044	,631	,530

R=0,808

Tabla 3.4 Modelo de regresión lineal entre los factores afectivos y la valoración global

d. Obtención del espacio perceptual

Se clasificaron las valoraciones de los distintos espacios visualizados en función de los seis factores subyacentes (Tabla 3.5) y, una vez conocido que los de mayor influencia en la valoración global eran *Funcionalidad*, *Calidez* y *Diseño*, se representó gráficamente la posición de las imágenes sobre los pares de ejes *Funcionalidad/Calidez* (Figura 3.2), *Funcionalidad/diseño* (Figura 3.3) y *Diseño/Calidez* (Figura 3.4).

En cuanto al factor funcionalidad, las salas mejor valoradas fueron la 2 y la 7 frente a la 4, en cuanto al factor diseño, las mejor valoradas fueron la 18 y la 19 y las peor valoradas la 11 y la 13 y, en cuanto al factor calidez, las mejor valoradas la 15 y la 18 y las peor valoradas la 4 y la 5.

Por otro lado, las imágenes que mejor satisfacían conjuntamente los ejes *Funcionalidad / Calidez* fueron la 7 y la 9, frente a la 4 y la 6 que puntuaron más negativamente, para los ejes *Funcionalidad / Diseño* fueron la 7 y la 19, frente a la 4 y la 14 y para *Diseño / Calidez* son la 15 y la 18, frente a la 3 y la 4. Por último, las imágenes que obtuvieron una mejor puntuación global en estos tres ejes fueron las 7, 18 y 19 frente a las 6, 13 y 4.

Sala	Funcionalidad	Diseño	Calidez	Amplitud	Sencillez	Luminosidad
1	-0.02	0.18	0.03	0.59	0.51	-0.41
2	1.01	-0.11	-0.57	-0.61	0.32	0.26
3	0.50	-0.57	-0.85	0.41	-0.68	0.01
4	-1.12	-0.56	-1.14	0.03	0.48	-0.93
5	0.06	0.53	-1.31	1.15	0.48	-0.48
6	-0.10	-0.38	-0.71	0.33	-0.90	-0.30
7	0.94	0.43	0.14	0.83	0.38	0.77
8	0.16	-0.20	-0.04	0.38	0.22	1.16
9	0.23	0.01	0.50	-0.57	-0.36	-0.60
10	0.54	-0.02	-0.58	0.50	0.68	-0.08
11	0.05	-1.47	0.43	-1.13	0.75	-0.44
12	-0.25	0.60	0.08	-0.22	-0.43	-0.29
13	-0.34	-1.65	-0.07	1.26	0.43	1.53
14	-0.22	-0.31	-0.39	-0.52	0.59	0.01
15	-0.02	0.39	1.01	0.12	-0.36	-0.09
16	0.01	-0.38	0.36	-0.15	-0.20	1.27
17	-0.09	0.01	-0.35	-0.49	-0.25	-0.88
18	-0.14	1.29	0.63	0.42	-0.19	-0.07
19	0.40	1.17	-0.23	-0.07	-1.09	0.39
20	-0.53	-0.29	-0.12	-0.24	0.39	0.31

Tabla 3.5 Valoración de las salas en función de los factores afectivos

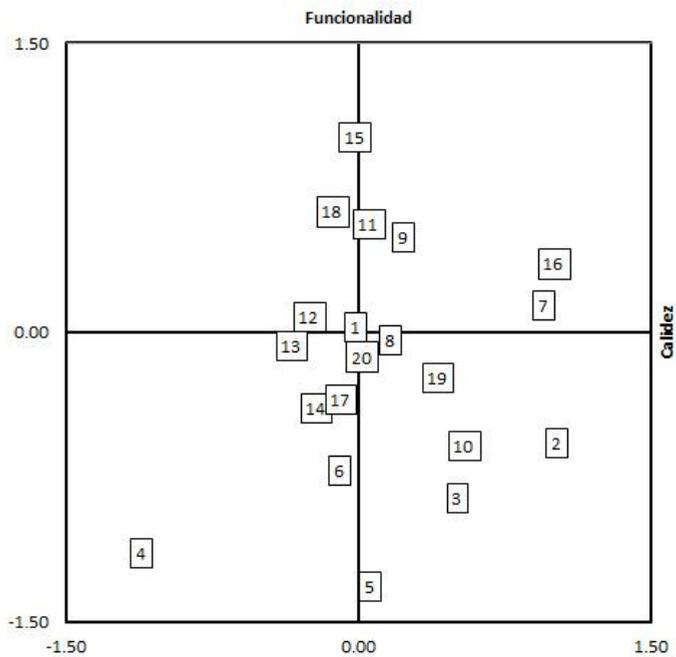


Figura 3.2 Espacio perceptual Funcionalidad / Calidez.

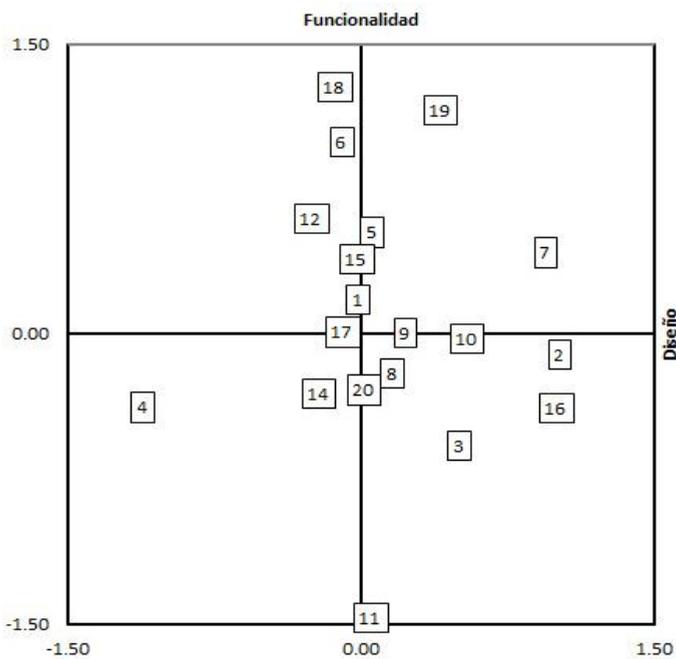


Figura 3.3 Espacio perceptual Funcionalidad / Diseño.

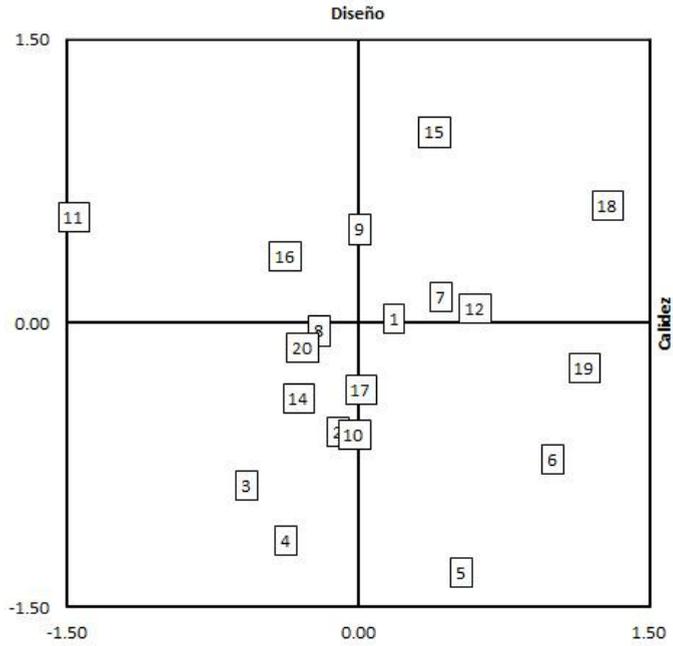


Figura 3.4 Espacio perceptual Diseño / Calidez.

Discusión y conclusiones

Este estudio pretendía identificar el conjunto de factores subyacentes en la evaluación de salas de lactancia y su relación con las preferencias del usuario con objeto de representar gráficamente el espacio perceptual del usuario de tal forma que ayude a destacar los criterios de diseño que en mayor medida satisfacen dichos factores.

Las contribuciones fundamentales se establecen a dos niveles.

Por un lado, a nivel metodológico, se ha comprobado que el uso de la Semántica Diferencial ofrece una metodología apropiada para identificar los factores particulares que definen las valoraciones para tipologías concretas con sus requerimientos específicos.

De esta manera, se pueden generar escalas de valoración adaptadas al esquema conceptual de los propios evaluadores de tal forma que permiten cuantificar sus percepciones subjetivas y relacionarlas con sus valoraciones globales. Así, considerando que las cualidades influyentes no son las mismas, por ejemplo, para una sala de lactancia que para una sucursal bancaria, una discoteca o una biblioteca, se pueden particularizar cuestionarios de evaluación para cada uno de estos espacios.

Además, la posibilidad de representar gráficamente la clasificación de las imágenes utilizadas en función de los factores de relevancia dota de una herramienta al diseñador para inferir qué criterios de diseño satisfacen los factores considerados importantes en la fase anterior. Esto, aplicado y evaluado de forma iterativa sobre variables independientes de diseño permitiría obtener una cuantificación sistemática de la relación *elemento de diseño > factor > valoración*, que es el fin último de la metodología Kansei para el diseño centrado en el usuario.

Por otro lado, a nivel de resultados de este estudio concreto:

En primer lugar, el Análisis Factorial identificó 6 factores independientes que explican el 70.72% de la varianza de los 25 adjetivos iniciales. Estos ejes son los relativos a la “*funcionalidad*” (seguro, funcional, accesible, bien equipado, de calidad...), al “*diseño*” (moderno, elegante, original, innovador...), a la “*calidez*” ([no] frío, hogareño, alegre, acogedor...), a la “*amplitud*” ([no] claustrofóbico y amplio), a la “*sencillez*” (sencillo y [no] recargado) y a la “*luminosidad*” (luminoso y soleado).

Otros estudios sobre Evidence-Based Design (EBD) coinciden en que estos factores, u otros muy similares, son deseables en espacios sanitarios (Dijkstra, Pieterse y Pruyn, 2006; Ulrich, et al., 2008).

En este sentido, el concepto de “*Funcionalidad*” como factor de diseño es un término demasiado amplio y abstracto para ser analizado en sí mismo como variable única de diseño. Sin embargo, en el ámbito del EBD sanitario, Samah et al., (2013) consideran que la funcionalidad depende, entre otras, de la distribución, el equipamiento o la accesibilidad, conceptos similares a los que ha agrupado nuestro análisis factorial. Éstos sí que han sido ampliamente estudiados individualmente, por ejemplo la seguridad (Clarkson, et al., 2004; Watkins, et al., 2011; Codinhoto, et al., 2009), la claridad espacial (Helvacioğlu y Olguntürk, 2011; Hidayetoglu, Yildirim y Akalin, 2012; Rousek y Hallbeck, 2011; Vilar, Rebelo y Noriega, 2014) o la accesibilidad (Chaudhury, Mahmood y Valente, 2009; Hignett y Masud, 2006; Gesler, et al., 2004).

El concepto “*Diseño*” se ha estudiado enormemente tanto en relación a las variables que intervienen en el diseño (Carbon, 2010; O’connor, 2006; Smardon, 1988) como a la preferencia y respuesta del usuario (Vartanian, et al., 2013; Kaplan, 1987; Ghomeshi y Jusan, 2013; Akalin, et al., 2009; Yildirim, Hidayetoglu y Capanoglu, 2011; Stamps, 1999b; Cubukcu y Kahraman, 2008; Akalin, et al., 2010). En este sentido, en el ámbito del EBD sanitario, Samah et al., (2013) consideran que

el diseño estético se consigue mediante el uso apropiado de colores, materiales y acabados.

El factor “*Calidez*” del espacio hace referencia a la componente afectiva y amable del espacio. Ulrich (1991) indica en su “*Theory of Supportive Design*” que el diseño arquitectónico puede ayudar al paciente a reducir el estrés propio de los espacios sanitarios y a incrementar su bienestar si favorece tres aspectos; una sensación de control del espacio, interacción social y distracciones positivas. Es decir, si crea un ambiente psicológicamente seguro y agradable. Parece que el factor “*Calidez*” que se ha hallado en este estudio se refiere a esa sensación. En el ámbito del EBD se ha estudiado la privacidad (Altman, 1975; Pedersen, 1997; Leino-Kilpi, et al., 2001), la sensación de familiaridad (Shin, Maxwell y Eshelman, 2004), o la influencia de la presencia de vegetación (Ulrich, 1984) y arte (Hathorn y Nanda, 2008) como forma de lograr dicha calidez.

El factor “*Amplitud*” también se encuentra en la literatura de EBD existente (Mourshed y Zhao, 2012). Así, algunos trabajos sugieren que puede tener influencia en la satisfacción y conducta de los usuarios (O’Neill, 1994) o que la falta de espacio es un estresor ambiental (Stamps, 2007)

La “*Sencillez*” es un factor con doble interpretación. Por un lado puede hacer referencia a la componente funcional anteriormente descrita en cuanto a su influencia en la comprensión y orientación espacial (Raubal y Egenhofer, 1998; O’Neill, 1992). Por otro lado puede relacionarse con la componente estética, en cuanto a su influencia en la preferencia (Herzog y Shier, 2000; Salingaros, 2011).

Por último, el factor “*Luminosidad*”, relativo a la cantidad y tipo de luz, ha sido también ampliamente estudiado en el ámbito del EBD y la ergonomía tanto en relación con las preferencias (Cubukcu y Kahraman, 2008; Oberfeld y Hecht, 2011) como con la respuesta psicológica o fisiológica de los usuarios (Hidayetoglu, Yildirim y Akalin, 2012; Edelstein, 2008a; Küller, et al., 2006; Dalke, et al., 2006).

Los factores que han mostrado una influencia significativa en la valoración o preferencia de los participantes han sido la *funcionalidad*, *calidez* y *diseño* del

espacio y, a una cierta distancia, la *amplitud*, frente a la *sencillez* o *luminosidad* que no han resultado determinantes. De aquí se ratifica la hipótesis previa de que los espacios que deben conciliar requerimientos funcionales con emocionales (como pueda ser cualquier espacio sanitario) deben considerar, además de la funcionalidad y la parte estética, la capacidad de crear una sensación de calidez o familiaridad que permita al usuario eliminar la sensación de “institucionalidad” o “deshumanización” propia de este tipo de espacios (Cedrés de Bello, 2000).

En segundo lugar, la representación gráfica de las diferentes salas sobre los ejes o factores afectivos de mayor incidencia en la valoración global facilita la evaluación de cómo distintas opciones de diseño satisfacen los diversos factores.

Analizando la clasificación de las imágenes sobre los ejes se observa que, en cuanto a la funcionalidad, las salas no sólo han de estar bien equipadas sino, además, tener una distribución clara y ordenada.

En cuanto al diseño, aquellas con un tono moderno y juvenil destacan sobre las más impersonales o clásicas.

En cuanto a la calidez, las mejor puntuadas coinciden en presentar motivos infantiles florales o animales en tonos no estridentes frente a la asepsia de las peor valoradas. Cabe destacar aquí la sala 5, con una estética moderna y minimalista y muy bien puntuada en diseño, que ha resultado ser la peor valorada en calidez.

Como conclusión final, la Semántica Diferencial, dentro del marco de la Ingeniería Kansei, puede resultar una herramienta de interés para arquitectos y diseñadores que pretendan un método objetivo con el que obtener las relaciones entre distintas propuestas o variables de diseño y las preferencias de los usuarios conociendo, en el proceso, cuáles son los factores subyacentes, específicos para cada uso, que vinculan dichas variables y resultados.

Esto permite, no solo proyectar diseños que satisfagan a los usuarios, sino tener un conocimiento más profundo del por qué de nuestros diseños.

ESTUDIO 4 | EVALUACIÓN DE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE SU COLOR

Introducción

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

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

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

Codificación de colores

En cuanto a la especificación de estímulos, encontramos estudios que han evaluado simplemente el concepto color sin siquiera muestra física (Adams y Osgood, 1973; Hupka, et al., 1997) de tal forma que el color evaluado es una idealización propia de cada evaluador.

Otros han seleccionado colores sin delimitarlo completamente sobre un sistema estandarizado que permita la reproducibilidad del estudio (Boyatzis y Varghese, 1994; Hemphill, 1996).

Otros no han garantizado la igualdad en las variables que definen un color de tal forma que, por ejemplo, se ha tendido a considerar que el color rojo es muy estimulante (frente al azul), pudiendo ocurrir que el color representativo del rojo sea oscuro y saturado mientras que el color representativo del azul sea claro y poco

saturado, de tal forma que no se puede probar que el efecto sea debido al tono en lugar de al brillo o la saturación (Valdez y Mehrabian, 1994).

Aunque una de las formas de agrupación de colores más antiguamente utilizadas ha sido la división en tonos cálidos y fríos, el color, definido como una sensación visual subjetiva producida por la luz (Wise y Wise, 1988), se define completamente mediante tres dimensiones:

Tono: es el factor que más directamente se relaciona con lo que entendemos por color, depende de la longitud de onda de la radiación lumínica (entre 400 y 700 nanómetros) y nos hace percibir los objetos desde rojos y naranjas hasta azules y violetas, pasando por todo el espectro visible.

Saturación: Define la viveza e intensidad del tono, o el grado en que se diferencia del gris. Esta dimensión también puede ser llamada cromatismo.

Brillo: Define el nivel en que un color se ubica en el gradiente continuo existente entre el blanco y el negro. Luminosidad u oscuridad son otras maneras de definir la misma dimensión. En los tonos completamente desaturados (escalas de grises) la dimensión tono deja de existir, de tal forma que las gamas acromáticas se definen únicamente por la dimensión brillo.

Se entiende ahora por qué, si el color se define por tres dimensiones independientes, y cada una de ellas con infinitos niveles, hablar de “rojo” o “azul” implica una imprecisión absoluta. Para precisar inequívocamente colores concretos, a lo largo del tiempo se han ido ideando sistemas de codificación o estandarización (Harkness, 2006; Sivik, 1997).

En cuanto al tono, los colores primarios (aquellos que no pueden ser generados como mezcla de otros, pero si pueden generar otros con su mezcla) son rojo, verde y azul (RGB) para síntesis aditiva (mezcla de luces) y cian, magenta y amarillo (CMY) para síntesis sustractiva (mezcla de pigmentos). A partir de éstos se pueden generar los secundarios y a partir de aquéllos los terciarios, de tal forma que se complete un círculo cromático.

Sin embargo, pese a la evidencia actual de la bondad de los sistemas RGB (utilizado en pantallas) y CMY (utilizado en impresión), a lo largo de la historia se han propuesto modelos de color con primarios alternativos.

Así, ya en el Siglo XV, Franciscos Aguilonius (1613) propone como primarios rojo, amarillo y azul, respaldado por muchos otros estudiosos, como Goethe en su popular “teoría de los colores” (1840), en un modelo tradicional de coloración que ha perdurado hasta la educación escolar y artística actual.

Por otro lado, desde el punto de vista de la percepción humana, Hering (1964) concluyó que cualquier color puede ser descrito en términos de relación visual entre seis colores elementales; blanco, negro, rojo, amarillo, verde y azul, algo que el genial ojo de Leonardo da Vinci había notado siglos antes (1480).

El Sistema NCS (Natural Color System), basado en los trabajos de Hering (Hård y Sivik, 1981) describe el tono a partir de una rueda donde equidistan los tonos primarios rojo, amarillo, verde y azul considerando el resto de tonos como distintos grados de combinación de dos primarios adyacentes. La codificación se completa con porcentajes de oscuridad y saturación. Este sistema es un estándar en Suecia, Noruega y España, y uno de los más utilizados en el mundo en investigación (Hård, Sivik y Tonnquist, 1996).

Por otro lado, Albert Munsell propuso en “A color notation” (1905) otro sistema basado en principios físicos y a partir de cinco tonos primarios (incluye el violeta), lo cual añade ciertas propiedades a costa de no ajustarse a la percepción humana tanto como el NCS, por lo que ha tenido que ser corregido posteriormente (Sivik, 1997). Aun así el Sistema Munsell es ampliamente usado, siendo un estándar en USA, y existiendo conversión de colores al Sistema NCS (Billmeyer y Bencuya, 1987).

Color y preferencia

Los estudios sobre color y preferencias son abundantes desde hace décadas en muy variadas disciplinas, aunque cuantos más trabajos se producen, menos consenso existe sobre unas reglas universalmente aplicables, y más aceptación cobra la idea de que la preferencia depende del contexto de aplicación del color y del perfil del evaluador (Whitfield y Wiltshire, 1990).

Ya en la primera mitad del siglo pasado, Guilford (1934) manifestó que el factor más importante en la preferencia al color es el tono y Eysenck (1941) ordenó la preferencia de tonos de la siguiente manera: azul, rojo, verde, violeta, naranja y amarillo, a partir de más de 21.000 valoraciones.

Además del tono, el brillo y la saturación influyen en la preferencia. Así, los colores claros y saturados tienden a obtener mejores valoraciones (Guilford y Smith, 1959; Hemphill, 1996).

Sin embargo, posteriores estudios advierten que el grado de preferencia cambia enormemente para pequeñas variaciones de tono (Sivik, 1974) o según el perfil del sujeto evaluador. Así, se han estudiado diferencias en la preferencia de colores por edad (Child, Hansen y Hornbeck, 1968), género (Ellis y Ficek, 2001), procedencia cultural (Choungourian, 1968) o personalidad (Choungourian, 1972).

Por otro lado, además del amplio número de investigaciones que se han centrado en el color descontextualizado como concepto en sí mismo (Gelineau, 1981; Guilford y Smith, 1959), también se ha investigado la relación preferencia / color aplicada a disciplinas tan diversas como el marketing (Aslam, 2006; Priluck Grossman y Wisenblit, 1999), la alimentación (Clydesdale, 1993; Walsh, et al., 1990), la moda (Compton, 1962) o la iluminación (Thornton, 1974).

El ámbito de la arquitectura no ha sido ajeno a este interés en relacionar preferencias con colores aplicados al espacio.

Un estudio sobre fachadas de Cubukcu y Kahraman (2008) concluye que los tonos mejor valorados son amarillo y azul, así como los colores brillantes y poco saturados. Se observa, además, que las muestras mejor valoradas son aquellas consideradas como las más naturales y relajantes.

Yildirim ha desarrollado varios estudios de preferencias de espacios interiores y su relación con ejes semánticos. En cafeterías ha contrastado tonos amarillos con violetas, siendo preferidos estos últimos (2007). En salas de estar (2011) ha ordenado la preferencia de tonos en cálidos, fríos y neutros, al igual que las valoraciones de alegría, pese a que las valoraciones de calma y paz se ordenaron en fríos, neutros y cálidos. En salones de peluquería ha comparado violeta, crema y naranja (2015), recibiendo el violeta las mejores valoraciones y el crema las peores.

Sin embargo, pese a los resultados anteriores, la revisión de Dalke y Matheson (2007) orientada a arquitectura sanitaria concluye que hay muy poca evidencia que respalde relaciones directas entre tonos y preferencias, aunque encuentra cierta consistencia en que los tonos verdosos suelen ser mal valorados y que los colores claros con baja saturación son preferibles.

Otros trabajos señalan que la relación *color / preferencia* tiene mucho que ver con la relación *color / emoción* en el sentido de que preferimos aquellos colores que nos hacen sentir bien (Kaya y Epps, 2004).

¿Es la respuesta al color directa o cognitiva?

De este modo, que los colores preferidos para fachadas sean los evaluados como más naturales, o que, en el contexto sanitario, el color “*verde quirófano*” tienda a estar peor valorado, apunta a que la preferencia no es tanto una respuesta al color en sí (a la frecuencia de onda en el espectro electromagnético) como a un proceso cognitivo espontáneo relacionado con ciertas asociaciones previas, como sugieren algunos estudios (Palmer y Schloss, 2010; Skorupski y Chittka, 2011).

Según esta hipótesis, los colores llamados “cálidos” lo serían porque evocan al sol o al fuego mientras que los “fríos” rememoran el agua o el cielo.

Al respecto, Adams y Osgood estudiaron conceptos asociados a diversos colores en un trabajo realizado en 20 países con más de 400 participantes (Adams y Osgood, 1973). Tras valorar mediante Semántica Diferencial las componentes de *Evaluación* (bueno/malo), *Potencia* (fuerte/débil) y *Actividad* (activo/pasivo) concluyeron que, como concepto, “rojo” es fuerte y activo, “amarillo” es débil, “verde” y “azul” son buenos, “blanco” es bueno y débil, “negro” es malo, fuerte y pasivo y “gris” es malo, débil y pasivo.

No es difícil encontrar en el mundo físico asociaciones entre estos colores y sus conceptos asociados, lo cual concuerda con las teorías sobre percepción visual que proponen que nuestra interpretación de la realidad a través de la visión no es tanto un proceso analítico (el cual no explica el llamado *problema inverso*) como una inferencia estadística de nuestra historia y experiencia visual (Lotto, et al., 2011).

Estudios sobre color en entornos arquitectónicos sanitarios

Aunque existe gran cantidad de investigaciones sobre el efecto de los colores en las personas, los estudios específicos en el ámbito del Evidence-Based Design sanitario son limitados.

Los efectos de los colores cálidos y fríos sobre las emociones, estudiados la mayoría de las veces sobre láminas o luces de colores puros, de forma descontextualizada y con resultados muchas veces inconsistentes pueden no servir como evidencia ante la respuesta a un entorno arquitectónico concreto.

Así la revisión de Tofle (Tofle, et al., 2004) sobre color en los espacios sanitarios indica que la evidencia sobre los efectos del color en el usuario es aún anecdótica y que la respuesta emocional de éste puede estar causada por asociaciones culturales, lo cual apuntaría a la necesidad de estudios particularizados a perfiles concretos de usuarios.

Y sin embargo, estos estudios tienen un gran interés ya que se ha visto cómo cambios en el color de espacios sanitarios pueden influir en las valoraciones generales de los usuarios (Cooper, Mohide y Gilbert, 1989).

El problema de la falta de espacios reales en los estudios

Una de las principales limitaciones en cuanto a la investigación de la respuesta al color en el ámbito arquitectónico es que poquísimos estudios han utilizado espacios reales (por ejemplo, Küller et al., 2009). La mayoría de los casos se han limitado a mostrar al sujeto imágenes de los entornos a evaluar (por ejemplo, Dijkstra et al., 2008; Yildirim et al., 2011) debido a la complejidad y coste de habilitar escenarios reales a las condiciones de experimentación.

De esta forma, aunque el uso de medios tradicionales de presentación de estímulos en investigación ha sido ampliamente estudiado (Stamps, 1990; Bateson y Hui, 1992; Bates-Brkljac, 2009; Hull y Stewart, 1992), la validez de las respuestas puede quedar condicionada a la capacidad de recreación espacial del usuario, especialmente cuando se valoran sentimientos o emociones asociadas a la experiencia espacial (“*cuánto me gusta*”, “*cómo me hace sentir*”...) que exigen de la simulación una excepcional capacidad para evocar las sutilezas y sensaciones del espacio supuesto.

Las ventajas de las nuevas tecnologías de visualización

Frente a los formatos tradicionales como el dibujo, la fotografía, el fotomontaje o el video (Zube, Simcox y Law, 1987), la evolución de la tecnología informática ha permitido la incorporación de imágenes de síntesis, sean éstas estáticas o dinámicas (Lovett, et al., 2015), aportando indudables ventajas como la no necesidad de espacio real de referencia, el control total de la simulación o un gran nivel de realismo.

En este sentido, ante el reciente desarrollo y expansión de distintos tipos de dispositivos de visualización inmersivos Head-Mounted Display (HMD), se están popularizando nuevos formatos para presentar estímulos en el ámbito de la psicología ambiental y el diseño centrado en el usuario (Wang y Tsai, 2011; Westerdahl, et al., 2006; Kuliga, et al., 2015) consiguiendo generar en los evaluadores una mayor sensación de presencia o de “estar ahí” (Kalawsky, 2000).

El principal, como se desarrolló en los apartados teóricos, es la Realidad Virtual (Kim, et al., 2013; Dunston, Arns y McGlothlin, 2010; Portman, Natapov y Fisher-Gewirtzman, 2015), representación en primera persona, estereoscópica e interactiva del entorno simulado.

Sin embargo, pese a sus innegables virtudes, quizá adolece de dos limitaciones. En primer lugar, la generación de un buen entorno de Realidad Virtual es un proceso bastante más complejo que el de una fotografía o un render. En segundo lugar, debido a que se procesa en tiempo real, no puede alcanzar el nivel de realismo de un render con tiempo ilimitado de procesado.

Sin embargo, la imagen panorámica 360°x180° (Bourke, 2006; Napieralski, et al., 2014; Gledhill, et al., 2003), como se explicó, quedando a mitad camino entre el render tradicional y el entorno virtual, en muchas ocasiones puede ser la opción más conveniente, ya que combina la facilidad de generación y el realismo visual de un render con la posibilidad de inmersión y estereoscopía de la Realidad Virtual y, si bien no permite el libre desplazamiento por el espacio, sí que admite el cambio de orientación del punto de vista, ofreciendo un cierto grado de interacción.

En una reciente comparativa entre imagen tradicional, imagen panorámica 360° y entorno virtual interactivo, visualizados todos los formatos en Head-Mounted Display, la imagen panorámica obtenía las mejores puntuaciones en cuanto a orientación espacial y ayuda al diseño (Higuera, López-Tarruella, et al., 2016).

Así pues, puede ser una herramienta de simulación muy adecuada.

Objetivo

Tras lo expuesto anteriormente, se deduce que existe una importante carencia de estudios que estudien de una manera rigurosa y global la influencia del uso del color en entornos arquitectónicos en la respuesta del usuario.

El objetivo del presente trabajo es analizar la respuesta afectiva ante la modificación cromática de una sala de lactancia.

Para ello se utilizan nueve variaciones de tono en un mismo espacio, controlando rigurosamente los colores así como el resto de variables empleadas, se utiliza un formato de presentación de estímulos altamente realista e inmersivo y se evalúa a partir de los seis ejes obtenidos en la primera fase Kansei (*Estudio 3*).

Materiales y métodos

Estímulos

El estímulo a valorar fue un conjunto de renders panorámicos 360° de la sala de lactancia diseñada en el Estudio 2, presentada en diferentes gamas cromáticas y visualizadas mediante el Head-Mounted Display Samsung Gear VR.

Se seleccionaron nueve gamas cromáticas a partir de ocho tonos equidistantes en la escala NCS (Natural Color System) más uno desaturado (Tabla 4.1). Cada gama cromática contenía tres colores, manteniendo tono y saturación, y variando oscuridad al 5%, 30% y 60%. Se utilizó el color más claro en paredes, el medio en el suelo y un pilar, y el oscuro en puertas y muebles bajo encimera. El techo, las cortinas y el resto de elementos se mantuvieron en blanco o tonos neutros desaturados.

Entorno	Tono	Color	Código NCS	Entorno	Tono	Color	Código NCS
E1	Blanco	claro	S 6000-N	E6	Rosa	claro	S 6030-R30B
		medio	S 3000-N			medio	S 3030-R30B
		oscuro	S 0500-N			oscuro	S 0530-R30B
E2	Verde	claro	S 6030-G30Y	E7	Azul	claro	S 6030-R80B
		medio	S 3030-G30Y			medio	S 3030-R80B
		oscuro	S 0530-G30Y			oscuro	S 0530-R80B
E3	Amarillo	claro	S 6030-G90Y	E8	Cian	claro	S 6030-B30G
		medio	S 3030-G90Y			medio	S 3030-B30G
		oscuro	S 0530-G90Y			oscuro	S 0530-B30G
E4	Naranja	claro	S 6030-Y30R	E9	Turquesa	claro	S 6030-B90G
		medio	S 3030-Y30R			medio	S 3030-B90G
		oscuro	S 0530-Y30R			oscuro	S 0530-B90G
E5	Rojo	claro	S 6030-Y80R				
		medio	S 3030-Y80R				
		oscuro	S 0530-Y80R				

Tabla 4.1 Gamas cromáticas evaluadas

Se desarrolló el modelo tridimensional de la sala con el software SketchUp 2015. Posteriormente se aplicaron colores, materiales e iluminación mediante el motor de renderizado *Vray* y se crearon 27 renders panorámicos 360° equirectangulares de dimensiones 5.000x2.500 píxeles de la sala de lactancia (figura 4.1), abarcando tres puntos de vista para cada uno de los nueve colores a evaluar, de forma que se pudiera acceder visualmente a todos los puntos del espacio (Figura 4.2).

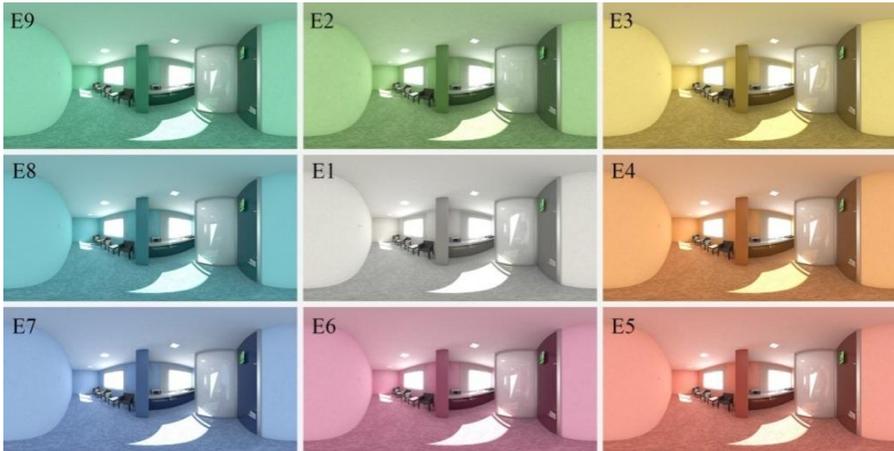


Figura 4.1 Renders equirectangulares en los nueve colores desde un punto de vista



Figura 4.2 Vista de uno de los escenarios tal como lo veían los participantes

Las imágenes se cargaron en un Head-Mounted Display Samsung Gear VR. Se utilizó este dispositivo debido a su portabilidad y capacidad de admitir nativamente imágenes panorámicas esféricas. Consiste en unas gafas de Realidad Virtual con pantalla estereoscópica de 1280 x 1440 píxeles por ojo, 96º de campo de visión y seguimiento de la posición de la cabeza mediante acelerómetros y giroscopios de precisión. La experiencia virtual es generada por un teléfono móvil Samsung Note 4 con procesador quad-core a 2.7GHz y 3GB de RAM.

Cuestionario y desarrollo de la experiencia

Se diseñó un cuestionario para ser contestado durante la visualización de los estímulos, mediante escalas tipo Likert de 5 puntos de -2 a 2. Éste recogía preguntas sobre (1) el conjunto de impresiones afectivas o factores representativos de la respuesta subjetiva del usuario, obtenido en el Estudio 3 y (2) la valoración global de la sala a partir de la expresión: “*Si tuviera que utilizar una sala de lactancia, me gustaría que fuera esta...*”. Las preguntas del cuestionario eran efectuadas por el investigador mientras el participante observaba el estímulo.

Participantes

La muestra estaba compuesta por 106 sujetos con edades comprendidas entre los 24 y los 52 años, de los cuales el 41,5% eran hombres y el 58,5% mujeres. El tamaño muestral se determinó considerando un tamaño del efecto de $f=0.4$, error $\alpha=0.05$ y poder=0.8 (Faul, et al., 2007) y se consideró, al menos, diez visualizaciones por color. Las características de los sujetos se recogen en la Tabla 4.2.

N	Edad	Género			¿Tienes hijos?		
	106	Frecuencia	%	Frecuencia	%		
media	37,21	mujer	62	58.5	si	78	74.6
d.e.	4,67	hombre	44	41.5	no	28	26.4
Min / Max	24 /52	Total	106	100.0	Total	106	100.0

Tabla 4.2 Datos demográficos de los participantes del Estudio 4

Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante el software estadístico SPSS v.22.0.

a. Análisis de diferencias en función del perfil del sujeto

En primer lugar se buscaron diferencias significativas en las respuestas de cuestionario según el perfil de sujeto, mediante los test de U de Mann-Whitney y Kruskal Wallis.

b. Impacto de las diferentes gamas cromáticas en las impresiones afectivas

A continuación, se analizó la incidencia de los diferentes colores en las impresiones afectivas o factores obtenidos en el estudio 3. Para ello se obtuvieron los coeficientes de correlación de Spearman-Brown (Eisinga, Grotenhuis y Pelzer, 2013).

c. Análisis de diferencias en función del color de la sala

Tras comprobar que las distribuciones no se ajustaban a una distribución normal se buscaron diferencias significativas en las respuestas en función del color visualizado mediante el test no paramétrico Kruskal-Wallis.

d. Incidencia de las impresiones afectivas en la valoración global de la sala

Posteriormente, se analizó la influencia de los factores afectivos en la valoración global de la sala mediante regresión lineal tomando como variable dependiente la valoración global de la sala y como variables independientes el conjunto de impresiones afectivas obtenidas en el Estudio 3.

e. Ordenación de las gamas cromáticas en la valoración global de la sala

Finalmente, a partir de la incidencia de los diferentes colores en los factores o impresiones afectivas y la incidencia de éstos sobre la valoración global, se ponderó el peso de cada color sobre la valoración global de la sala.

Resultados

a. Análisis de diferencias en función del perfil del sujeto

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el nivel 0.05 en cuanto a género, edad o tener hijos (Tabla 4.3).

Test	Género		Edad		Tener hijos		
	Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Mann-Whitney		
	U	p	H	p	U	p	
Atributos	Funcionalidad	1307.00	0.69	2.89	0.09	1224.50	0.22
	Diseño	1223.50	0.35	0.61	0.43	1238.50	0.29
	Calidez	1168.00	0.20	3.33	0.07	1189.50	0.17
	Amplitud	1285.50	0.60	2.12	0.14	1246.00	0.07
	Sencillez	1325.00	0.79	0.13	0.71	1116.50	0.06
	Luminosidad	1351.50	0.93	0.37	0.54	1337.50	0.67
Evaluación		1102.00	0.09	3.01	0.08	809.50	0.00

Tabla 4.3 Análisis de diferencias en las respuestas en función del perfil del sujeto (tests de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis)

b. Impacto de las diferentes gamas cromáticas en las impresiones afectivas

El análisis de correlaciones de Spearman muestra que (Tabla 4.4) los tonos 1 (blanco), 3 (amarillo) y 4 (naranja) obtienen, en general, las mejores valoraciones. Por el contrario, los tonos 5 (rojo), 6 (rosa) y 8 (cian) acumulan las peores valoraciones.

Rho de Spearman		E1 Blanco	E2 Verde	E3 Amarillo	E4 Naranja	E5 Rojo	E6 Rosa	E7 Azul	E8 Cian	E9 Turquesa
Funcionalidad	Co	.120	.063	.025	.062	-.196	.015	.015	-.120	-.010
	Sig	.220	.521	.796	.530	.044	.882	.882	.222	.919
Diseño	Co	.097	-.046	.014	.131	-.165	-.069	.063	-.071	.043
	Sig	.325	.638	.890	.181	.091	.480	.523	.469	.661
Calidez	Co	-.034	-.117	.158	.251	-.269	.019	.090	-.079	-.033
	Sig	.729	.234	.107	.010	.005	.843	.357	.422	.737
Amplitud	Co	.048	.005	.011	.105	-.003	.084	-.023	-.016	-.231
	Sig	.623	.956	.911	.282	.978	.391	.817	.870	.017
Sencillez	Co	.254	.103	.126	.122	-.295	.027	-.042	-.265	-.081
	Sig	.009	.292	.199	.211	.002	.782	.671	.006	.408
Luminosidad	Co	.198	.142	.117	.235	-.268	.079	-.226	-.266	-.091
	Sig	.042	.147	.233	.015	.005	.418	.020	.006	.353

Tabla 4.4 Correlaciones entre colores y atributos afectivos (correlaciones de Spearman)

Con objeto de clarificar la información se desarrollan dos conjuntos de gráficos radiales acotados entre ejes -0.4 y 0.4. El primero muestra los valores de cada variable independizados para cada entorno, de tal forma que permite comprobar la valoración que ha obtenido cada color en las diferentes dimensiones analizadas (Figura 4.3). El segundo muestra los valores de cada color agrupados por dimensiones de tal forma que permite comparar de forma visual en qué grado afecta cada tono a un factor individual (Figura 4.4).

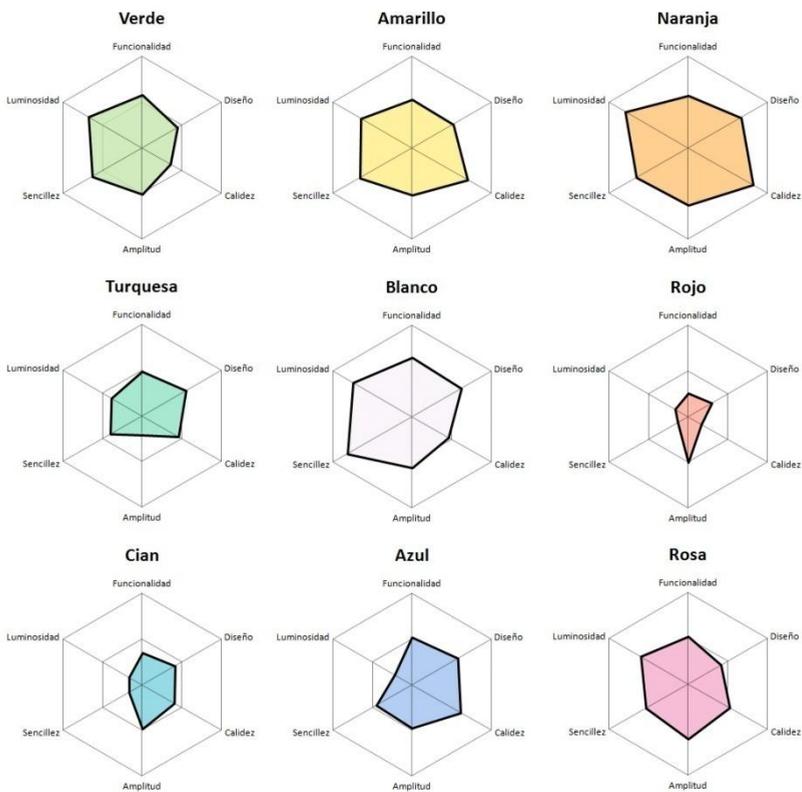


Figura 4.3 Correlación de cada color con las diferentes impresiones emocionales

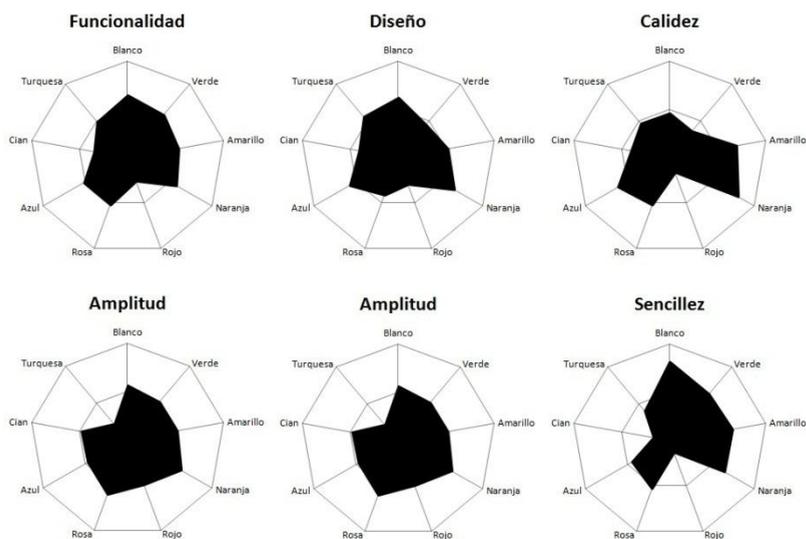


Figura 4.4 Correlación de cada impresión emocional con los diferentes colores

c. **Análisis de diferencias en función del color de la sala**

El análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticamente significativas en función del color del espacio visualizado en los aspectos Calidez ($H=17.69$ $p=0,024$), debido a los colores naranja frente a rojo ($H=3.54$ $p=0.01$), Sencillez ($H=25.67$ $p=0,00$), debido a los colores blanco y rojo ($H=3.78$ $p=0.00$) y blanco y cian ($H=3.56$ $p=0.01$) y Luminosidad ($H=31.48$ $p=0,00$), debido a los colores rojo y naranja ($H=3.45$ $p=0.02$), cian y naranja ($H=3.42$ $p=0.02$) y rojo y blanco ($H=3.21$ $p=0.02$).

d. **Incidencia de las impresiones afectivas en la valoración global de la sala**

El análisis de regresión lineal identificó los factores relevantes en las valoraciones de la sala de lactancia ($p<0.01$) (Tabla 4.5) con una bondad de ajuste de 0.79. El factor con mayor influencia es *Calidez*, seguido de *Funcionalidad* y *Amplitud*. Las evaluaciones de *Diseño*, *Sencillez* y *Luminosidad* no producen un efecto significativo en las valoraciones.

	B	SE	Beta	t	sig
(Constante)	-,246	,174		-1,409	,162
Calidez	,514	,106	,479	4,866	,000
Funcionalidad	,273	,079	,240	3,431	,001
Amplitud	,264	,127	,151	2,085	,040
Diseño	,183	,116	,149	1,580	,117
Sencillez	-,075	,110	-,053	-,682	,497
Luminosidad	,004	,103	,003	,038	,969
					R=0,790

Tabla 4.5 Modelo de regresión lineal de la valoración global de la sala a partir de los factores afectivos

e. Ordenación de las gamas cromáticas en la valoración global de la sala

A partir de las correlaciones de las diferentes gamas cromáticas sobre la respuesta afectiva de los usuarios (Tabla 4.4) y la incidencia de ésta sobre la valoración global (Tabla 4.5), es posible obtener la ordenación de los diferentes colores sobre la valoración global (Figura 4.5).

Los resultados muestran que el color naranja tiene un peso muy relevante en la valoración global, al incidir fundamentalmente en el factor *Calidez*, el de mayor peso en la valoración global. Lo mismo sucede con el amarillo y el azul, colores capaces de generar la sensación de calidez. El blanco, compensa la baja valoración en *Calidez* con sus altas contribuciones a *Funcionalidad*, generando finalmente una valoración neutra. Por otra parte, destaca la valoración negativa del color rojo, debida al sumatorio de valoraciones negativas en el conjunto de impresiones.

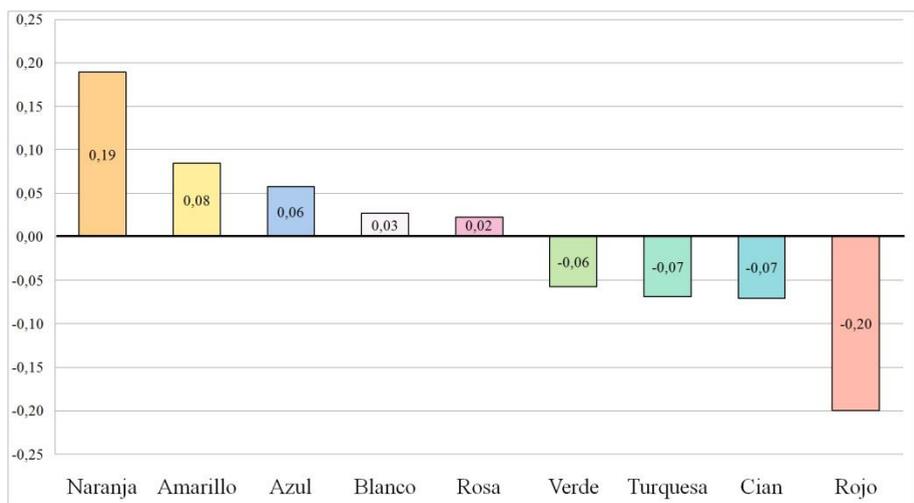


Figura 4.5 Incidencia de los colores en la valoración global (ordenados de mayor a menor incidencia)

Discusión y conclusiones

En este estudio se ha desarrollado la segunda fase de la metodología Kansei, consistente en la vinculación de parámetros de diseño (en este caso colores) con los factores afectivos fundamentales en la evaluación de salas de lactancia, obtenidos en una primera fase Kansei (Estudio 3), y con la valoración global del usuario.

En cuanto a tendencias en gamas cromáticas, se observan grandes diferencias de valoración entre tonos cercanos como el naranja y el rojo (mejor y peor valorados respectivamente) o el azul aciano y el cian. Este resultado concuerda con los estudios previos de Acking y Küller (Acking y Kuller, 1972) o Sivik (1974) que apuntan que el grado de preferencia varía mucho para pequeñas diferencias de tono, más incluso que entre distintos tonos.

Además, nos advierte que se ha de proceder con prudencia al extrapolar resultados desde un tono concreto a una gama. Así, a partir de un estudio entre colores rojo y azul (por ejemplo; Caldwell and Jones, 1984) no se debería pretender explicar diferencias entre tonos cálidos y fríos.

Sí que se observa una tendencia a valoraciones desfavorables en los colores verde, turquesa y cian, resultando unas puntuaciones muy próximas en la clasificación final. Esto es contrario a lo observado por Kaya y Epps (2004) en un estudio descontextualizado donde los tonos verdosos tendían a relacionarse con la naturaleza y ser los preferidos, pero coincide con lo advertido en otros estudios en el ámbito de la arquitectura sanitaria (Dalke y Matheson, 2007).

Esta tendencia incita a apoyar las hipótesis de Palmer (2010) y Lotto (Lotto, et al., 2011) de que la respuesta afectiva y la preferencia por ciertos colores puede ser un proceso cognitivo basado en asociaciones a experiencias visuales previas que generan atracción o rechazo. Además, en el ámbito del diseño centrado en el usuario, avala la necesidad de estudios contextualizados para usos y perfiles de usuario concretos, tal como apuntan otros autores (Whitfield y Wiltshire, 1990).

En cuanto a colores, los tonos con mejores valoraciones en general son el naranja (que no es un naranja saturado sino un tono melocotón) y el amarillo (que no es un amarillo chillón sino un tono vainilla). Otros estudios han llegado a conclusiones similares. Dijkstra (2008), en un entorno hospitalario, concluye que un ambiente naranja excita más que uno blanco pero, a su vez, es preferido. Yildirim (2011) también deduce que los tonos cálidos son los preferidos en salas de estar aunque no lo sean en otros usos (Hidayetoglu, Yildirim y Akalin, 2012; Yildirim, Akalin-Baskaya y Hidayetoglu, 2007). Este rango cromático parece combinar viveza y calidez en un grado que lo hace idóneo para espacios que requieran percibirse como acogedores.

El tono peor valorado ha sido el rojo en prácticamente todos los aspectos y alcanzando niveles significativos para los factores *calidez*, *sencillez* y *luminosidad*. En estudios previos con láminas o luces el color rojo se percibía como “fuerte” y “activo” (Adams y Osgood, 1973), resultaba excitante con connotaciones igualmente positivas o negativas (Kaya y Epps, 2004) y, a nivel fisiológico, incrementaba la excitación del sistema nervioso central (Kaiser, 1984). En este estudio, contextualizado en un uso que requiere un entorno íntimo y acogedor, parece claro que la fuerza y excitación propias del color rojo adquieren connotaciones agresivas y poco adecuadas.

El tono rosa ha recibido puntuaciones ligeramente positivas en todos los aspectos excepto diseño, resultando una valoración global neutra.

Por último, el color blanco, puntúa positivamente en todos los aspectos (destacando en funcionalidad y sencillez) excepto calidez, lo cual le relega a una posición neutra en la valoración global. Este resultado concuerda con otros previos que indican que este color es percibido como “sencillo” (Acking y Kuller, 1972; Küller, Mikellides y Janssens, 2009), y “profesional” (Stone, 2001) aunque suscita poca respuesta emocional (Hemphill, 1996) e incluso aversión o estrés (Kwallek, et al., 1997; Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008).

En cuanto a los factores, aquellos que tienen mayor peso en la valoración global son *calidez*, seguido de *funcionalidad* y *amplitud*. *Diseño* tiene un peso mucho menor y *sencillez* y *luminosidad* no tienen prácticamente ninguno. Estos resultados son coherentes con los del Estudio 3. La única diferencia existente es la alteración del orden de los factores *amplitud* y *diseño*. Esto puede deberse a dos causas: en primer lugar, el uso de imágenes de una misma sala con una única variable alterada en lugar de un amplio espectro de espacios, reduce la variabilidad del factor diseño. Por otro lado, la presentación del estímulo mediante imágenes inmersivas visualizadas en HMD frente a fotografía en PC puede acentuar la consideración del factor amplitud.

Como resumen, se puede indicar que aquellos espacios que requieren equilibrar una percepción de funcionalidad y calidez para mejorar su valoración global, como puedan ser las salas de lactancia estudiadas pero también salas de espera en edificación sanitaria, o dormitorios en residencias de ancianos, pueden verse beneficiados con la incorporación de colores suaves en tonos vainilla o melocotón, frente al institucional blanco (Kaya y Crosby, 2006), debiendo evitar el uso del rojo y, al menos en espacios sanitarios, aquellos tonos verdes y verde-azulados similares a los de uso habitual en recintos quirúrgicos.

ESTUDIO 5 | RESPUESTA EMOCIONAL Y PSICOFISIOLÓGICA ANTE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE SU COLOR

Introducción

En la introducción del Estudio 4 se expuso la respuesta del ser humano ante la presencia de color, sea ésta descontextualizada (láminas y luces) o contextualizada en el ámbito de los espacios arquitectónicos (entornos de colores), revisando el Estado del Arte sobre color y preferencias.

Posteriormente, se desarrolló un Estudio (segunda fase de la metodología Kansei) en la que se vincularon gamas cromáticas concretas (criterios de diseño) con las dimensiones afectivas de importancia en la valoración de una sala de lactancia (obtenidos en el Estudio 3) y con la valoración global de la misma.

En este trabajo se pretende evaluar la respuesta emocional y psicofisiológica del usuario ante variaciones de tono del espacio.

Color, respuesta afectiva y emociones

La relación entre color y respuesta emocional es un tema muy amplio y complejo, pues confluyen muy distintas circunstancias (contexto, perfil del sujeto, diseño del experimento...) de tal forma que, aunque existe amplia bibliografía, no es difícil encontrar resultados ambiguos o contradictorios (Mahnke, 1996).

En primer lugar hay que indicar que no todas las personas reaccionan igual ante estímulos ambientales ya que cada individuo tiene una distinta capacidad de filtrar automáticamente los estímulos ambientales menos importantes (Mehrabian, 1977b). Esta capacidad (*Stimulus Screening Ability*) ha podido ser medida (Mehrabian, 1977a) y ha mostrado cómo algunas personas (*low screeners*) se ven más afectadas que otras (*high screeners*) por efecto del color en el entorno (Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008), lo cual indicaría por qué algunos estudios obtienen resultados mientras otros no.

Existen muchos trabajos que, mediante láminas o luces de colores, han buscado asociaciones con sentimientos. Wexner (1954) advirtió que el color rojo es estimulante, el naranja molesto y el azul amable y, de igual manera, Jacobs y Suess (1975) observaron mayores niveles de ansiedad frente a colores rojos y amarillos que frente a azules. Sin embargo, estos trabajos no usaron una codificación para los colores elegidos de tal forma que no quedaron definidos los tonos utilizados ni garantizadas la igualdad de brillo y saturación.

Posteriores estudios han seguido comparando tonos cálidos y fríos (Stone, 2001; Stone, 2003) o gamas completas de colores con metodologías más rigurosas. Por ejemplo Kaya (2004), buscando asociaciones entre colores y emociones, encuentra los colores verde y azul positivos y relajantes (naturaleza), el rojo energético con asociaciones tanto positivas como negativas (amor, pasión, sangre, infierno...), el amarillo energético y positivo (sol, verano) y toda la gama de tonos intermedios con asociaciones positivas a excepción del amarillo verdoso (vómito, enfermedad).

Sin embargo, ciertos resultados contradictorios han ido mostrando una falta de consenso en los efectos del tono sobre las emociones (Jalil, Yunus y Said, 2012). Así, frente al acuerdo clásico, el tono azul también ha sido considerado estimulante (Nizam Kamaruzzaman y Marinie Ahmad Zawawi, 2010) y poco placentero (Knez, 2001; Stone, 2003). De igual manera, el color verde ha confirmado ambivalentemente efectos positivos y de relajación (Wexner, 1954; Kaya y Epps, 2004) por su relación con la naturaleza y negativos de rechazo (Dalke, et al., 2006; López-Tarruella, Llinares, et al., 2016) por su relación con los espacios sanitarios.

Por otro lado, sí que parece haber mayor consenso en que los colores claros generan emociones más positivas que los oscuros (Boyatzis y Varghese, 1994; Hemphill, 1996; Kaya y Epps, 2004).

En el ámbito de la arquitectura y el diseño de interiores, estudios contextualizados también han encontrado los tonos cálidos más estimulantes y los fríos más relajantes y espaciosos (Yildirim, Hidayetoglu y Capanoglu, 2011; Nelson, Pelech y

Foster, 1984; Whitfield y Wiltshire, 1990; Crowley, 1993; Nakshian, 1964; Rosenstein, 1985; Stone, 2003).

En el ámbito sanitario, el color naranja ha sido percibido como más estimulante y atractivo que el verde, lo cual indica que cierto nivel de excitación puede ser preferible en entornos que tienden a ser inactivos (Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008).

Por otro lado, mayor saturación de color se ha correlacionado con mejores estados de ánimo en entornos de trabajo (Küller, et al., 2006). Sin embargo, y al igual que en los estudios con láminas y luces de colores, algunas investigaciones no han podido replicar estos resultados (Ainsworth, Simpson y Casell, 1993; Kwallek, et al., 1996).

Como efecto particular cabe además destacar que el color blanco ha producido repetidamente una cierta sensación de malestar o abatimiento en algunas personas en entornos de trabajo (Kwallek y Lewis, 1990; Kwallek, et al., 1997; Kwallek, Soon y Lewis, 2007), o estrés en entornos sanitarios (Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008). Esto es un aspecto a tener en cuenta ya que es un color muy asociado a la arquitectura sanitaria (Kaya y Crosby, 2006).

En este sentido, destaca el empleo de dos escalas validadas de medida de la respuesta afectiva o emocional ante entornos físicos en la investigación del color.

La escala Semantisk Milobeskrining (SMB) de Küller

La Semantisk Milodeskrining (SMB) o “descripción semántica de entornos” (Küller, 1975) es una escala basada en los trabajos de Acking y Küller de análisis semántico sobre percepción de entornos (Acking y Küller, 1967) a partir de los trabajos de semántica diferencial de Osgood (1952). Consiste en ocho factores independientes extraídos a partir de 1050 palabras del diccionario sueco capaces de describir un entorno, y reducidas mediante Diagramas de Afinidad (Terninko, 1997) y Análisis Factorial (Osgood y Suci, 1955) tras su evaluación ante diversos espacios (Küller, 1991). Estos ocho factores son:

- Agrado (pleasantness): La cualidad del entorno de ser amable, hermoso o seguro. Se relaciona con los factores de otros autores *evaluación* (Hershberger, 1972), *friendliness* (Canter, 1969) y *grado hedónico* (Oostendorp y Berlyne, 1978).
- Complejidad (complexity): El grado de variación, intensidad, contraste y abundancia del entorno. Se relaciona con *actividad* (Canter, 1969) e *incertidumbre* (Oostendorp y Berlyne, 1978).
- Unidad (Unity): La manera en que las distintas partes de un entorno combinan en un todo coherente. Se relaciona con coherencia (Canter, 1969) y orden (Oostendorp y Berlyne, 1978).
- Demarcación espacial (Enclosedness): El grado en que el entorno se percibe como cerrado o delimitado. Se relaciona con *espacialidad* (Hershberger, 1972).
- Potencia (potency): La expresión de poder del entorno. Se relaciona con *activación* (Oostendorp y Berlyne, 1978) y *potencia* (Hershberger, 1972).
- Status social (social status): Evaluación del entorno en términos socioeconómicos.
- Familiaridad (affection): Lo reconocible, evocador o familiar del entorno. Se relaciona con *familiaridad* (Oostendorp y Berlyne, 1978).
- Originalidad (originality): Lo inusual y sorprendente del entorno. Se relaciona con *novedad estética* (Hershberger, 1972).

Estas dimensiones han sido utilizadas en diversos trabajos para describir diferentes entornos (Janssens y Küller, 1989; Janssens y Küller, 1986).

Además, la Semantisk Milobeskriving ha sido aplicada por Acking y Kuller en diversas ocasiones para evaluar la respuesta afectiva del usuario ante entornos de colores.

Así, han encontrado (Acking y Kuller, 1972) que, de forma similar a estudios previos (Sivik, 1974), (1) las diferencias dentro de un mismo tono son mayores que entre distintos tonos, (2) que no existe una correlación universal entre las componentes del color y el factor agrado, (3) que existe una cierta correlación entre oscuridad y status social o (4) demarcación espacial y (5) entre saturación y complejidad y falta de unidad.

Otros estudios corroboran que se percibe mayor complejidad y menor unidad en un espacio en color frente a otro desaturado (Küller, Mikellides y Janssens, 2009), y que algo de color mejora el estado de ánimo de los usuarios (Küller, et al., 2006).

La escala Pleasure / Arousal / Dominance (PAD) de Mehrabian y Russell

A partir de los ejes *Evaluación* (bueno/malo), *Potencia* (fuerte/débil) y *Actividad* (activo/pasivo) identificados por Osgood, Suci y Tannenbaum (Osgood, Suci y Tannenbaum, 1957) como tres dimensiones básicas del significado, Mehrabian y Russell sugirieron que sus dimensiones equivalentes a nivel emocional *Placer*, *Activación* y *Dominancia* podrían facilitar una escala de medida de las emociones y posteriores estudios han corroborado este modelo (Shaver, et al., 1987; Holbrook y Batra, 1987; Bellizzi y Hite, 1992; Brengman y Geuens, 2004). Posteriormente, Russell (1989) excluyó la Dominancia desarrollando una escala bidimensional.

Se han podido categorizar un número considerable mayor de términos relacionados con emociones a partir de la combinación de estas tres dimensiones (Russell y Mehrabian, 1977), resultando, a modo de ejemplo (extraído de la Tabla 4):

- +P+A+D: audaz, creativo, poderoso, vigoroso
- +P+A-D: sorprendido, fascinado, impresionado
- +P-A+D: cómodo, tranquilo, satisfecho
- +P-A-D: dócil, relajado, adormilado
- -P+A+D: beligerante, cruel, hostil
- -P+A-D: angustiado, humillado, molesto
- -P-A+D: despectivo, indiferente, insensible
- -P-A-D: aburrido, triste, desanimado

Dos estudios de Mehrabian (ambos en Valdez y Mehrabian, 1994) han analizado el impacto de saturación y brillo (estudio 1) y tono (estudio 2) en el modelo PAD. Los resultados muestran que mayores niveles de placer se vinculan a colores más brillantes y saturados y mayores niveles de activación y dominancia a colores menos brillantes y más saturados.

En cuanto al tono los resultados son débiles ya que las variaciones a lo largo del espectro no siguen un patrón claramente interpretable. Para *placer* se insinúa una tendencia de U a lo largo del espectro con mejores valoraciones en las gamas azules y violetas y mínimos para el amarillo, para *dominancia* la curva se invierte y para *activación* no se puede ajustar ninguna tendencia ya que los valores conforman dientes de sierra.

Respuesta fisiológica al color

La presencia de color puede producir ciertas reacciones a nivel fisiológico en el organismo. Desde luego no tan poderosas como se pretende desde ciertos ámbitos pseudocientíficos pero tampoco inexistentes. Como ocurre con las preferencias, el debate aún abierto trata de dilucidar si estas reacciones son directas o indirectas a partir de una respuesta cognitiva que activa la respuesta fisiológica (Kaiser, 1984).

En cuanto a las medidas obtenidas mediante encefalograma (EEG) se suelen investigar las ondas alfa, máximas estados de relajación y tendentes a disminuir con la actividad mental.

Gerard (1958) observó que la luz roja, frente a la azul, induce una menor prevalencia de ondas alfa, lo cual predice la hipótesis de que los colores cálidos son más activadores que los fríos. Posteriores estudios han corroborado sus resultados (Ali, 1972) aunque otros no han podido reproducirlos (Caldwell y Jones, 1984).

La respuesta galvánica de la piel (GSR), que mide la conductancia eléctrica debida a la sudoración activada por el sistema nervioso simpático, se vincula a estados de activación emocional o estrés.

Diversos estudios han encontrado diferencias en GSR entre colores cálidos y fríos (Gerard, 1958; Jacobs y Hustmyer, 1974; Wilson, 1966) aunque, de nuevo, Caldwell y Jones (1984) no las encuentran.

En cuanto a la actividad cardiaca, en los primeros estudios, Pressey (1921), Gerard (1958), y Jacobs y Hustmyer (Jacobs y Hustmyer, 1974) no encuentran diferencias

ante tonos cálidos y fríos, aunque Goldstein (1942) sí que las observa entre rojos o verdes.

Sin embargo, recientemente Elliot et al. (2016) han estudiado en concreto la banda alta de la variabilidad cardiaca (HF-HRV), controlada por la actividad parasimpática (Friedman, 2007) y tendente a disminuir ante eventos estresantes (Kreibig, 2010), comprobando una reducción de su valor relacionada con la visión de tonos rojos.

En cuanto a temperatura corporal, existen algunos estudios que han intentado comprobar si el color del entorno puede afectar a la sensación de confort térmico (Mogensen y English, 1926; Berry y C., 1961; Bennett y Rey, 1972; Fanger, Breum y Jerking, 1977), principalmente buscando diferencias entre colores cálidos y fríos, aunque ninguno ha encontrado efectos fisiológicos.

En cuanto a estudios en entornos construidos reales Kuller (2009), observa que, además de obtener unas ondas alfa inferiores en una habitación roja frente a otra azul, el ritmo cardiaco se reduce. Su argumento ante este hecho es que los colores fuertes que incrementan la excitación del sistema nervioso central producen una inhibición paradójica del sistema nervioso autónomo que decelera el ritmo cardiaco, como apuntan algunos estudios (Libby, Lacey y Lacey, 1973; Lacey y Lacey, 1970) mientras que ninguno detecta lo contrario (Caldwell y Jones, 1984; Gerard, 1958; Mikellides, 1989; Jacobs y Hustmyer, 1974).

Por último, dos estudios (Higuera, Marín, Rojas y López-Tarruella, 2016; Higuera, Marín, Rojas, López-Tarruella, et al., 2016), utilizando Realidad Virtual, han conseguido grafiar sobre plano el estado emocional de participantes a lo largo del trazado que recorrían por espacios relajantes (azules y blancos) y estresantes (rojos y negros) mediante la componente fásica del GSR y la HF-HRV.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es estudiar las relaciones entre preferencias, asociaciones afectivas, respuesta emocional y fisiológica de los usuarios ante variaciones de color en el mismo entorno, recogiendo la respuesta subjetiva mediante las escalas ampliamente utilizadas, SMB de Küller y Modelo PAD de Mehrabian y Russell y la objetiva mediante equipamiento de precisión clínica.

Debido a que el proceso experimental y analítico de este estudio es de una mayor complejidad, se ha reducido a tres el número de colores a estudiar, a partir de los nueve definidos en el Estudio 4, de tal forma que comprenden valoraciones positiva, neutra y negativa y, al mismo tiempo, tono cálido, neutro y frío, tal como ocurre en la mayoría de estudios existentes.

Materiales y métodos

Estímulos

El estímulo a estudiar fue la sala de lactancia diseñada en el Estudio 2, presentada en tres gamas cromáticas diferentes a partir del conjunto de renders panorámicos 360º creados para el Estudio 4, y visualizadas mediante el Head-Mounted Display Samsung Gear VR.

Además del color blanco, que obtuvo valoraciones neutras y ha sido usado como control en estudios previos (Kaya y Crosby, 2006), se procuró seleccionar dos colores que hubieran sido valorados positiva y negativamente y que incluyeran un tono frío y otro cálido. Así, los colores escogidos fueron E4 Naranja, E1 Blanco y E8 Cian. Las codificaciones de las tres gamas cromáticas se muestran en la Tabla 5.1 y los escenarios, tal cual los visualizaban los participantes, en la Figura 5.1.

Entorno	Tono	Color	Código NCS
E1	Blanco	claro	S 6000-N
		medio	S 3000-N
		oscuro	S 0500-N
E4	Naranja	claro	S 6030-Y30R
		medio	S 3030-Y30R
		oscuro	S 0530-Y30R
E8	Cian	claro	S 6030-B30G
		medio	S 3030-B30G
		oscuro	S 0530-B30G

Tabla 5.1 Gamas cromáticas evaluadas



Figura 5.1 Salas de lactancia visualizadas en el Estudio 5

Cuestionario

Se diseñó un cuestionario a valorar durante la visualización de los estímulos, mediante escalas tipo Likert de 5 puntos de -2 a 2. El cuestionario recogía (1) los ocho atributos afectivos del espacio de la escala SMB de Küller, (2) los tres factores emocionales de la escala PAD de Mehrabian y Russell y (3) la valoración global de la sala a partir de la expresión: *“Si tuviera que utilizar una sala de lactancia, me gustaría que fuera esta...”*.

Medición fisiológica

Se midió la actividad electrodérmica (EDA), la actividad cardíaca y temperatura de los participantes como medidas fisiológicas. Se tomó una línea base previa, basada en un audio de relajación, antes de la presentación de cada estímulo.

La señal fue registrada, pre-procesada y analizada. Para registrarla se empleó el dispositivo portátil E4 de Empatica© (www.empatica.com), el cual muestrea la señal a 4Hz entre 0.001 y 100 μ Siemens.

Participantes

La muestra estaba compuesta por 20 sujetos con edades comprendidas entre los 22 y los 45 años, de los cuales el 70% eran hombres y el 30% mujeres, con edades comprendidas entre 22 y 45 años (media=29,3; d.e.=6,2). Todos los participantes evaluaron los tres estímulos, y se contrabalanceó la presentación de estímulos para evitar efectos de orden. El tamaño muestral se determinó considerando un tamaño del efecto f de 0,3, un error α de 0,05 y poder estadístico de 0,8 (Faul, et al., 2007).

Desarrollo de la experiencia

Al comienzo de cada sesión se explicaba brevemente al participante en qué consistía el experimento. Se le sentaba en posición cómoda, se le conectaba la pulsera de medición fisiológica y se le ponía el Head-Mounted Display.

A continuación se le presentaba un audio de relajación de dos minutos como línea base previa y el primer estímulo aleatorizado, que podía visualizar el tiempo necesario, mientras se contestaban las preguntas de cuestionario. Se procedía de igual manera con los dos estímulos segundo y tercero y finalizaba la sesión. Se obtuvieron así por un lado las medidas fisiológicas y por otro los datos del cuestionario para cada uno de los tres escenarios.

Tratamiento de los datos fisiológicos

Las señales brutas extraídas del equipo de medición fueron pre-procesadas con el objeto de limpiar artefactos en las señales, dividir los segmentos temporales y calcular las métricas de interés.

La señal de EDA fue pre-procesada y analizada usando Ledalab® V3.4.8 (www.ledalab.de). El pre-procesado consistió en un diagnóstico visual de artefactos y su corrección manual. Tras ésta, no se consideró necesario llevar a cabo ningún suavizado. La señal limpia se analizó siguiendo el *Continuous Decomposition Analysis* (Benedek y Kaernbach, 2010), que permite diferenciar sus componentes tónica y fásica. La conductancia total y las componentes de cada sujeto fueron exportadas a Matlab 2012a (www.mathworks.com).

En éste, de cada estímulo se extrajeron sus medias y desviaciones típicas. Para reducir las diferencias entre sujetos, los valores fueron estandarizados tomando la fórmula " $y = \log(1 + |x|) \cdot \text{sign}(x)$ ", adaptación de la de Venables & Christie (1980) que permite posibles valores negativos.

Se extrajeron seis segmentos temporales por cada usuario, relativos a los tres estímulos y sus tres líneas bases. A continuación fueron procesadas, para cada segmento independientemente, las medidas tónica media (T) y fásica media (F).

Posteriormente, se normalizaron los valores sobre sus líneas base para cada medida de cada usuario de tal forma que se obtuvieran valores de respuesta fisiológica comparables entre sujetos.

La señal HRV fue analizada mediante un plugin de análisis de Matlab 2012a. En el dominio del tiempo se obtuvieron valores medios de ritmo cardiaco (HR) y la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de los intervalos RR sucesivos (rMSSD) y en el dominio del tiempo-frecuencia las bandas baja (nLF) y alta (nHF) normalizadas, así como su relación (nLF/HF) para las seis franjas relativas a los tres estímulos y sus tres líneas base previas. Posteriormente se normalizaron los valores de los estímulos sobre sus líneas base para cada medida de cada usuario de igual manera que con las componentes de EDA.

Los valores de temperatura corporal fueron igualmente segmentados y normalizados sobre sus líneas base para cada estímulo y cada participante.

Análisis de datos

A continuación se trataron todos los datos obtenidos con el paquete estadístico SPSS v22.

a) Análisis descriptivo

En primer lugar se estandarizaron todas las variables a sus valores z de forma que permitiera una mejor comparación de los resultados, y se extrajeron las medias totales y segmentadas por estímulo.

b) Análisis de diferencias en función del color

En segundo lugar se buscaron diferencias significativas en los resultados segmentando por orden de visualización y por estímulo visualizado, mediante el test no paramétrico de Friedman para muestras repetidas.

c) Análisis de la relación entre color, respuesta psicofisiológica y preferencia

En tercer lugar se buscaron correlaciones entre las distintas variables (color, escalas SMB, escala PAD, fisiológicas y preferencia) mediante el coeficiente Rho de Spearman. Para el estudio de las relaciones entre escalas y respuesta fisiológica se utilizaron correlaciones parciales controlando para la variable color.

d) Análisis de la preferencia a partir de análisis de regresión

Por último se efectuaron análisis de regresión lineal para obtener la bondad de predicción de la variable preferencia a partir de las distintas variables subjetivas (escalas) y objetivas (fisiológicas).

Resultados

a. Análisis descriptivo

Las medias z-estandarizadas de las respuestas de cuestionario se muestran en la Tabla 5.2 y las de las respuestas fisiológicas en la Tabla 5.3.

color		SMB Kuller							escala PAD				
		agrado	complejidad	unidad	demarcación	potencia	status social	familiaridad	originalidad	placer	activación	dominancia	preferencia
blanco	media	0,05	-0,82	0,41	-0,34	-0,31	0,27	0,35	-0,50	-0,21	-0,06	0,16	-0,09
	d.e.	0,87	0,82	1,00	1,02	0,88	0,84	0,99	0,69	0,77	0,92	1,12	0,96
cian	media	-0,39	0,18	-0,17	0,14	-0,04	0,07	-0,33	0,09	-0,08	-0,23	-0,15	-0,39
	d.e.	1,11	0,76	0,95	0,99	1,05	1,02	1,04	1,01	1,08	1,07	0,94	1,01
naranja	media	0,34	0,64	-0,24	0,20	0,35	-0,33	-0,02	0,41	0,30	0,29	-0,01	0,47
	d.e.	0,92	0,83	0,96	0,95	1,00	1,08	0,90	1,07	1,10	0,99	0,95	0,87

Tabla 5.2 Medias z-estandarizadas de la respuesta subjetiva (SMB Küller-escala PAD)

color		temperatura	EDA		HRV				
			tónica	fásica	HR	RMSSD	nLF	nHF	nLF/HF
blanco	media	-0.18	-0.19	0.31	0.22	-0.12	0.00	0.36	-0.03
	d.e.	1.04	0.69	1.11	0.98	1.12	1.01	1.57	1.07
cian	media	0.28	0.12	0.01	0.06	0.10	-0.01	-0.16	0.08
	d.e.	1.10	1.27	1.24	0.83	0.72	0.83	0.45	1.19
naranja	media	-0.10	0.07	-0.34	-0.27	0.02	0.01	-0.21	-0.05
	d.e.	0.82	0.98	0.32	1.14	1.14	1.17	0.42	0.76

Tabla 5.3 Medias z-estandarizadas de la respuesta fisiológica

Como se hipotetizaba, se puede observar que el color mejor valorado ha sido el naranja, seguido del blanco y el cian. Este mismo orden se observa en las autoevaluaciones de *agrado* y *activación*.

Las valoraciones se ordenan en sentido naranja > cian > blanco para las autoevaluaciones de *complejidad*, *potencia*, *originalidad* y *placer*, y de manera inversa para *status social*. Se clasifican en sentido blanco > naranja > cian para las autoevaluaciones de *familiaridad* y *dominancia* y se establece una diferencia entre color saturado y blanco para *unidad* y *demarcación espacial*. En cuanto a la respuesta fisiológica destaca, para *EDA – fásica* y *HR* el orden blanco > cian > naranja, para *HRV - nHF* la preeminencia del blanco y para *temperatura* la del cian.

Para facilitar su evaluación comparativa, los resultados se muestran de forma gráfica en la Figura 5.2.

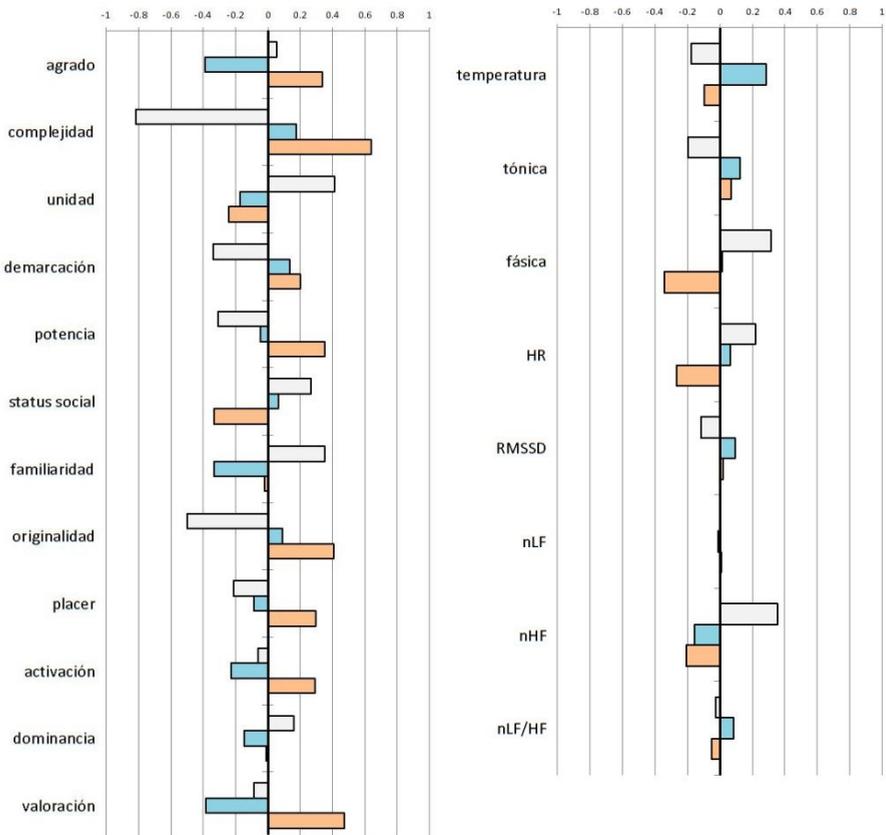


Figura 5.2 Medias z-estandarizadas de las variables psicofisiológicas

b. Análisis de diferencias en función del color

Los resultados de la prueba de Friedman para el análisis de diferencias se muestran en la Tabla 5.4. Se observan diferencias significativas entre colores a nivel de valoración global ($p=0,001$) y en las dimensiones del SMB complejidad ($p=0,00$), unidad ($p=0,02$), potencia ($p=0,03$) y originalidad ($p=0,01$). En cuanto medidas fisiológicas no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, aunque los valores de EDA-fásica quedan muy cerca ($p=0,07$).

			rangos			Chi Cuadrado	significación
			blanco	cian	naranja		
cuestionario	SMB	agrado	2.00	1.73	2.28	3.84	0.15
		complejidad	1.15	2.23	2.63	26.99	0.00
		unidad	2.45	1.78	1.78	7.48	0.02
		demarcación	1.68	2.05	2.28	4.45	0.11
		potencia	1.60	2.10	2.30	6.71	0.03
		status social	2.18	2.15	1.68	3.97	0.14
		familiaridad	2.33	1.70	1.98	4.62	0.10
		originalidad	1.53	2.08	2.40	9.94	0.01
	PAD	placer	1.95	1.88	2.18	1.15	0.56
		activación	2.00	1.80	2.20	2.64	0.39
dominancia		2.08	1.98	1.95	0.24	0.89	
	preferencia	1.80	1.75	2.45	6.59	0.04	
fisiológicas		temperatura	2.00	2.17	1.83	1.00	0.61
	EDA	tónica	2.00	2.06	1.94	0.12	0.94
		fásica	2.39	2.00	1.61	5.44	0.07
	HRV	HR	2.24	2.12	1.65	3.29	0.19
		RMSSD	2.00	1.94	2.06	0.12	0.94
		nLF	2.17	2.00	1.83	1.00	0.61
		nHF	1.82	2.12	2.06	0.82	0.66
		nLF/HF	2.18	1.94	1.88	0.82	0.66

Tabla 5.4 Análisis de diferencias por colores (prueba de Friedman)

c. Análisis de la relación entre color, respuesta psicofisiológica y preferencia

La Tabla 5.5 muestra las correlaciones de Spearman entre colores y respuesta de cuestionario. Destacan correlaciones significativas entre el color blanco y complejidad ($\rho=-0,56$; $p=0,00$), unidad ($\rho=0,29$; $p=0,02$) y originalidad ($\rho=-0,33$; $p=0,01$), color cian y preferencia ($\rho=-0,26$; $p=0,04$) y color naranja y complejidad ($\rho=0,45$; $p=0,00$), originalidad ($\rho=0,28$; $p=0,03$) y preferencia ($\rho=-0,344$; $p=0,00$).

		agrado	complejidad	unidad	demarcación	potencia	status social	familiaridad	originalidad	placer	activación	dominancia	valoración
blanco	corr.	-,035	-,560	,291	-,241	-,209	,173	,218	-,330	-,123	-,039	,114	-,081
	sig.	,791	,000	,024	,064	,109	,186	,095	,010	,351	,765	,387	,537
cian	corr.	-,197	,106	-,134	,070	-,038	,048	-,215	,053	-,074	-,172	-,108	-,262
	sig.	,132	,420	,308	,596	,771	,716	,098	,689	,575	,189	,410	,043
naranja	corr.	,232	,453	-,157	,171	,247	-,221	-,002	,277	,196	,211	-,005	,344
	sig.	,075	,000	,232	,191	,057	,090	,987	,032	,133	,105	,968	,007

Tabla 5.5 Correlaciones entre colores y respuesta de cuestionario (Rho de Spearman)

La Tabla 5.6 muestra las correlaciones entre colores y respuesta fisiológica. Destaca únicamente la correlación entre el color blanco y EDA – fásica ($\rho=0,26$; $p=0,05$).

		temperatura	EDA - tónica	EDA - fásica	HR	IBIRMSSD	nLF	nHF	nLF/HF
blanco	corr.	-,048	-,113	,258	,110	-,093	,036	,032	,022
	sig.	,722	,402	,051	,417	,501	,787	,818	,871
cian	corr.	,159	-,009	-,166	,054	,072	-,001	,052	-,012
	sig.	,233	,947	,214	,690	,601	,993	,703	,931
naranja	corr.	-,111	,122	-,095	-,161	,020	-,035	-,083	,034
	sig.	,408	,365	,476	,232	,882	,796	,544	,749

Tabla 5.6 Correlaciones entre colores y respuesta fisiológica (Rho de Spearman)

La Tabla 5.7 muestra las correlaciones entre respuestas en la escala SMB, el modelo PAD y las valoraciones. Por un lado, en cuanto a la valoración global, en el nivel $p<0,01$ destacan relaciones con placer y activación (PAD) y agrado, demarcación, status social y originalidad del espacio (SMB). Por otro lado, entre escalas, destaca la relación entre placer (PAD) y agrado, unidad y status social (SMB) y entre dominancia (PAD) y complejidad y unidad (SMB).

		agrado	complejidad	unidad	demarcación	potencia	Status social	familiaridad	originalidad	valoración
Placer	corr.	.375	-.035	.354	-.154	.020	.267	.027	.277	.464
	sig.	.003	.791	.006	.245	.879	.041	.838	.034	.000
activación	corr.	.076	.042	-.189	.162	-.118	-.143	-.013	-.052	-.295
	sig.	.566	.751	.151	.219	.374	.279	.921	.694	.024
dominancia	corr.	.069	-.383	.342	.048	-.233	.064	-.140	-.174	.079
	sig.	.602	.003	.008	.720	.076	.632	.289	.186	.552
valoración	corr.	.552	.028	.190	-.324	.219	.374	.204	.438	1.000
	sig.	.000	.836	.149	.012	.095	.004	.121	.001	

Tabla 5.7 Correlaciones entre respuestas de los ejes SMB y modelo PAD (Rho de Spearman)

Por último, la Tabla 5.8 muestra las correlaciones entre respuesta de cuestionario y respuesta fisiológica. Destacan relaciones entre unidad (SMB) y HRV rMSSD ($\rho=-0,30$; $p=0,03$), entre activación y EDA – fásica ($\rho=-0,60$; $p=0,00$) y HRV – nHF ($\rho=-0,28$; $p=0,05$) y entre valoración y EDA – fásica ($\rho=-0,40$; $p=0,00$) y HRV – nHF ($\rho=0,35$; $p=0,01$).

		agrado	complejidad	unidad	demarcación	potencia	status social	familiaridad	originalidad	placer	activación	dominancia	valoración
temperatura	cor.	-.04	-.12	-.26	.05	.07	.12	.03	-.07	.02	.18	.02	-.05
	sig.	.80	.42	.08	.75	.63	.42	.81	.63	.90	.21	.87	.74
EDA tónica	cor.	.10	.13	-.14	.01	.27	.13	.11	.02	.08	.21	-.05	-.13
	sig.	.47	.37	.35	.94	.06	.37	.46	.90	.58	.15	.73	.38
EDA fásica	cor.	-.03	.03	-.04	.27	-.09	-.06	-.17	-.03	-.19	.61	.03	-.40
	sig.	.85	.83	.76	.06	.55	.71	.24	.84	.19	.00	.81	.00
HR	cor.	.07	.07	.15	-.16	.06	.05	.21	-.06	.13	.16	-.16	-.04
	sig.	.62	.62	.31	.26	.68	.72	.15	.70	.38	.28	.27	.78
HRV RMSSD	cor.	-.25	.01	-.30	-.14	.04	.04	.07	.01	-.25	.15	-.16	-.19
	sig.	.08	.94	.03	.34	.80	.78	.64	.94	.09	.32	.28	.20
HRV nLF	cor.	.07	.07	.27	.19	-.08	.11	.07	-.01	.18	-.08	.13	-.18
	sig.	.65	.65	.07	.19	.59	.44	.61	.95	.22	.58	.39	.20
HRV nHF	cor.	.00	.14	-.07	-.10	.15	-.08	.00	.05	-.05	-.28	-.12	.35
	sig.	.98	.33	.65	.48	.32	.61	.99	.73	.74	.05	.42	.01
HRV nLFHF	cor.	.05	.12	.13	.19	-.07	.11	.03	.09	.18	-.02	.11	-.07
	sig.	.71	.40	.36	.20	.62	.46	.81	.52	.23	.90	.43	.63

Tabla 5.8 Correlaciones entre respuestas de cuestionario y fisiológica (Rho de Spearman)

d. Análisis de la preferencia a partir de análisis de regresión

Se realizó un análisis de regresión para pronosticar el valor de la variable dependiente *preferencia* a partir de las variables autoevaluadas (Tabla 5.9), consiguiendo un ajuste de 0,738 principalmente a partir de las variables agrado (SMB) y activación (PAD).

Un posterior análisis de regresión incluyendo las dos medidas fisiológicas que han mostrado correlación con la valoración (Tabla 5.10) consigue mejorar el ajuste hasta 0,797. Para garantizar la no colinealidad de las variables independientes se comprobó que los *factores de inflación de varianza* (VIF) eran menores que 10 en todos los casos (Mason y Perreault, 2012; Pituch y Stevens, 2016).

Modelo	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerancia	VIF
(Constant)	1.61	1.53		1.05	0.30		
agrado	0.51	0.15	0.42	3.38	0.00	0.62	1.62
activación	-0.21	0.09	-0.25	-2.36	0.02	0.82	1.21
placer	0.20	0.12	0.21	1.60	0.12	0.58	1.73
originalidad	0.14	0.10	0.19	1.36	0.18	0.49	2.04
status social	0.11	0.12	0.11	0.94	0.35	0.71	1.41
complejidad	0.11	0.13	0.12	0.86	0.39	0.50	2.00
demarcación	-0.09	0.12	-0.08	-0.74	0.46	0.74	1.36
potencia	-0.06	0.13	-0.06	-0.47	0.64	0.58	1.74
unidad	-0.05	0.13	-0.05	-0.41	0.69	0.74	1.36
familiaridad	0.02	0.09	0.02	0.23	0.82	0.81	1.23
dominancia	-0.01	0.13	-0.01	-0.06	0.95	0.62	1.62

Tabla 5.9 Modelo de regresión lineal de la valoración de la sala a partir de las respuestas de cuestionario. R0,738

Modelo	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerancia	VIF
(Constant)	.524	1.476		.355	.724		
agrado	.53	.15	.44	3.54	.00	.58	1.72
HRV nHF	.44	.15	.29	2.91	.01	.91	1.10
EDA fásica	-.38	.16	-.32	-2.41	.02	.51	1.94
originalidad	.14	.10	.19	1.41	.17	.49	2.04
placer	.15	.12	.16	1.23	.23	.55	1.83
status social	.11	.12	.11	.92	.36	.65	1.55
complejidad	.11	.13	.12	.88	.39	.48	2.10
potencia	-.09	.13	-.09	-.71	.48	.53	1.88
demarcación	-.06	.12	-.06	-.51	.61	.69	1.45
activación	-.05	.11	-.06	-.46	.65	.57	1.75
dominancia	.05	.12	.05	.38	.70	.60	1.65
familiaridad	.03	.09	.03	.28	.78	.80	1.25
unidad	.00	.12	.00	.02	.98	.75	1.33

Tabla 5.10 Modelo de regresión lineal de la valoración de la sala a partir de las respuestas de cuestionario y fisiológicas. R0,797

Discusión y conclusiones

En este estudio se ha presentado a 20 participantes un entorno arquitectónico en tres gamas cromáticas diferentes (blanco, naranja y cian), visualizando los estímulos mediante imágenes panorámicas 360° en Head-Mounted Display, y evaluando la preferencia o valoración global, la componente afectiva del espacio (escala SMB), la respuesta emocional del usuario (modelo PAD) y la respuesta fisiológica (temperatura, respuesta galvánica de la piel y variabilidad cardiaca).

En cuanto a la valoración global por colores, naranja se valora positivamente, blanco de forma neutra y cian negativamente, siendo esta diferencia de valoración estadísticamente significativa. La valoración se ha relacionado directamente, además, con las evaluaciones de la dimensión *placer* del modelo PAD y de *agrado*, *status social* y *originalidad* del espacio de la escala SMB. Otros estudios también han relacionado mayor preferencia por tonos cálidos frente a fríos o neutros en espacios que requieren una cierta intimidad (Yildirim, Hidayetoglu y Capanoglu, 2011).

En cuanto a la escala SMB:

Las valoraciones del factor *agrado* han sido positivas para naranja, neutras para blanco y negativas para cian, siendo el factor que en mayor medida ha correlacionado con la *valoración* global.

El color ha puntuado de forma muy superior al blanco en *originalidad* y *complejidad* y muy inferior en *unidad*, existiendo diferencias significativas. Otros estudios han llegado a similares conclusiones (Acking y Kuller, 1972).

Las valoraciones han sido positivas para naranja, neutras para cian y negativas para blanco para el factor *potencia*, llegando a niveles de significación estadística, y replicando las percepciones del estudio de Adams y Osgood (1973), y en *demarcación espacial* donde, sin llegar a niveles de significación estadística, apoya los resultados que relacionan luminosidad con la amplitud (Acking y Kuller, 1972).

Por último, como en estudios previos (Dijkstra, Pieterse y A. T. H. Pruyn, 2008) resulta curioso que las peores valoraciones en *status social* hayan sido para el color naranja, teniendo las mejores puntuaciones en agrado y valoración final.

Respecto al Modelo PAD, tanto en *placer* como en *activación*, el color naranja puntúa más positivamente que los otros dos y en *dominancia* el color cian lo hace más negativamente. Sin embargo, no se aprecian valores estadísticamente significativos respecto a los colores en ninguno de los tres ejes. Dijkstra (2008) explica al respecto “*A room resulting in too much arousal for people is not desirable, but a certain amount of arousal might be advantageous to people who are listless*”.

Por otro lado, que las correlaciones parciales, controlando para la variable color, vinculen directamente y de forma substancial la valoración final, o grado de preferencia, con agrado (SMB) y placer (PAD) resulta coherente, ya que ambas son reinterpretaciones de la valencia del estímulo (Küller, 1991). Curiosamente, la activación se ha interpretado en mayor medida como respuesta a la complejidad espacial en vez de a la potencia, que sería lo esperable (Küller, 1991; Oostendorp y Berlyne, 1978). Que la dominancia se relacione con la unidad y la falta de complejidad concuerda con las apreciaciones de Küller (1991) según las cuales, el binomio complejidad / unidad forman una variable de orden superior en la que, si la complejidad excede ampliamente a la unidad, el entorno se percibe caótico llegando a producir cambios en la sensación de control emocional, así como sentimientos de introversión.

En cuanto a la respuesta fisiológica ante los distintos colores, no se ha encontrado diferencias significativas en ninguna de las variables, aunque la componente fásica de la actividad electrodérmica ha correlacionado con un nivel de significación $p=0,051$ con el entorno blanco. Ésta se ha correlacionado en trabajos previos con valoraciones negativas de afecto o estrés psicológico (Kilpatrick, 1972; Drachen, et al., 2010).

En cuanto a la relación entre evaluaciones y respuesta fisiológica, controlando para color, destacan dos variables fisiológicas y dos respuestas de cuestionario. Por un

lado, la componente fásica de la actividad electrodérmica presenta relación inversa respecto a la valoración global ($\rho=-0,40$; $p=0,00$) y directa respecto a la activación (PAD) ($\rho=0,60$; $p=0,00$). Por otro, la banda alta de la variabilidad cardiaca, vinculada a la respuesta parasimpática (Billman, 2013) del sistema nervioso autónomo encargado de la disminución de estrés del organismo (McCorry, 2007), presenta relación directa con la valoración ($\rho=0,35$; $p=0,01$) e inversa con la activación (PAD) ($\rho=-0,28$; $p=0,05$).

Por otro lado, se ha encontrado una cierta relación ($p<0,05$) entre la dimensión *unidad* (SMB) y la variable del HRV rMSSD, aunque debido al poco consenso sobre su relación con los estados emocionales (Kreibig, 2010) no se considera un resultado de interés.

Por último, los análisis de regresión muestran que la preferencia por un espacio se puede interpretar en términos de valencia y activación, y que las variables fisiológicas EDA fásica y HRV nHF pueden tener un valor a la hora de completar la autoevaluación de ésta última, mejorando incluso la predicción.

La respuesta de dos índices fisiológicos vinculados con estados emocionales, no a colores concretos sino a la activación y la valoración final de un espacio, incita a apoyar la hipótesis de que la exposición a ciertos colores en el entorno no produce respuestas fisiológicas directas en las personas, sino que debe existir un proceso cognitivo – emocional interno en la persona (Kaiser, 1984) que dirige ambas reacciones consciente e inconsciente.

Si tal hipótesis es cierta, el planteamiento a la hora de abarcar un proceso de diseño centrado en el usuario parece que debe pasar, en primer lugar, por efectuar una perfecta delimitación del perfil de usuario para quien se pretende diseñar y, en segundo lugar, por estudiar en detalle sus preferencias en términos de valencia o agrado y activación, en cuya dimensión pueden ser de ayuda los registros psicofisiológicos.

Como conclusión final, cabe mencionar dos limitaciones; un número relativamente bajo de participantes y el uso de tres únicos estímulos. Futuros trabajos pretenden,

por un lado, ampliar el tamaño muestral y, por otro, considerar mayor variabilidad de estímulos presentados mediante Realidad Virtual, de forma que se pueda apreciar de una forma más dinámica la influencia de los distintos factores de diseño en la percepción y en la respuesta psicofisiológica del usuario.

Dicho esto, la principal aportación del presente estudio, aparte de los resultados concretos obtenidos respecto al color, es poner de manifiesto las relaciones entre los diversos procedimientos evaluados para obtener la respuesta emocional del usuario ante un espacio físico, así como su bondad a la hora de ser aplicados en el ámbito del diseño centrado en el usuario.

ESTUDIO 6 | RESPUESTA EMOCIONAL Y PSICOFISIOLÓGICA ANTE UN ESPACIO EN FUNCIÓN DE LA PRESENCIA DE NATURALEZA

Introducción

Efecto de la presencia de naturaleza en el ser humano

El término “*biofilia*”, acuñado inicialmente por el psicólogo Erich Fromm (Fromm, 1973) y desarrollado por el biólogo Edward Osborne Wilson (Wilson, 1984) sugiere que los seres humanos, del mismo modo que hemos desarrollado fobias o reacciones instintivas ante potenciales amenazas del entorno a lo largo de miles de años de evolución (alerta ante ruidos, aversión a la exposición ante elementos perjudiciales, reacciones fisiológicas ante la percepción de ataque), también hemos adquirido una afinidad innata por todo lo viviente, quizá originada por la dependencia de la naturaleza (luz, agua, aire, tierra, vegetación, animales...) para nuestra subsistencia.

Aunque en el último siglo los avances en ciencia y tecnología nos han permitido alcanzar una mayor calidad de vida a costa, en muchas ocasiones, de perder el vínculo directo con la tierra, esta “filia” o atracción por la naturaleza parece seguir latente en nuestro interior. Quizá por ello hoy en día la naturaleza sigue teniendo un papel predominante en nuestros destinos turísticos, nuestras actividades de ocio, e incluso en la decoración de nuestros hogares.

En el ámbito del diseño arquitectónico, a medida que van satisfaciendo requisitos básicos como el acceso a la vivienda, el confort físico, la funcionalidad... comienzan a cobrar importancia otros conceptos como la sostenibilidad o el diseño centrado en el usuario (Bullinger, et al., 2010). Entre ambos se puede encontrar el diseño biofílico (Kellert, Heerwagen y Mador, 2011) que pretende integrar la naturaleza en los entornos antrópicos para producir un mayor bienestar en las personas.

En este sentido, existe un gran número de estudios en el ámbito de la psicología ambiental que han verificado la eficacia de la percepción de elementos naturales en el incremento de la habitabilidad, bienestar general o la disminución de estrés

(Ulrich, 1986; Kaplan, 1995; Hartig, et al., 2003; Smith, 2007; Mayer, et al., 2009; White, et al., 2010; Andrade y Devlin, 2015).

Aunque la mayoría de éstos se basaban en la respuesta subjetiva del participante (entrevistas, cuestionarios...) tras exponerse a distintos estímulos, existen algunos estudios que han registrado su respuesta involuntaria mediante distintas soluciones de medición psicofisiológica; electroencefalograma, electrocardiograma, actividad electrodérmica... (Parsons, et al., 1998; Ulrich, 1981).

Sin embargo, no se ha encontrado ningún estudio que analice la respuesta voluntaria (mediante cuestionario) y la involuntaria (mediante medición psicofisiológica) centrada en los conceptos de percepción de “biofília” y habitabilidad de espacios interiores de vivienda.

Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es analizar la respuesta emocional y psicofisiológica de las personas ante espacios interiores residenciales en función de la presencia de naturaleza.

Para ello, se diseñó un experimento en el que los participantes visualizaron imágenes de interiores residenciales percibidas como “muy biofílicas” y “muy poco biofílicas” mientras se registraba su actividad electrodérmica y, posteriormente cumplimentaban un cuestionario valorando los espacios mostrados.

Materiales y métodos

Estímulos

Los estímulos a mostrar a los participantes fueron dos grupos de imágenes de interiores residenciales. Para la selección de estas imágenes se reunió a tres personas (uno de ellos arquitecto), se les explicó el concepto de “*biofilia*” y se les pidió que, a partir de una base de imágenes mucho mayor, las clasificaran según el grado de “*biofilia*” o “*afinidad a la naturaleza*”.

A partir de dicha clasificación se seleccionaron 30 imágenes (cinco salas de estar, cinco comedores, cinco cocinas, cinco dormitorios, cinco baños y cinco exteriores) de las percibidas como “más biofílicas” o “naturales”, que coincidían en mostrar acabados en madera, tonos claros y luminosos, ventanas y vistas al exterior, iluminación natural y vegetación, y 30 imágenes de las percibidas como “menos biofílicas” o “más artificiales” que coincidían en mostrar (en general) acabados de apariencia industrial (hormigón, acero, alicatados), tonos apagados o negros y ausencia de vistas al exterior, iluminación natural o vegetación (Figura 6.1).

El planteamiento del experimento consistía en considerar cada grupo de 30 imágenes (grupos “natural” y “artificial”) como un único estímulo global, tanto en las respuestas mediante cuestionario como en las mediciones psicofisiológicas, de tal forma que los resultados no correspondieran con una imagen concreta e individual sino con una percepción global.

Se crearon dos videos, uno con las imágenes “naturales” y otro con las “artificiales”. Cada video consistía en un audio de dos minutos con instrucciones para la relajación del participante, para obtener un estado inicial común, o línea base, que permitiera trabajar con los registros psicofisiológicos, y un slideshow de las 30 imágenes seleccionadas de dos minutos de duración (cuatro segundos por imagen).



Figura 6.1 Ejemplo de estímulos del grupo “natural” (arriba) y “artificial” (abajo)

Cuestionario

Se diseñó un cuestionario para obtener la respuesta voluntaria del participante ante cada grupo de imágenes después de visualizar el estímulo. El cuestionario informaba previamente que las preguntas se formulaban en general, para el global de las imágenes visualizadas.

Tras apuntar el investigador el estímulo visualizado (“natural” o “artificial”) y el orden de visualización (ya que el estudio se hizo contrabalanceado), el participante indicaba su edad y sexo y procedía a contestar las preguntas sobre el estímulo visualizado, a partir de escalas tipo Likert de 7 puntos.

Un primer grupo de preguntas hacía referencia a la escala PAD (Pleasure / Arousal / Dominance) de medición de las emociones de los psicólogos Mehrabian y Russell (Mehrabian y J. A. Russell, 1974; Russell y Mehrabian, 1977) de uso extendido para la valoración emocional de espacios (Akalin, et al., 2010; Gifford, et al., 2000;

Brengman y Geuens, 2004; Machleit y Eroglu, 2000), adaptada a la evaluación de espacios interiores a partir de traducciones al castellano validadas de la escala (Gurbindo y Ortega Ruano, 1989; Yani y Foxall, 2002):

- *“Grado de bienestar: En general, los espacios que he visto me hacen sentir...:”* valorando desde -3 (molesto, infeliz, triste...) hasta 3 (contento, feliz, alegre...).

- *“Grado de activación: En general, los espacios que he visto me hacen sentir...:”* valorando desde -3 (calmado, relajado, apagado...) hasta 3 (excitado, estimulado, inquieto).

- *“Grado de dominancia: En general, los espacios que he visto me hacen sentir...:”* valorando desde -3 (inseguro, influenciado, con falta de control...) hasta 3 (seguro, influyente, con control...).

Posteriormente, se preguntaba por el grado de estrés que producía el estímulo visualizado, ya que la bibliografía lo relaciona tanto con la percepción o no de naturaleza (Ulrich, et al., 1991) como con aumentos de la actividad electrodérmica de las personas (Cacioppo, Tassinary y Berntson, 2007):

- *“Grado de estrés: En general, los espacios que he visto me hacen sentir...:”* valorando desde -3 (paz, serenidad...) hasta 3 (estrés, ansiedad...)

Por último, se preguntaba sobre el grado de biofilia (o sostenibilidad percibida, no real, la cual es un concepto mucho más complejo y no cuantificable a partir de simples fotografías) y de habitabilidad. Estas preguntas servirían para validar la selección de imágenes usada como estímulo y para correlacionar con el resto de respuestas:

- *“Grado de biofilia: En general, los espacios que he visto me parecen...:”* valorando desde -3 (no naturales, no ecológicos...) hasta 3 (naturales, ecológicos...).

- *“Grado de habitabilidad: En general, los espacios que he visto me parecen...:”* valorando desde -3 (inhabitables, no acondicionados, no adecuados...) hasta 3 (habitables, acondicionados, adecuados...).

Medición psicofisiológica

Se decidió obtener la actividad electrodérmica (*Electrodermal activity* o EDA) de los participantes como medida psicofisiológica.

La señal fue registrada, pre-procesada y analizada. Para registrarla se empleó el dispositivo portátil E4 de Empatica© (www.empatica.com), el cual muestrea la señal a 4Hz entre 0.001 y 100 μ Siemens.

Participantes

En el estudio participaron 10 sujetos que visualizaron ambos estímulos de forma contrabalanceada de forma que se minimizaran los efectos de orden, resultando un total de 20 visualizaciones. cinco sujetos vieron primero el estímulo “natural” y cinco el “artificial”. Cinco sujetos eran hombres y cinco mujeres. Todos los sujetos se encontraban en la franja de edad entre 30 y 40 años. El tamaño muestral se calculó de forma que ofreciera una precisión razonable considerando que se trata de un estudio inicial.

Desarrollo del experimento

Al comienzo de cada sesión se explicaba brevemente al participante en qué consistía el experimento. Se le sentaba en posición cómoda delante de una pantalla de PC de 21 pulgadas.

Se le indicaba que iba a escuchar un audio de relajación de unos dos minutos de duración y que debía seguir sus instrucciones, y que posteriormente vería una serie de fotografías de interiores residenciales durante otros dos minutos, debiendo estudiarlas con atención ya que a continuación debería contestar una serie de preguntas sobre las mismas.

Se recomendaba al participante que imaginara que en breve iba a residir en un espacio similar al visualizado, con objeto de inducir una mayor sensación de presencia.

A continuación se le conectaba la pulsera de medición psicofisiológica, se le indicaba que moviese la mano lo menos posible y se proyectaba en pantalla uno de los videos (según el orden de contrabalanceo). Tras acabar el video se pasaba la encuesta. Posteriormente, tras un breve descanso, se procedía de igual manera con el segundo video y finalizaba la sesión.

Tratamiento de los datos

Se obtuvieron por un lado las medidas de EDA y por otro los datos del cuestionario.

La señal de EDA fue pre-procesada y analizada usando Ledalab® V3.4.8 (www.ledalab.de). El pre-procesado consistió en un diagnóstico visual de artefactos y su corrección manual. Tras esta, no se consideró necesario llevar a cabo ningún suavizado.

La señal corregida se analizó siguiendo el Continuous Decomposition Analysis (CDA; Benedek and Kaernbach, 2010), el cual permite discernir sus componentes tónica y fásica. La conductancia total y las componentes de cada sujeto fueron exportadas a Matlab 2012a.

Aquí, de cada estímulo se extrajeron sus medias y desviaciones típicas. Finalmente los datos resultantes fueron exportados a Excel v. Professional Plus 2013 (www.microsoft.com) para su posterior tratamiento estadístico.

Una vez procesados los valores para cada usuario, éstos se segmentaron en cuatro franjas; (1) Línea base previo estímulo “natural”, (2) Estímulo “natural” (3) Línea base previo estímulo “artificial”, y (4) Estímulo “artificial”. Para cada uno de los segmentos se obtuvo el nivel de conductancia total medio (C), la medida tónica media (T) y la medida fásica media (F) (Figura 6.2).

Posteriormente, se normalizaron los valores sobre sus líneas base para cada medida de cada usuario de tal forma que se obtuvieran valores de respuesta fisiológica comparables entre sujetos.

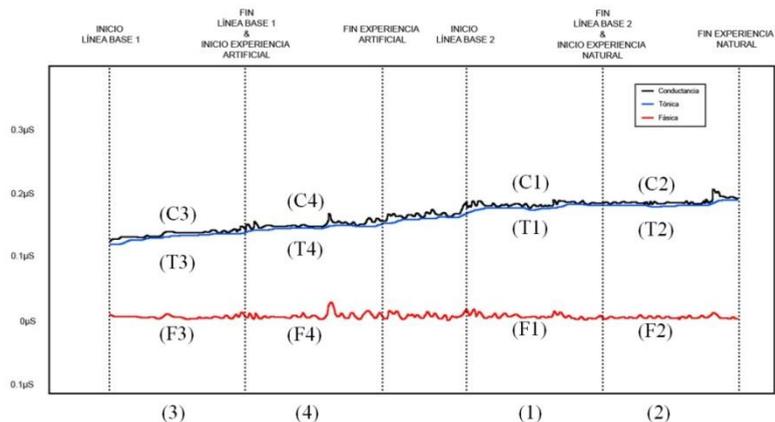


Figura 6.2 Registro gráfico de la Actividad Electrodermica de un participante mostrando los niveles medios de conductancia total (C), tónica (T) y fásica (F)

A continuación se trataron todos los datos obtenidos (EDA y cuestionario) con el paquete estadístico SPSS v22.

a. Análisis descriptivo

En primer lugar se estandarizaron todas las variables a sus valores z de forma que permitiera una más fácil comparación de los resultados, y se extrajeron las medias totales y segmentadas por tipo de estímulo visto y por orden de visualización.

b. Análisis de fiabilidad de los estímulos utilizados

En segundo lugar se comprobó la fiabilidad de la elección de las imágenes mediante los test de *alfa de Cronbach* y *Spearman-Brown*.

c. Análisis de diferencias en las respuestas

En tercer lugar se buscaron diferencias significativas en los resultados segmentando por orden de visualización y por estímulo visualizado, mediante el test no paramétrico de Mann-Whitney al no ajustar los resultados a una distribución normal.

d. Análisis de las relaciones en la respuesta de los sujetos

Por último se buscaron correlaciones entre las distintas variables mediante el coeficiente Rho de Spearman.

Resultados

a. *Análisis descriptivo*

La Tabla 6.1 muestra las medias z-estandarizadas de las variables segmentadas por estímulo y orden de visualización.

Para los valores del cuestionario, en una primera inspección se comprueba que las diferencias por orden de visualización, ($|Total/1 - Total/2|$), son despreciables, del orden de 0,1, frente a las diferencias por estímulo visualizado, ($|Artificial/Total - Natural/Total|$), entre 0,8 y 1,9, siendo las respuestas ante el estímulo “natural” mayores para “bienestar”, “dominancia”, “biofilia” y “habitabilidad”, y menores para “activación” y “estrés”.

En cuanto a los valores de la actividad electrodérmica, tanto la conductancia total como la componente tónica, relativa al nivel basal, presentan bajas diferencias tanto por orden de visualización como por estímulo visualizado, apreciándose que, en ambas situaciones de contrabalanceo (Artificial/1 → Natural/2) y (Natural/1 → Artificial/2), la segunda medida siempre es algo menor. Sin embargo, la componente fásica, relativa a la respuesta de la piel ante estímulos, sí que presenta valores inferiores para el estímulo “natural” en ambas situaciones de contrabalanceo, (Artificial/1 → Natural/2) y (Natural/1 → Artificial/2).

Estímulo	Orden		bienestar	activación	dominancia	estrés	biofilia	habitabilidad	conductancia	tónica	fásica
Artificial	1	Media	-1,008	0,171	-0,744	1,058	-0,721	-1,041	-0,377	-0,414	0,541
		D.e.	0,451	0,956	0,000	0,485	0,534	0,259	1,120	1,206	0,925
	2	Media	-0,806	0,629	-0,588	0,732	-0,935	-0,852	0,409	0,368	0,326
		D.e.	0,422	0,511	0,656	0,384	0,478	0,212	0,720	0,571	1,073
	Total	Media	-0,907	0,400	-0,666	0,895	-0,828	-0,947	0,016	-0,023	0,433
		D.e.	0,425	0,762	0,445	0,447	0,491	0,244	0,979	0,980	0,951
Natural	1	Media	0,907	-0,286	0,823	-1,112	1,095	0,947	0,572	0,631	0,015
		D.e.	0,422	1,303	0,784	0,297	0,478	0,259	1,110	1,114	0,746
	2	Media	0,907	-0,514	0,509	-0,678	0,561	0,947	-0,604	-0,585	-0,882
		D.e.	0,225	0,956	1,188	0,297	0,609	0,259	0,704	0,648	0,845
	Total	Media	0,907	-0,400	0,666	-0,895	0,828	0,947	-0,016	0,023	-0,433
		D.e.	0,319	1,084	0,963	0,362	0,588	0,244	1,073	1,072	0,888
Total	1	Media	-0,050	-0,057	0,039	-0,027	0,187	-0,047	0,098	0,108	0,278
		D.e.	1,090	1,104	0,977	1,205	1,070	1,076	1,164	1,225	0,839
	2	Media	0,050	0,057	-0,039	0,027	-0,187	0,047	-0,098	-0,108	-0,278
		D.e.	0,958	0,941	1,074	0,811	0,942	0,974	0,857	0,764	1,111
	Total	Media	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		D.e.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 6.1 Medias z-estandarizadas de las variables del Estudio 6

b. Análisis de fiabilidad de los estímulos utilizados

El coeficiente *alfa de Cronbach*, para las variables “estímulo visualizado” y “grado de biofilia”, presenta un valor de 0,817. *Spearman* devuelve un valor de 0,863, lo cual nos permite asumir que la selección de imágenes es aceptable para el estudio desarrollado y que realmente se están midiendo dos grupos de imágenes percibidos como “naturales” y “artificiales” por los usuarios (Gliem y Gliem, 2003; Eisinga, Grotenhuis y Pelzer, 2013).

c. Análisis de diferencias en las respuestas

Según el orden de visualización de los estímulos, el test de Mann-Whitney no encuentra ninguna diferencia estadísticamente significativa (Tabla 6.2).

	bienestar	activación	dominancia	estrés	biofilia	habitabilidad	conductancia	tónica	fásica
Rango promedio 1º	10,30	10,05	10,75	10,15	11,50	10,00	11,30	11,30	11,80
Rango promedio 2º	10,70	10,95	10,25	10,85	9,50	11,00	9,70	9,70	9,20
U Mann-Whitney	48,00	45,50	47,50	46,50	40,00	45,00	42,00	42,00	37,00
W de Wilcoxon	103,00	100,50	102,50	101,50	95,00	100,00	97,00	97,00	92,00
Z	-0,15	-0,36	-0,20	-0,27	-0,77	-0,39	-0,60	-0,60	-0,98
Sig. Asintótica	0,88	0,72	0,84	0,79	0,44	0,70	0,55	0,55	0,33

Tabla 6.2 Análisis de diferencias según orden de visualización (test de Mann-Whitney)

En función del estímulo visualizado, el test de Mann-Whitney encuentra diferencias estadísticamente significativas en el nivel 0,01 entre los grupos de imágenes “natural” y artificial” para todas las variables del cuestionario excepto “activación” (Tabla 6.3). Por otro lado, detecta una diferencia estadísticamente significativa en el nivel 0,03 en la componente fásica de la respuesta electrodérmica.

	bienestar	activación	dominancia	estrés	biofilia	habitabilidad	Conductancia	Tónica	Fásica
Rango promedio A	5,50	12,70	6,80	15,50	5,60	5,50	11,30	11,30	13,40
Rango promedio N	15,50	8,30	14,20	5,50	15,40	15,50	9,70	9,70	7,60
U Mann-Whitney	0,00	28,00	13,00	0,00	1,00	0,00	42,00	42,00	21,00
W de Wilcoxon	55,00	83,00	68,00	55,00	56,00	55,00	97,00	97,00	76,00
Z	-3,87	-1,77	-2,96	-3,89	-3,76	-3,91	-0,60	-0,60	-2,19
Sig. Asintótica	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,55	0,03

Tabla 6.3 Análisis de diferencias según estímulo visualizado (test de Mann-Whitney)

d. Análisis de las relaciones en la respuesta de los sujetos

El test (Tabla 6.4) pone de manifiesto un muy alto nivel de correlación directa entre las variables “bienestar”, “dominancia”, “biofilia” y “habitabilidad”, así como una fuerte correlación inversa con la variable “estrés”.

Por otro lado, se advierte una correlación significativa en el nivel 0,03 entre la componente fásica de la respuesta electrodérmica y el factor “estrés”.

		bienestar	activación	dominancia	estrés	biofilia	habitabilidad
bienestar	Coef.		-,496	,791	-,868	,900	,890
	Sig.		,026	,000	,000	,000	,000
activación	Coef.	-,496		-,233	,188	-,529	-,332
	Sig.	,026		,323	,428	,016	,153
dominancia	Coef.	,791	-,233		-,819	,807	,840
	Sig.	,000	,323		,000	,000	,000
estrés	Coef.	-,868	,188	-,819		-,792	-,877
	Sig.	,000	,428	,000		,000	,000
biofilia	Coef.	,900	-,529	,807	-,792		,905
	Sig.	,000	,016	,000	,000		,000
habitabilidad	Coef.	,890	-,332	,840	-,877	,905	
	Sig.	,000	,153	,000	,000	,000	

conductancia	Coef.	-,216	,204	,141	,013	-,002	,008
	Sig.	,361	,387	,554	,957	,995	,974
tónica	Coef.	-,232	,232	,103	,008	-,037	-,008
	Sig.	,325	,324	,664	,974	,878	,974
fásica	Coef.	-,421	,238	-,139	,482	-,178	-,327
	Sig.	,065	,312	,558	,031	,453	,159

Tabla 6.4 Análisis de correlaciones en las respuestas de los sujetos del Estudio 6 (test de Spearman)

Discusión y conclusiones

El test de contraste de hipótesis indica que no se han producido efectos de orden considerables durante la presentación de los estímulos aunque, como se apuntaba anteriormente, en las medidas psicofisiológicas se observa un ligero descenso de valores durante la visualización del segundo estímulo, quizá debido a la inmovilidad del sujeto, la habituación al experimento o al efecto acumulativo de dos audios de relajación.

En cuanto a los resultados del cuestionario, es destacable que los espacios considerados “*biofílicos*” o “*naturales*” sistemáticamente obtienen valoraciones más positivas en todos los aspectos evaluados (“bienestar”, “dominancia”, “estrés” y “habitabilidad”) excepto “activación”, el cual es un concepto sin connotación intrínseca positiva o negativa (Russell y Mehrabian, 1978).

El contraste de hipótesis confirma que estas mejores valoraciones son estadísticamente significativas. Además, los altos niveles de correlación obtenidos entre las distintas variables indican que son factores interdependientes, es decir, corrigiendo uno se influye necesariamente en los demás.

En cuanto a los resultados de la medición psicofisiológica, se ha comprobado cómo la presentación de los distintos estímulos lograba alterar la respuesta fásica de la actividad electrodérmica de los participantes hasta unos niveles estadísticamente significativos e, igualmente, se ha correlacionado dicha respuesta orgánica con las valoraciones de estrés en cuestionario, como era de esperar según la bibliografía (Kilpatrick, 1972).

Los resultados anteriormente descritos inducen a pensar que un diseño arquitectónico de interiores que se perciba como “natural” o “biofílico” es decir, que use colores claros y alegres, revestimientos en madera o piedra, permita la entrada de luz natural e incorpore vegetación, puede contribuir a incrementar la sensación de habitabilidad, bienestar y seguridad del espacio, a reducir los niveles de estrés y, en general, a aumentar la calidad de vida de sus usuarios.

Cabe mencionar tres limitaciones; un número relativamente bajo de participantes, el uso de dos únicos estímulos muy polarizados y su presentación mediante video en pantalla. Futuros trabajos pretenden, por un lado, ampliar el tamaño muestral y, por otro, considerar mayor variabilidad de estímulos presentados mediante Realidad Virtual, de forma que se pueda apreciar de una forma más dinámica la influencia de distintos factores de diseño en la percepción y en la respuesta psicofisiológica del usuario.

Dicho esto, se entiende que la principal aportación del presente estudio, aparte de los resultados concretos obtenidos, es poner de manifiesto la importancia de un diseño arquitectónico centrado en el bienestar del usuario.

Actualmente, la mayoría de las personas pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en entornos urbanos y construidos, existiendo amplia evidencia de como éstos nos influyen.

A nivel de confort físico es sobradamente conocido cómo las condiciones higrotérmicas, la calidad del aire, el acondicionamiento acústico, la iluminación o la ergonomía pueden producir molestias en los usuarios.

A nivel emocional, la psicología ambiental ha demostrado la importancia de factores del entorno como legibilidad, simbolismo, sentido de la orientación, seguridad, intimidad, o placer estético en la respuesta cognitiva y afectiva de las personas.

Esta influencia del entorno construido, en su sentido más negativo, puede llegar a producir efectos psicósomáticos, como lo que se ha denominado “síndrome del edificio enfermo” (Burge, 2004), pero también puede ser aprovechada para potenciar ciertas cualidades y estados (concentración, creatividad, relajación, bienestar...). Conseguir esto es, en gran parte, responsabilidad de diseñadores y arquitectos.

Una vez satisfechas las demandas sociales, superados los problemas técnicos y constructivos, y alcanzadas la funcionalidad y la habitabilidad en los edificios, el siguiente paso es la humanización de los espacios en los que vivimos.

CONCLUSIONES

Muchas definiciones de Arquitectura comienzan diciendo:

“Arquitectura es el arte y la técnica...”

Esta dualidad es la que hace nuestra disciplina tan compleja de tratar.

Como se decía en la introducción, la *técnica* refiere la parte científica y tecnológica. Como tal, es la parte objetiva, cuantificable y predecible. Las soluciones a la parte técnica serán más o menos difíciles de calcular y más o menos costosas de lograr, pero se encuentran enmarcadas en un contexto en el que se puede concretar en qué grado se han satisfecho e incluso, en caso de error, se puede conocer qué ha fallado.

El *arte* es lo contrario. Concentra la parte personal y subjetiva del diseño y sus mecanismos y resultados resultan oscuros. Por ello, las componentes subjetivas del diseño (en parte la funcionalidad, en parte la estética) resultan tan difíciles de abordar. Si el fin último de la arquitectura es dar servicio a sus usuarios, para el diseñador, como ente subjetivo, no es fácil saber en qué grado ha satisfecho sus requerimientos y preferencias subjetivas. De hecho, cuando el diseño es desacertado, no sólo es difícil saber en qué se ha fallado, sino que muchas veces ni siquiera sabrá que se ha fallado, condenándose a equivocarse reiteradamente.

El punto de partida de esta tesis es que la información necesaria para la parte del diseño que depende del usuario final puede ser obtenida preguntando a dicho usuario. Y que existen formas de preguntar que permiten obtener una respuesta objetiva y cuantificable que aporte valor al diseñador.

Se ha comprobado que disciplinas como la Psicología Ambiental, el Evidence-Based Design o, más recientemente, la Neuroarquitectura se han preocupado por la respuesta de las personas al entorno construido y, cada una desde su ámbito, han ido desarrollando y aplicando una serie de metodologías y tecnologías.

El objetivo último de esta tesis doctoral era ampliar el conocimiento respecto a ciertas metodologías y tecnologías que pueden ser de aplicación para lograr un diseño arquitectónico centrado en el usuario.

Para ello, me he centrado en dos aspectos concretos de estudio circunscritos al ámbito de investigación del Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas donde he desarrollado los experimentos; los nuevos sistemas de visualización inmersiva y las distintas formas de medición de la respuesta del usuario.

Tras exponer unas necesarias bases teóricas, los seis estudios experimentales presentados en esta memoria doctoral se han centrado en contestar a las distintas cuestiones planteadas, aplicando diferentes metodologías y tecnologías.

En este sentido, el Estudio 1 sirvió para abordar aspectos tangenciales, como comprobar la diferencia de percepción entre arquitectos y no arquitectos que justifica la necesidad de una metodología de diseño centrada en el usuario como la desarrollada a lo largo de la tesis.

Igualmente, el Estudio 6 sirvió para evaluar de forma preliminar y simplificada el desarrollo metodológico del Estudio 5, el más complejo del conjunto al requerir de análisis estadístico sobre medición psicofisiológica del usuario.

Por último, los Estudios 2 a 5, sobre un mismo tema, desarrollan el grueso de la metodología propuesta en esta tesis.

Conclusiones sobre los estudios experimentales

Sobre el primer estudio

El primer estudio, *“Diferencias en preferencias de diseño entre arquitectos y no arquitectos”*, ha expuesto la diferente manera de percibir, interpretar y evaluar la arquitectura a través de un espectro de usuarios que abarcaban desde el no arquitecto hasta el arquitecto más veterano a través de todas las etapas de formación y práctica profesional, de tal manera que permitiera plasmar una fotografía de la evolución en cuanto a preferencias arquitectónicas.

A nivel metodológico, aunque existen bastantes estudios previos sobre diferencias entre arquitectos y no arquitectos, no se ha encontrado ninguno que se haya basado una muestra tan grande, que haya extendido un espectro de perfiles de participante tan amplio, que haya utilizado ejemplos de arquitectura tan recientes ni que se haya centrado en usuarios españoles, por lo que cubre un vacío existente.

Además, es el primer estudio del que se tiene constancia en el ámbito de la estética arquitectónica que trata la posible influencia de dos sesgos cognitivos conocidos aportando información para el diseño de experiencias similares en el futuro.

En cuanto a las contribuciones a nivel de resultados, los resultados han sido claros.

Las preferencias arquitectónicas de los arquitectos varían a lo largo de su trayectoria vital y respecto a las del profano, tanto a nivel de estilos como de materiales. Además, se ha visto que el efecto de la exposición previa a un diseño parece tener una cierta influencia su posterior valoración.

Como muestra representativa de estas diferencias, cabe mencionar que los no arquitectos prefieren estilos más antiguos. Por el contrario, aquellos con una educación especializada han aprendido a apreciar otros estilos como el racionalismo o el minimalismo. Un ejemplo de cómo esta educación permite una apreciación más compleja o crítica es que las valoraciones de las obras más efectistas y artificiosas, aquellas englobadas en el grupo radical, van disminuyendo a medida que evoluciona el perfil del usuario.

Otra muestra, esta vez en cuanto a materialidad, es la diferencia de valoración del hormigón visto. Los resultados son también evidentes. Gusta al arquitecto pero no al ciudadano medio.

Las dos pruebas sobre sesgos han dado resultados diversos. Por un lado, parece que en cuanto a valoraciones de diseños, la exposición previa a un estímulo puede influir ligeramente en la puntuación. Por otro, las valoraciones de los arquitectos hacia un diseño concreto no se han visto afectadas por el hecho del prestigio previo de su autor.

Sobre el segundo estudio

Una vez contrastada la existencia de diferencias de percepción de los espacios por parte de diseñadores y usuarios, y teniendo claro que la manera de conocer al usuario es preguntarle de una manera científica y objetiva (Canter y Wools, 1970), se planteó una serie de trabajos centrados en un tipo de espacio concreto.

Como se ha indicado a lo largo del texto, se seleccionó como espacio de estudio una sala de lactancia hospitalaria, ya que equilibra requisitos funcionales y emocionales, es un espacio no demasiado habitual pero tampoco excesivamente infrecuente y, además, su uso es eminentemente individual, lo cual era preferible para las simulaciones.

Sobre este espacio se plantearon cuatro estudios (los estudios segundo, tercero, cuarto y quinto) que abarcan distintos aspectos de la investigación en diseño arquitectónico centrado en el usuario y comprenden el cuerpo principal de las investigaciones de esta Memoria Doctoral.

El segundo estudio presentado (el primero relativo a sala de lactancia), *“Diferencias en la comprensión de un espacio en función del sistema de presentación”*, se ha centrado en las distintas formas de presentar los estímulos a un usuario durante el transcurso de un experimento. Concretamente se ha centrado en aspectos de comprensión espacial.

Como se indica en el capítulo sobre sistemas de simulación ambiental, existe amplia bibliografía sobre la validez de los distintos formatos frecuentemente utilizados. Sin embargo el paso del tiempo es inexorable. Muchos de los estudios, dependientes de la tecnología de su tiempo, han quedado totalmente obsoletos. Es así para todas las simulaciones en entornos interactivos e inmersivos realizados hace más de una década. Además, se ha generalizado un nuevo formato, la imagen panorámica 360º, sobre la que apenas existen estudios.

Así pues, se ha hecho un estudio comparativo entre cuatro formas de mostrar diseños arquitectónicos factibles en la época actual; el plano en planta, el render fotorrealista panorámico, el entorno virtual interactivo y el entorno de Realidad Virtual inmersivo, analizando diversos aspectos relacionados con la comprensión espacial.

La contribución a nivel de resultados, extraordinariamente resumida, sugiere que el uso del plano en planta es bueno para evaluar la funcionalidad o distribución del espacio, el render fotorrealista facilita la valoración ambiental o afectiva, el entorno interactivo favorece el recuerdo de los elementos observados y la visión inmersiva y estereoscópica ayuda a estimar las dimensiones.

La contribución general más relevante que subyace es que la forma de presentación idónea depende del objetivo pretendido y augura grandes ventajas al uso combinado de formatos de presentación.

Sobre el tercer estudio

Una vez conocidas las ventajas de los distintos formatos de visualización, la siguiente fase consistía en responder a las cuestiones sobre la obtención de la respuesta del usuario.

El primer aspecto a tener en cuenta a la hora de preguntar a un tipo de usuario específico sobre un espacio con un uso concreto es saber lo que se ha de preguntar para obtener una respuesta fructífera.

Para ello, el tercer estudio, *“Identificación de los factores afectivos de un espacio”*, aplicaba la Semántica Diferencial, como primera fase de la metodología Kansei, para la obtención de la estructura perceptual del usuario respecto de las salas de lactancia, así como su influencia en la valoración final.

La principal contribución metodológica de este estudio es evaluar el potencial de la semántica diferencial a la hora de obtener los factores de interés en cualquier tipo de espacio arquitectónico.

Su principal contribución a nivel de resultados es facilitar las cuestiones sobre las que se ha de consultar en posteriores estudios para espacios de este uso. Los resultados muestran que de todos los factores que pueden influir en la valoración de una sala de lactancia se pueden agrupar en seis conceptos capaces de explicar el 80% de la varianza de las variables originales; funcionalidad, estética, calidez, amplitud, sencillez y luminosidad. Y de estos, solo funcionalidad, estética y calidez tienen un peso relativo importante en el grado de preferencia.

Sobre el cuarto estudio

El cuarto estudio, *“Evaluación de un espacio en función de su color”* desarrolla la segunda fase de la metodología Kansei y completa al estudio anterior al relacionar parámetros de diseño con los factores identificados previamente.

Para este estudio se seleccionó el color como variable de diseño que pudiese ser alterada de forma controlada y tuviera influencia en la respuesta del usuario y se desarrolló un estudio experimental basado en cuestionario y con visualización de los estímulos mediante renders fotorrealistas panorámicos, en coherencia con los resultados obtenidos en el segundo estudio.

Las contribuciones fundamentales de este estudio, a nivel metodológico son tres:

En primer lugar, la constatación de que la Ingeniería Kansei se puede aplicar para la determinación de elementos concretos del diseño que incidan en la respuesta a afectiva del usuario y ésta en la valoración global del espacio.

En segundo lugar, mostrar como la obtención de una clasificación de colores de una manera indirecta, a partir de la influencia de cada color en los distintos factores evaluados y de la influencia de cada factor en la evaluación final de esta sala, consigue no solo plasmar un ranking de colores sino conocer el motivo último de dicha ordenación.

En tercer lugar, mostrar las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías de visualización para simular de forma fotorrealista e inmersiva cualquier propuesta de diseño arquitectónica, de tal forma que resulta sencillo plantear baterías de estudios que analicen individualmente diferentes factores de diseño.

Por otro lado, la principal contribución a nivel de resultados, es la constatación de que los tonos cálidos obtienen mejores posiciones por su aportación a la calidez del espacio, mientras que el color blanco, con muy buenas puntuaciones en cuanto a la percepción de funcionalidad y amplitud, queda relegado a una posición más discreta por su falta de calidez.

Sobre el quinto estudio

El quinto estudio, *“Respuesta emocional y psicofisiológica ante un espacio en función de su color”*, es la continuación natural del cuarto. Parte de la misma base teórica y los mismos estímulos, renders fotorrealistas panorámicos 360º visualizados en gafas de Realidad Virtual (el formato más adecuado según el segundo estudio), aunque restringiendo a tres colores por la complejidad añadida de la medición fisiológica.

Si el cuarto estudio evaluaba la influencia del color en la valoración de una sala de lactancia a partir de los factores específicos que definen la percepción del usuario para este tipo de salas (factores obtenidos en el tercer estudio), el quinto estudio amplía el examen mediante dos escalas psicométricas de uso habitual en psicología ambiental, además del análisis de las señales psicofisiológicas de los usuarios.

Este trabajo en si mismo cierra el objetivo de la tesis al contestar las cuestiones cuarta a séptima, y es el primer estudio del que se tiene constancia que obtiene y

relaciona entre sí variables de diseño, preferencias, respuesta emocional obtenida mediante las escalas psicométricas SMB de descripción semántica de espacios de Kuller (1975) y Modelo PAD de Mehrabian y Russell (1974) y respuesta psicofisiológica mediante la actividad cardíaca y la respuesta galvánica.

Los resultados a nivel de comparación de escalas pueden ser de utilidad a psicólogos ambientales, sin embargo, quizá principal contribución es la comprobación de que ciertas métricas indirectas de la actividad cerebral (la componente física de la respuesta galvánica de la piel y la banda alta de la actividad cardíaca) pueden ser predictores de la preferencia por un espacio.

El estudio de la respuesta del sistema nervioso autónomo como herramienta de ayuda para el diseño arquitectónico presenta un interés cada vez mayor.

Es probable que, gracias a la evolución de la tecnología, en pocos años se pueda registrar mediante *wearables* de uso común esta actividad psicofisiológica de forma continua, no invasiva, geoposicionada y con un nivel de precisión aceptable.

En ese momento, si se consigue tratar correctamente la ingente cantidad de datos registrados a millones de personas, se podrá obtener una información inimaginable, como valoraciones automatizadas de entornos arquitectónicos o mapas de estrés y bienestar urbanos.

Esto puede parecer hoy ciencia-ficción pero sólo hay que mirar una década atrás para ver lo que hemos evolucionado, y mirar una década hacia el futuro en la dirección en la que estamos dando los primeros pasos.

Sobre el sexto estudio

El sexto estudio, *“Respuesta emocional y psicofisiológica ante un espacio en función de la presencia de naturaleza”*, fue la prueba piloto que permitió desarrollar y probar la metodología, el procedimiento experimental y el análisis de datos necesarios para desarrollar el quinto estudio.

A nivel psicométrico se utilizó únicamente el Modelo PAD (Russell y Mehrabian, 1977) y en cuanto al registro fisiológico se trabajó únicamente con la actividad electrodérmica. Igualmente, se seleccionó la presencia de naturaleza como variable por la amplia evidencia científica existente sobre sus propiedades beneficiosas y se polarizaron extraordinariamente los estímulos para garantizar que la señal fisiológica captaba esta diferencia.

Su principal aportación metodológica fue la de descubrir que éramos capaces de medir la reacción inconsciente de los participantes ante una variable de diseño.

Por otro lado, a nivel de resultados se comprobó que la presencia de naturaleza se relaciona a una mayor sensación de habitabilidad del espacio, una valencia positiva, una menor autoevaluación de estrés y una disminución de la componente fásica de la actividad electrodérmica.

Conclusiones finales

Este trabajo, al desarrollarse durante el inicio de una Línea de Investigación en un ámbito sin apenas recorrido en Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje de la Universidad Politécnica de Valencia y, por tanto, donde aún se tienen que ir sentando las bases, ha considerado preferible dar una primera respuesta a las distintas cuestiones que han ido surgiendo en vez de profundizar intensamente en un único aspecto.

En este sentido, y como de desarrollará en el próximo apartado, en estos años se han abierto distintas Líneas de Investigación. Aún queda largo camino por recorrer en cada una de ellas.

En cuanto a las conclusiones sobre el trabajo desarrollado, cabe diferenciar dos aportaciones: la metodológica y la experimental.

Por un lado, a nivel metodológico, las distintas herramientas empleadas a lo largo de los diferentes experimentos han demostrado su efectividad en la recogida de información objetiva y útil dentro del marco del diseño arquitectónico centrado en el usuario. Éstas se podrían resumir en:

- Herramientas de simulación: fotografía, render panorámico 360x180, entorno virtual interactivo, Realidad Virtual inmersiva mediante HMD...
- Herramientas de investigación del comportamiento del ámbito de la psicología ambiental: métodos cualitativos y cuantitativos, elaboración y difusión de cuestionarios, uso de test psicométricos...
- Ingeniería Kansei
- Herramientas de registro de la actividad la actividad cardiaca (HRV) y electrodérmica (EDA) y posterior tratamiento de los datos
- Herramientas estadísticas: análisis de medias, análisis de varianza, regresión lineal, reducción factorial, análisis de correlaciones...

Por otro lado, en cuanto las aportaciones experimentales concretas, se exponen sintéticamente los distintos resultados obtenidos a lo largo de los diferentes estudios:

1. En cuanto a la valoración de arquitectura por arquitectos y no arquitectos

1.1. En cuanto al estilo arquitectónico

- 1.1.1. Los estilos más apreciados por todos los grupos son los relativos a la antigüedad (románico, gótico...) y el modernismo
- 1.1.2. La arquitectura correspondiente a los *años 50 a 80* (brutalismo, postmodernismo...) es la peor valorada por todos los grupos
- 1.1.3. El minimalismo es el mejor valorado por los arquitectos
- 1.1.4. El modernismo es el mejor valorado por los no arquitectos
- 1.1.5. El racionalismo obtiene la mayor diferencia de puntuaciones entre grupos
- 1.1.6. La arquitectura de formas radicales (deconstructivismo, fractales) obtiene la mayor diferencia de valoraciones dentro de grupos
- 1.1.7. Los no arquitectos son los que más bajo puntúan en general
- 1.1.8. Los arquitectos menores de 30 años son los que más alto puntúan en general
- 1.1.9. La valoración del minimalismo se dispara en los primeros años de carrera
- 1.1.10. La valoración de la arquitectura de formas radicales disminuye con la veteranía del arquitecto
- 1.1.11. La valoración de la arquitectura emblemática actual sigue una U invertida, con su mayor acogida por el recién licenciado

1.2. En cuanto a los materiales

- 1.2.1. La piedra, el vidrio y el color blanco son los mejores valorados en general
- 1.2.2. La madera y el metal se encuentran en término medio
- 1.2.3. El ladrillo y el color presentan las peores valoraciones

1.2.4. El hormigón presenta la mayor dispersión entre grupos. No gusta al no arquitecto pero obtiene valoración neutra entre arquitectos

1.3. En cuanto a los sesgos cognitivos en la valoración

1.3.1. La familiaridad con un diseño fomenta la valoración positiva.

En 7 de 21 ocasiones, las valoraciones de aquéllos que conocían previamente una fachada eran significativamente superiores a las de aquellos que no la conocían

1.3.2. Los arquitectos no se vieron afectados por el sesgo de autoridad.

No valoraron mejor un mismo diseño por ser obra de Álvaro Siza que por ser de un autor sin titulación de arquitecto

2. En cuanto al sistema de visualización de arquitectura

2.1. Los usuarios, de forma autoevaluada, indican niveles similares de comprensión espacial para distintos sistemas de visualización, aunque las pruebas demuestran que si hay diferencias

2.2. En cuanto a memoria espacial, el plano obtiene los peores resultados y a los entornos interactivos obtienen los mejores

2.3. En cuanto a la percepción y estimación de dimensiones, la visualización inmersiva mediante HMD obtiene los mejores resultados

2.4. El plano obtiene los mejores resultados en cuanto a evaluación de la funcionalidad y los peores en cuanto a evaluación emocional

2.5. La imagen panorámica fotorrealista obtiene los mejores resultados en cuanto a evaluación emocional

3. En cuanto a los factores afectivos que caracterizan una sala de lactancia

3.1. El usuario medio define las cualidades de una sala de lactancia en relación a los factores: funcionalidad, diseño, calidez, amplitud, sencillez y luminosidad

3.2. Los factores que tienen una influencia en la valoración final son funcionalidad, calidez y diseño

4. En cuanto a la influencia del color en salas de lactancia

- 4.1. Existen grandes diferencias de valoración para tonos muy próximos
- 4.2. Los tonos melocotón y vainilla obtienen las mejores valoraciones
- 4.3. Los tonos azul aciano, rosa y blanco obtienen valoraciones neutras
- 4.4. Los tonos verde a cian obtienen peores valoraciones, quizá debido al *“efecto quirófano”*
- 4.5. El tono rojo es el peor valorado en casi todos los aspectos

5. En cuanto a la respuesta psicométrica y fisiológica al color en salas de lactancia

- 5.1. En cuanto a la escala SMB
 - 5.1.1. El factor *“agrado”* es el que mejor correlaciona con la valoración final del espacio
 - 5.1.2. El color puntúa de forma superior al blanco en *“originalidad”* , *“complejidad”* , *“potencia”* y *“demarcación espacial”* y menor en *“unidad”*
- 5.2. En cuanto a la respuesta fisiológica
 - 5.2.1. La componente fásica de la actividad electrodérmica presenta relación inversa respecto a la valoración global y directa respecto a la *“activación”* del modelo PAD
 - 5.2.2. La banda alta de la variabilidad cardiaca presenta relación directa con la valoración global e inversa con la *“activación”*
 - 5.2.3. Los análisis de regresión muestran que la preferencia por un espacio se puede interpretar en términos de valencia y activación, y que las variables fisiológicas EDA fásica y HRV nHF pueden mejorar los modelos de predicción basados en cuestionario.

6. En cuanto a la influencia de la presencia de naturaleza en la percepción de un espacio arquitectónico

- 6.1. La presencia de naturaleza influye en la valoración de los aspectos “bienestar” “sensación de dominio” “habitabilidad” y “estrés” en un espacio, mejorándolos
- 6.2. La presencia de naturaleza influye en la componente fásica de la actividad electrodérmica
- 6.3. La componente fásica de la actividad electrodérmica se ha correlacionado con la autoevaluación del estrés percibido en un espacio

Futuras líneas de investigación

Las investigaciones llevadas a cabo a lo largo de esta tesis, junto con las investigaciones de otros compañeros, como se ha dicho, han iniciado distintas líneas de investigación donde aún queda mucho trabajo por desarrollar.

Por un lado, faltan estudios comparativos actualizados entre los distintos sistemas de visualización arquitectónica disponibles hoy en día. Cabe recordar aquí el ya mencionado estudio desarrollado en el LENI en el que he participado, donde se comparaba un espacio real con su simulación mediante fotografía, fotografía panorámica 360º y Realidad Virtual en cuanto a la evaluación de los ejes psicométricos SMB de Küller y PAD de Mehrabian y Russell y la actividad electrodérmica y la respuesta cardíaca. Se hizo para un espacio interior concreto, faltaría replicar dicho estudio en exteriores.

Por otro lado, queda mucho recorrido en cuanto a la evaluación de la respuesta fisiológica geoposicionada. Ya hemos hecho las primeras pruebas piloto registrando la actividad electrodérmica y la respuesta cardíaca de usuarios mientras se grababa su recorrido por entornos arquitectónicos, de tal manera que dicha respuesta se ha podido representar en forma de mapa de calor en un plano en planta de los espacios. Sin embargo, también falta por evaluar diferentes tipos de espacios y con distintos sistemas de medición (EEG, eye-tracking...).

Dentro del diseño arquitectónico centrado en el usuario, otro campo de actuación donde los entornos virtuales interactivos pueden tener una aplicación muy importante es el análisis de la accesibilidad de las construcciones. Los estudios presentados en esta tesis se basaban en imágenes, tradicionales o panorámicas, o entornos virtuales de un espacio muy reducido. Sin embargo la posibilidad de modelizar edificios enteros y navegar libremente por dentro de ellos ha quedado por explorar.

Por último, falta aún por explorar una implementación práctica de la creación de entornos virtuales interactivos a partir de modelos BIM, de forma que facilite la visualización arquitectónica mediante Realidad Virtual fuera del laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M.Y. y Ghazali, R., (2010). "Healing environment of pediatric wards". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.5, p.948-957.
- Abbas, M.Y. y Ghazali, R., (2012). "Healing Environment: Paediatric Wards – Status and Design Trend". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.49, p.28-38.
- Ackerman, M.J., (1998). "The visible human project". in *Proceedings of the IEEE*, vol.86 issue3, p.504-511.
- Acking, C. y Kuller, R., (1967). *Factors in the perception of human environment: Semantic ratings of interiors from colour slides*, Lund Institute of Technology, Department of Theoretical and Applied Aesthetics. Sweden.
- Acking, C. y Kuller, R., (1972). "The perception of an interior as a function of its colour". in *Ergonomics*, vol.15 issue6, p.645-654.
- Adams, A., Theodore, D., Goldenberg, E., McLaren, C. y McKeever, P., (2010). "Kids in the atrium: Comparing architectural intentions and children's experiences in a pediatric hospital lobby". in *Social science & medicine*, vol.70 issue5, p.658-667.
- Adams, F.M. y Osgood, C.E., (1973). "A Cross-Cultural Study of the Affective Meanings of Color". in *Journal of Cross-Cultural Psychology*, vol.4 issue2, p.135-156.
- Agost, M.J. y Vergara, M., (2014). "Relationship between meanings, emotions, product preferences and personal values. Application to ceramic tile floorings". in *Applied Ergonomics*, vol.45 issue4, p.1076-1086.
- Agost, M.J. y Vergara, M., (2010). "Taking the customer into account in collaborative design". En *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 174-177.
- Aguilonius, F., (1613). *Opticorum libro sex, philosophis iuxta ac mathematicis utiles*,
- Ainsworth, R.R., Simpson, L. y Casell, D., (1993). "Effects of three colors in an office interior on mood and performance". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.76 issue1, p.235-241.
- Akalin, A., Yildirim, K., Wilson, C. y Saylan, A., (2010). "Users' evaluations of house façades: preference, complexity and impressiveness". in *Open House International*, vol.35 issue1, p.57-65.
- Akalin, A., Yildirim, K., Wilson, C., Saylan, A. y Kilicoglu, O., (2009). "Architecture and engineering students' evaluations of house façades: Preference, complexity and impressiveness". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.29 issue1, p.124-132.
- Akao, Y. y Mazur, G.H., (2003). "The leading edge in QFD: past, present and future". in *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol.20 issue1, p.20-35.

- Alcántara, E., Artacho, M.A., González, J.C. y García, A.C., (2005). "Application of product semantics to footwear design. Part I—Identification of footwear semantic space applying diferencial semantics". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.35 issue8, p.713-725.
- Ali, M.R., (1972). "Pattern of EEG recovery under photic stimulation by light of different colors". in *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol.33 issue3, p.332-335.
- Alkhresheh, M.M., (2012). "Preference for void-to-solid ratio in residential facades". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.32 issue3, p.234-245.
- Alonso, J.R., (2011). *La nariz de Charles Darwin y otras historias de la neurociencia*, Almuzara.
- Altman, I., (1975). "The Environment and Social Behavior: Privacy, Personal Space, Territory, and Crowding."
- Andersson, J.E., (2011). "Architecture for the silver generation: Exploring the meaning of appropriate space for ageing in a Swedish municipality". in *Health and Place*, vol.17 issue2, p.572-587.
- Andrade, C.C. y Devlin, A.S., (2015). "Stress reduction in the hospital room: Applying Ulrich's theory of supportive design". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.41, p.125-134.
- Anguita, J.C., Labrador, J.R.R., Campos, J.D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J. y Donado Campos, J., (2003). "La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)". in *Atención Primaria*, vol.31 issue8, p.527-538.
- Appleyard, D., (1977). *Understanding Professional Media*, USA: Springer.
- Appleyard, D. y Craik, K., (1978). "The Berkeley environmental simulation laboratory and its research programme.". in *International Review of Applied*.
- Aragónés, J.I. y Corraliza, J.A., (1988). *Comportamiento y Medio Ambiente. La Psicología Ambiental en España*, Madrid: Comunidad de Madrid. Consejería de Política Territorial.
- Arneill, A.B. y Devlin, A.S., (2002). "Perceived Quality of Care: the Influence of the Waiting Room Environment". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.22 issue4, p.345-360.
- Arribas, M., (2004). "Diseño y validación de cuestionarios". in *Matronas Profesión*, vol.5 issue17, p.23-29.
- Arthur, E.J., Hancock, P. a y Chrysler, S.T., (1997). "The perception of spatial layout in real and virtual worlds.". in *Ergonomics*, vol.40 issue1, p.69-77.
- Aslam, M.M., (2006). "Are You Selling the Right Colour? A Cross-cultural Review of Colour as a Marketing Cue". in *Journal of Marketing Communications*, vol.12 issue1, p.15-30.

- Bakdash, J.Z., Linkenauger, S.A. y Proffitt, D., (2008). "Comparing Decision-Making and Control for Learning a Virtual Environment: Backseat Drivers Learn Where They are Going". in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol.52, p.2117-2121.
- Balleine, B.W., Delgado, M.R. y Hikosaka, O., (2007). "The role of the dorsal striatum in reward and decision-making". in *The Journal of Neuroscience*, vol.27 issue31, p.8161-8165.
- Baños, R., Botella, C. y Alcañiz, M., (2004). "Immersion and emotion: their impact on the sense of presence". in *CyberPsychology &*
- Bartlett, M.S., Littlewort, G., Fasel, I. y Movellan, J.R., (2003). "Real Time Face Detection and Facial Expression Recognition: Development and Applications to Human Computer Interaction.". in *2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, vol.5 issueJuly, p.53-53.
- Basilevsky, A.T., (2009). *Statistical Factor Analysis and Related Methods: Theory and Applications* cop. John Wiley & Sons, ed., New York.
- Bates-Brkljac, N., (2009). "Assessing perceived credibility of traditional and computer generated architectural representations". in *Design Studies*, vol.30 issue4, p.415-437.
- Bates-Brkljac, N., (2007). "Investigating perceptual responses and shared understanding of architectural design ideas when communicated through different forms of visual representations". in *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, p.348-353.
- Bateson, J.E.G. y Hui, M.K., (1992). "The Ecological Validity of Photographic Slides and Videotapes in Simulating the Service Setting.". in *Journal of Consumer Research*, vol.19 issue2, p.271-281.
- Bell, P., Green, T., Fisher, J. y Baum, A., (2001). *Environmental Psychology*,
- Bellizzi, J. a. J. y Hite, R.R.E., (1992). "Environmental color, consumer feelings, and purchase likelihood". in *Psychology and Marketing*, vol.9 issue5, p.347-363.
- Benedek, M. y Kaernbach, C., (2010). "Decomposition of skin conductance data by means of nonnegative deconvolution". in *Psychophysiology*, vol.47 issue4, p.647-658.
- Benfield, J. a., Rainbolt, G.N., Bell, P. a. y Donovan, G.H., (2013). "Classrooms With Nature Views: Evidence of Differing Student Perceptions and Behaviors". in *Environment and Behavior*, p.0013916513499583-.
- Bennett, C.A. y Rey, P., (1972). "What's so hot about red?". in *Human factors*, vol.14 issue2, p.149-54.
- Benosman, R. y Kang, S.B., (2001). "A Brief Historical Perspective on Panorama". En Springer New York, pp. 5-20.

- Berry, P.C. y C., P., (1961). "Effect of colored illumination upon perceived temperature.". in *Journal of Applied Psychology*, vol.45 issue4, p.248-250.
- Billman, G.E., (2013). "The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance". in *Frontiers in Physiology*, vol.4, p.26.
- Billmeyer, F.W. y Bencuya, A.K., (1987). "Interrelation of the natural color system and the munsell color order system". in *Color Research & Application*, vol.12 issue5, p.243-255.
- Bishop, I.D. y Rohrmann, B., (2003). "Subjective responses to simulated and real environments: A comparison". in *Landscape and Urban Planning*, vol.65 issue4, p.261-277.
- Blumberg, R., (2006). "Design Issues in Hospitals: The Adolescent Client". in *Environment and Behavior*, vol.38 issue3, p.293-317.
- Boeykens, S., (2011). "Using 3D Design Software , BIM and Game Engines for Architectural Historical Reconstruction". in *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures*, p.493-509.
- Booth, V., Masud, T., Connell, L. y Bath-Hextall, F., (2014). "The effectiveness of virtual reality interventions in improving balance in adults with impaired balance compared with standard or no treatment: a systematic review and meta-analysis.". in *Clinical rehabilitation*, vol.28 issue5, p.419-31.
- Botella, C., Baños, R.M., Perpiñá, C., Villa, H., Alcañiz, M. y Rey, a., (1998). "Virtual reality treatment of claustrophobia: A case report". in *Behaviour Research and Therapy*, vol.36 issue2, p.239-246.
- Botella, C., García-Palacios, A. y Villa, H., (2007). "Virtual reality exposure in the treatment of panic disorder and agoraphobia: A controlled study". in *Clinical Psychology*.
- Boucsein, W., (2012). "Principles of Electrodermal Phenomena". En *Electrodermal Activity*. Boston, MA: Springer US, pp. 1-86.
- Bourke, P., (2006). "Synthetic stereoscopic panoramic images". En *Conference on Virtual Systems and Multimedia - Interactive Technologies and Sociotechnical Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 147-155.
- Bower, G.H., (1981). "Mood and Memory". in *Am. Psychol.*, vol.36 issue2, p.129-148.
- Bowman, D. a., Sowndararajan, A., Ragan, E.D., Kopper, R., Hirose, M., Schmalstieg, D., Wingrave, C. y Nishimura, K., (2009). "Higher Levels of Immersion Improve Procedure Memorization Performance". in *Proceedings of the 15th Joint virtual reality Eurographics conference on Virtual Environments*.
- Boyatzis, C.J. y Varghese, R., (1994). "Children's Emotional Associations with Colors". in *The Journal of Genetic Psychology*, vol.155 issue1, p.77-85.

- Braidot, N., (2013). *Neuromanagement: Cómo utilizar el cerebro en la conducción exitosa de las organizaciones*, Granica.
- Brandt, R.M., Chong, G.H. y Martin, M., (2010). *Design informed : driving innovation with evidence-based design*, Hoboken NJ: John Wiley & Sons.
- Brengman, M. y Geuens, M., (2004). "The Four Dimensional Impact of Color on Shopper's Emotions". in *Advances in Consumer Research*, vol.31, p.122-128.
- Bridges, A. y Charitos, D., (1997). "On architectural design in virtual environments". in *Design Studies*, vol.18 issue2, p.143-154.
- Broca, P., (1861). "Sur le principe des localisations cérébrales". in *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, vol.II.
- Bromley, E., (2012). "Building patient-centeredness: Hospital design as an interpretive act". in *Social science & medicine*, vol.75 issue6, p.1057-1066.
- Brown, G. y Gifford, R., (2001). "Architects Predict Lay Evaluations of Large Contemporary Buildings: Whose Conceptual Properties?". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.21 issue1, p.93-99.
- Brown, S.L. y Schwartz, G.E., (1980). "Relationships between facial electromyography and subjective experience during affective imagery". in *Biological Psychology*, vol.11 issue1, p.49-62.
- Bruster, S., Jarman, B., Bosanquet, N., Weston, D. y Erens, R., (1994). "National survey of hospital patients". in *British Medical Journal*, vol.309, p.1542-1546.
- Bullinger, H.-J., Bauer, W., Wenzel, G. y Blach, R., (2010). "Towards user centred design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments". in *Computers in Industry*, vol.61 issue4, p.372-379.
- Bülthoff, H.H. y Veen, H. a H.C. Van, (2001). "Vision and Action in Virtual Environments : Modern Psychophysics in Spatial Cognition Research". En *Vision and attention*. New York, USA: Springer, pp. 233-252.
- Burdea, G.C. y Coiffet, P., (2003). *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, Inc.
- Burge, P.S., (2004). "Sick building syndrome". in *Occupational and Environmental Medicine*, vol.61 issue2, p.185-190.
- Cabezos-Bernal, P.M., Cisneros Vivó, J. y Vivó, J.C., (2016). "Panoramas esféricos estereoscópicos". in *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, vol.21 issue28, p.70.
- Cacioppo, J.T., Klein, D.J., Berntson, G.G. y Hatfield, E., (1993). *The psychophysiology of emotion.*, Guilford Press.
- Cacioppo, J.T., Tassinary, L.G. y Berntson, G., (2007). *Handbook of psychophysiology*,

- Cacioppo, J.T., Tassinary, L.G. y Fridlund, A.F., (1990). "The Skeletomotor System". En *Principles of Psychophysiology: Physical, Social, and Inferential Elements*. Cambridge University Press, pp. 325-384.
- Caldwell, J.A. y Jones, G.E., (1984). "The effects of exposure to red and blue light on physiological indices and time estimation". in *Perception*, vol.14 issue1974, p.19-29.
- Cannon, W.B., (1987). "The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. By Walter B. Cannon, 1927.". in *The American journal of psychology*, vol.100 issue3-4, p.567-586.
- Canter, D., (1969). "An intergroup comparison of connotative dimensions in architecture.". in *Environment and behavior*, vol.1 issue1, p.37-48.
- Canter, D. y Wools, R., (1970). "A technique for the subjective appraisal of buildings". in *Building Science*, vol.5 issue3-4, p.187-198.
- Carassa, A., Geminiani, G., Morganti, F. y Varotto, D., (2002). "Active and passive spatial learning in a complex virtual environment : The effect of efficient exploration". in *Cognitive Processing*, vol.3 issue4, p.65-81.
- Carazo Lefort, E., (2011). "MAQUETA O MODELO DIGITAL. LA PERVIVENCIA DE UN SISTEMA.". in *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, vol.16 issue17, p.30-41.
- Carbon, C.C., (2010). "The cycle of preference: Long-term dynamics of aesthetic appreciation". in *Acta Psychologica*, vol.134 issue2, p.233-244.
- Carlin, A.S., Hoffman, H.G. y Weghorst, S., (1997). "Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: A case report". in *Behaviour Research and Therapy*, vol.35 issue2, p.153-158.
- Carretié, L., (2011). *Anatomía de la mente: Emoción, cognición y cerebro*,
- Carretié, L., Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. a y Mercado, F., (2001). "Emotion and attention interaction studied through event-related potentials.". in *Journal of cognitive neuroscience*, vol.13 issue8, p.1109-1128.
- Castilla, N., (2015). *La Iluminación Artificial En Los Espacios Docentes*. Valencia (Spain): Universitat Politècnica de València.
- Castilla, N., Llinares, C. y Blanca, V., (2016). "Ingeniería Kansei aplicada al diseño lumínico de espacios emocionales". in *Anales de Edificación*, vol.2 issue1, p.7-11.
- Castilla, N., López-Tarruella, J., Higuera, J.L., Marín, J. y Llinares, C., (2017). "Validation of lighting design through the emotional and cognitive effect of the architectural space". En *XXXI Salón Tecnológico de la Construcción EXCO*. Valencia.
- Cedrés de Bello, S., (2000). "Humanización y calidad de los ambientes hospitalarios". in *Revista de la facultad de medicina (Caracas)*, vol.23 issue2, p.93-97.

- Chance, S.S., Gaunet, F., Beall, A.C. y Loomis, J.M., (1998). "Locomotion Mode Affects the Updating of Objects Encountered During Travel: The Contribution of Vestibular and Proprioceptive Inputs to Path Integration". in *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol.7 issue2, p.168-178.
- Chang, C.Y. y Chen, P.K., (2005). "Human Response to Window Views and Indoor Plants in the Workplace". in *HortScience*, vol.40 issue5, p.1354-1359.
- Chang, C.Y., Hammitt, W.E., Chen, P.K., Machnik, L. y Su, W.C., (2008). "Psychophysiological responses and restorative values of natural environments in Taiwan". in *Landscape and Urban Planning*, vol.85 issue2, p.79-84.
- Charitos, D., Lepouras, G., Vassilakis, C., Katifori, A., Charissi, A. y Halatsi, L., (2001). "Designing a virtual museum within a museum". in *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage - VAST '01*, p.284.
- Chaudhury, H., (2005). "Advantages and Disadvantages of Single-Versus Multiple-Occupancy Rooms in Acute Care Environments: A Review and Analysis of the Literature". in *Environment and Behavior*, vol.37 issue6, p.760-786.
- Chaudhury, H., Mahmood, a. y Valente, M., (2009). "The Effect of Environmental Design on Reducing Nursing Errors and Increasing Efficiency in Acute Care Settings: A Review and Analysis of the Literature". in *Environment and Behavior*, vol.41 issue6, p.755-786.
- Child, I.L., Hansen, J.A. y Hornbeck, F.W., (1968). "Age and Sex Differences in Children's Color Preferences". in *Child Development*, vol.39 issue1, p.237.
- Chóliz, M., (2005). *Psicología de la emoción: el proceso emocional*,
- Choungourian, A., (1968). "Color preferences and cultural variation". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.26 issue3c, p.1203-1206.
- Choungourian, A., (1972). "Extraversion, neuroticism, and color preferences.". in *Perceptual and motor skills*, vol.34 issue3, p.724-726.
- Christou, C.G. y Bülthoff, H.H., (1999). "View dependence in scene recognition after active learning". in *Memory & Cognition*, vol.27 issue6, p.996-1007.
- Chuang, M.-C. y Ma, Y.-C., (2001). "Expressing the expected product images in product design of micro-electronic products". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.27 issue4, p.233-245.
- Clarkson, P.J., Buckle, P., Coleman, R., Stubbs, D., Ward, J., Jarrett, J., Lane, R. y Bound, J., (2004). "Design for patient safety: A review of the effectiveness of design in the UK health service". in *Journal of Engineering Design*, vol.15 issue2, p.123-140.
- Clinton, A. y Devlin, A.S., (2011). "«Is this really a police station?»: Police department exteriors and judgments of authority, professionalism, and approachability". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.31 issue4, p.393-406.

- Clipson, C., (1993). "Simulation for planning and design: A review of strategy and technique". En R. W. Marans, & D. Stokols, eds. *Environmental Simulation Research and Policy Issues*. New York, USA: Plenum Press, pp. 23-60.
- Clydesdale, F.M., (1993). "Color as a factor in food choice". in *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol.33 issue1, p.83-101.
- Cockburn, A. y McKenzie, B., (2002). "the Effectiveness of Spatial Memory in 2D and 3D Physical and Virtual Environments". in *Conference on Human Factors and Computing Systems archive\Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, issue4, p.203-210.
- Codinhoto, R., Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M., Aouad, G.G. y Cooper, R., (2009). "The impacts of the built environment on health outcomes". in *Facilities*, vol.27 issue3/4, p.138-151.
- Compton, N.H., (1962). "Personal Attributes of Color and Design Preferences in Clothing Fabrics". in *The Journal of Psychology*, vol.54 issue1, p.191-195.
- Conniff, A., Craig, T., Laing, R. y Galán-Díaz, C., (2010). "A comparison of active navigation and passive observation of desktop models of future built environments". in *Design Studies*, vol.31 issue5, p.419-438.
- Cooper, B., Mohide, A. y Gilbert, S., (1989). "Testing the use of color in a long-term care setting.". in *Dimensions in health service*, vol.66 issue6, p.22, 24-6.
- Countouris, M., Gilmore, S. y Yonas, M., (2014). "Exploring the impact of a community hospital closure on older adults: a focus group study.". in *Health & place*, vol.26, p.143-8.
- Crowley, A.E., (1993). "The two-dimensional impact of color on shopping". in *Marketing Letters*, vol.4 issue1, p.59-69.
- Cubukcu, E. y Kahraman, I., (2008). "Hue, saturation, lightness, and building exterior preference: An empirical study in Turkey comparing architects' and nonarchitects' evaluative and cognitive judgments". in *Color Research and Application*, vol.33 issue5, p.395-405.
- Dahan, E. y Hauser, J.R., (2001). "Product Development - Managing a Dispersed Process Managing a Dispersed Product Development Process". En B. A. Weitz, & R. Wensley, eds. *Aplicaciones de la Ingeniería Kansei al análisis de productos inmobiliarios*. London: SAGE, pp. 179-222.
- Dai, Y., Shibata, Y., Ishii, T., Hashimoto, K., Katamachi, K., Noguchi, K., Kakizaki, N. y Cai, D., (2001). "An associate memory model of facial expressions and its application in facial expression recognition of patients on bed". En *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2001. ICME 2001*. IEEE, pp. 591-594.

- Dalke, H., Little, J., Niemann, E., Camgoz, N., Steadman, G., Hill, S. y Stott, L., (2006). "Colour and lighting in hospital design". in *Optics & Laser Technology*, vol.38 issue4-6, p.343-365.
- Dalke, H. y Matheson, M., (2007). *Colour Design Schemes for Long-term Healthcare Environments*, London.
- Damasio, A.R., (1996). *El error de Descartes : la emoción, la razón y el cerebro humano* , Crítica.
- Darekar, A., McFadyen, B.J., Lamontagne, A. y Fung, J., (2015). "Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review.". in *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol.12 issue1, p.46.
- Darken, R.P., Bernatovich, D., Lawson, J.P. y Peterson, B., (1999). "Quantitative measures of presence in virtual environments: the roles of attention and spatial comprehension.". in *Cyberpsychology & behavior: the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, vol.2 issue4, p.337-347.
- Darwin, C., (1872). "The expression of the emotions in man and animals". in *London, UK: John Marry*, p.374.
- Dawson, M.E., Schell, A.M. y Filion, D.L., (2000). "The Electrodermal System". En J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. Berntson, eds. *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 200-223.
- Deeney, K., Lohan, M., Spence, D. y Parkes, J., (2012). "Experiences of fathering a baby admitted to neonatal intensive care: A critical gender analysis". in *Social science & medicine*, vol.75 issue6, p.1106-1113.
- Devlin, A.S., (2007). "Judging a Book by Its Cover: Medical Building Facades and Judgments of Care". in *Environment and Behavior*, vol.40 issue3, p.307-329.
- Devlin, A.S., (2001). *Mind and maze: Spatial cognition and environmental behavior.*, Westport, CT, US: Praeger Publishers/Greenwood Publishing Group.
- Devlin, A.S. y Arneill, A.B., (2003). "Health Care Environments and Patient Outcomes: A Review of the Literature". in *Environment and Behavior*, vol.35 issue5, p.665-694.
- Devlin, K., (1990). "An examination of architectural interpretation: architects versus non-architects". in *Journal of Architectural and Planning Research*, vol.7 issue3, p.235-244.
- Devlin, K. y Nasar, J.L., (1989). "The beauty and the beast: Some preliminary comparisons of 'high' versus 'popular' residential architecture and public versus architect judgments of same". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.9 issue4, p.333-344.
- Diemer, J., Alpers, G.W., Peperkorn, H.M., Shibani, Y. y Mühlberger, A., (2015). "The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality.". in *Frontiers in psychology*, vol.6, p.26.

- Dijkstra, K., Pieterse, M. y Pruyn, A., (2006). "Physical environmental stimuli that turn healthcare facilities into healing environments through psychologically mediated effects: Systematic review". in *Journal of Advanced Nursing*, vol.56 issue2, p.166-181.
- Dijkstra, K., Pieterse, M.E. y Pruyn, a., (2008). "Stress-reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: The mediating role of perceived attractiveness". in *Preventive Medicine*, vol.47 issue3, p.279-283.
- Dijkstra, K., Pieterse, M.E. y Pruyn, A.T.H., (2008). "Individual differences in reactions towards color in simulated healthcare environments: The role of stimulus screening ability". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.28 issue3, p.268-277.
- Dogu, U. y Erkip, F., (2000). "Spatial Factors Affecting Wayfinding and Orientation: A Case Study in a Shopping Mall". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue6, p.731-755.
- Drachen, A., Nacke, L.E., Yannakakis, G. y Pedersen, A.L., (2010). "Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games". En *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games - Sandbox '10*. New York, New York, USA: ACM Press, pp. 49-54.
- Duchowski, A.T. y T., A., (2003). *Eye tracking methodology : theory and practice*, Springer.
- Duke, D.J., Barnard, P.J., Halper, N. y Mellin, M., (2003). "Rendering and Affect". in *Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurographics 2003, Granada, Spain, September 1--6, 2003)*, vol.22 issue3, p.359-368.
- Duncan, J., (2011). "The effect of colour and design in labour and delivery: A scientific approach". in *Optics & Laser Technology*, vol.43 issue2, p.420-424.
- Dunston, P.S., Arns, L.L., McGlothlin, J.D., Lasker, G.C. y Kushner, A.G., (2011). "An Immersive Virtual Reality Mock-Up for Design Review of Patient Hospital Rooms" X. W. & J. J.-H. Tsai, ed. in *Collaborative Design in Virtual Environments*, p.167-176.
- Dunston, P.S., Arns, L.L., McGlothlin, J., McGlothlin, J.D., Lasker, G.C. y Kushner, A.G., (2011). "An immersive virtual reality mock-up for design review of hospital patient rooms" X. W. & J. J.-H. Tsai, ed. in *Collaborative Design in Virtual Environments Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*, p.167-176.
- Dunston, P.S., Arns, L.L. y McGlothlin, J.D., (2010). "Virtual reality mock-ups for healthcare facility design and a model for technology hub collaboration". in *Journal of Building Performance Simulation*, vol.3 issue3, p.185-195.
- Eberhard, J.P., (2009). "Applying neuroscience to architecture.". in *Neuron*, vol.62 issue6, p.753-6.
- Eberhard, J.P., (2007). *Architecture and the Brain: A New Knowledge Base from Neuroscience*, Greenway Communications.
- Eberhard, J.P., (2009). *Brain landscape : the coexistence of neuroscience and architecture*,

Oxford University Press.

- Edelstein, E.A., (2008a). "Influence of Architectural Lighting on Health". in *Informedesign*, vol.100 issue13, p.907-907.
- Edelstein, E.A., (2005a). "Mapping Memory of Space & Place : Report on the 2005 Workshop on Neuroscience & Health Care Architecture". in *2005 Workshop on Neuroscience & Health Care Architecture*, p.1-17.
- Edelstein, E.A., (2005b). *Neuroscience and Architecture: Health Care Facilities*,
- Edelstein, E.A., (2008b). "Searching for evidence". in *Herd*, vol.1 issue4, p.95-110.
- Edelstein, E.A. y Macagno, E., (2012). "Sustainable Environmental Design in Architecture". in *Sustainable Environmental Design in Architecture*, vol.56, p.27-41.
- Edmans, J.A., Gladman, J.R.F., Cobb, S., Sunderland, A., Pridmore, T., Hilton, D. y Walker, M.F., (2006). "Validity of a virtual environment for stroke rehabilitation". in *Stroke*, vol.37 issue11, p.2770-2775.
- Eisinga, R., Grotenhuis, M. Te y Pelzer, B., (2013). "The reliability of a two-item scale: Pearson, Cronbach, or Spearman-Brown?". in *International Journal of Public Health*, vol.58 issue4, p.637-642.
- Ekman y Friesen, W., (2013). *Facial Action Coding System*,
- Ekman, P., (1992). "Are there basic emotions?". in *Psychological Review*, vol.99 issue3, p.550-553.
- Ekman, P., (1999). "Basic Emotions". En *Handbook of cognition and emotion*. pp. 45-60.
- Ekman, P., (1972). "Universals and cultural differences in facial expressions of emotion". in *Nebraska symposium on motivation*, p.207-282.
- Ekman, P. y Friesen, W. V, (1971). "Constants across cultures in the face and emotion.". in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol.17 issue2, p.124-129.
- Elliot, A.J., Payen, V., Brisswalter, J., Cury, F., Thayer, J.F., Maier, M.A., Moller, A.C. y Friedman, R., (2016). "Color and psychological functioning : The effect of red on performance attainment Color and Psychological Functioning : The Effect of Red on Performance Attainment". in *Journal of*, vol.48 issueMARCH 2007, p.1340-1345.
- Ellis, L. y Ficek, C., (2001). "Color preferences according to gender and sexual orientation". in *Personality and Individual Differences*, vol.31 issue8, p.1375-1379.
- Erdogan, E., Akalin, A., Yildirim, K. y Erdogan, H.A., (2010). "Students' evaluations of different architectural styles". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.5, p.875-881.
- Eriksson, P.S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A.-M.M., Nordborg, C., Peterson, D. a. y Gage, F.H., (1998). "Neurogenesis in the adult human hippocampus.". in *Nature*

medicine, vol.4 issue11, p.1313-1317.

Evans, G. W., & McCoy, J.M. (1998), (1998). "When buildings don't work: the role of architecture in human health. *Journal of Environmental psychology*, 18(1), 85-94.". in *Journal of Environmental psychology*, vol.18 issue1, p.85-94.

Eysenck, H.J., (1941). "A critical and experimental study of colour preferences". in *The American Journal of Psychology*, vol.54 issue3, p.385-394.

Falk, H., Wijk, H. y Persson, L.O., (2009). "The effects of refurbishment on residents' quality of life and wellbeing in two Swedish residential care facilities". in *Health and Place*, vol.15 issue3, p.687-694.

Fanger, P.O., Breum, N.O. y Jerking, E., (1977). "Can Colour and Noise Influence Man's Thermal Comfort?". in *Ergonomics*, vol.20 issue1, p.11-18.

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. y Lang, A.-G., (2007). "G * Power 3 : A flexible statistical power analysis program for the social , behavioral , and biomedical sciences". in *Behav. Res. Methods*, vol.39 issue2, p.175-191.

Fawcett, W., Ellingham, I. y Platt, S., (2008). "Reconciling the Architectural Preferences of Architects and the Public: The Ordered Preference Model". in *Environment and Behavior*, vol.40 issue5, p.599-618.

Fernandes, K.J., Raja, V., White, A. y Tsinopoulos, C.D., (2006). "Adoption of virtual reality within construction processes: A factor analysis approach". in *Technovation*, vol.26 issue1, p.111-120.

Field, A., (2005). *Discovering Statistics using SPSS*, London, UK: SAGE Publications Ltd.

Finger, S., (2001). *Origins of neuroscience : a history of explorations into brain function*, Oxford University Press.

Fornara, F. y Andrade, C., (2012). "Healthcare environments". En *The oxford handbook of environmental*. New York: Oxford University Press, pp. 295-315.

Fornara, F., Bonaiuto, M. y Bonnes, M., (2006). "Perceived hospital environment quality indicators: A study of orthopaedic units". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.26 issue4, p.321-334.

Freeman, J., Avons, S.E., Meddis, R., Pearson, D.E. y Ijsselsteijn, W., (2000). "Using Behavioral Realism to Estimate Presence: A Study of the Utility of Postural Responses to Motion Stimuli". in *Presence*, vol.9 issue2, p.149-164.

Friedman, B.H., (2007). "An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone". in *Biological Psychology*, vol.74 issue2, p.185-199.

Fromm, E., (1973). *The Anatomy of Human Destructiveness*, New York: Holt, Rinehart and Winston.

- Galiana, M., Llinares, C. y Page, A.F., (2016). "Impact of architectural variables on acoustic perception in concert halls". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.48, p.108-119.
- Galiana, M., Llinares, C. y Page, A.F., (2012). "Subjective evaluation of music hall acoustics: Response of expert and non-expert users". in *Building and Environment*, vol.58, p.1-13.
- Gardner, H. y Berlyne, D.E., (1974). "Aesthetics and Psychobiology". in *Curriculum Theory Network*, vol.4 issue2/3, p.205.
- Gelineau, E.P., (1981). "A psychometric approach to the measurement of color preference". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.53 issue1, p.163-174.
- Gerard, R.M., (1958). *Differential effects of coloured lights on psycho-physiological functions*. Doctoral dissertation, University of California.
- Germanchis, T., Cartwright, W. y Pettit, C., (2005). "Using Computer Gaming Technology To Explore Human Wayfinding and Navigation Abilities Within a Built Environment". in *Computer*, p.10.
- Gesler, W., Bell, M., Curtis, S., Hubbard, P. y Francis, S., (2004). "Therapy by design: Evaluating the UK hospital building program". in *Health and Place*, vol.10 issue2, p.117-128.
- Ghomeshi, M. y Jusan, M.M., (2013). "Investigating Different Aesthetic Preferences Between Architects And Non-Architects In Residential Facade Designs". in *Indoor and Built Environment*, p.952-964.
- Gifford, R., (2002). *Environmental psychology: Principles and practice*, Boston: Allyn & Bacon.
- Gifford, R., Hine, D.W., Muller-Clemm, W., Reynolds, D.J. y Shaw, K.T., (2000). "Decoding Modern Architecture: A Lens Model Approach for Understanding the Aesthetic Differences of Architects and Laypersons". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue2, p.163-187.
- Gifford, R., Hine, D.W., Muller-Clemm, W. y Shaw, K.T., (2002). "Why architects and laypersons judge buildings differently: Cognitive properties and physical bases". in *Journal of Architectural and Planning Research*, vol.19 issue2, p.131-148.
- Gillner, S. y Mallot, H.A., (1998). "Navigation and Acquisition of Spatial Knowledge in a Virtual Maze". in *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol.10 issue4, p.445-463.
- Giuliani, M.V. y Scopelliti, M., (2009). "Empirical research in environmental psychology: Past, present, and future". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.29 issue3, p.375-386.
- Gledhill, D., Tian, G.Y., Taylor, D. y Clarke, D., (2003). "Panoramic imaging—a review". in *Computers & Graphics*, vol.27 issue3, p.435-445.
- Gliem, J.A. y Gliem, R.R., (2003). "Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales".

- Van de Glind, I., De Roode, S. y Goossensen, A., (2007). "Do patients in hospitals benefit from single rooms? A literature review". in *Health Policy*, vol.84 issue2-3, p.153-161.
- Von Goethe, J.W., (1840). *Theory of colours*,
- Goldberg, J.H., Stimson, M.J., Lewenstein, M., Scott, N. y Wichansky, A.M., (2002). "Eye tracking in web search tasks". En *Proceedings of the symposium on Eye tracking research & applications - ETRA '02*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 51.
- Goldstein, K., (1942). "Some experimental observations concerning the influence of colors on the function of the organism". in *Occupational Therapy*, vol.21 issue3, p.147-151.
- Gooch, A.A. y Willemsen, P., (2002). "Evaluating space perception in NPR immersive environments". in *Proceedings of the second international symposium on Non-photorealistic animation and rendering - NPAR '02*, vol.1, p.105.
- Grabowski, M., Massey, A.P. y Wallace, W. a., (1992). "Focus groups as a group knowledge acquisition technique". in *Knowledge Acquisition*, vol.4 issue4, p.407-425.
- Gray, W.A., Kesten, K.S., Hurst, S. y Anderko, L., (2012). "Using Clinical Simulation Centers to Test Design Interventions: A Pilot Study of Lighting and Color Modifications". in *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol.5 issue3, p.46-65.
- Green, P.E. y Srinivasan, V., (1990). "Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice". in *Journal of Marketing*, vol.54 issue4, p.3.
- Groat, L., (1982). "Meaning in post-modern architecture: An examination using the multiple sorting task". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.2 issue1, p.3-22.
- Gross, C.G., (2009). *A hole in the head : more tales in the history of neuroscience*, MIT Press.
- Gross, R., Sasson, Y., Zarhy, M. y Zohar, J., (1998). "Healing environment in Psychiatric Hospital design". in *General Hospital Psychiatry*, vol.20 issue2, p.108-114.
- Guilford, J.P., (1934). "The affective value of color as a function of hue, tint, and chroma.". in *Journal of Experimental Psychology*, vol.17 issue3, p.342-370.
- Guilford, J.P. y Smith, P.C., (1959). "A system of color-preferences.". in *The American journal of psychology*, vol.72 issue4, p.487-502.
- Gurbindo, N. y Ortega Ruano, J.E., (1989). "Adaptación de las escalas de placer, activación y dominancia de Mehrabian y Russell en sujetos hispano hablantes". in *Revista de Psicología Social*, vol.4 issue2, p.179-184.
- Guttentag, D. a., (2010). "Virtual reality: Applications and implications for tourism". in *Tourism Management*, vol.31 issue5, p.637-651.
- Hahm, J., Lee, K., Lim, S.-L., Kim, S.-Y., Kim, H.-T. y Lee, J.-H., (2007). "Effects of active navigation on object recognition in virtual environments.". in *CyberPsychology & Behavior*, vol.10 issue2, p.305-308.

- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. y Tatham, R.L., (2010). *Multivariate Data Analysis*,
- Hakkarainen, M., Woodward, C. y Rainio, K., (2009). "Software Architecture for Mobile Mixed Reality and 4D BIM Interaction". in *Proc. 25th CIB W78 Conference*, p.1-8.
- Hamilton, D.K. y Watkins, D.H., (2009). *Evidence-based design for multiple building types*, John Wiley & Sons, Inc.
- Hård, A. y Sivik, L., (1981). "NCS—Natural Color System: A Swedish Standard for Colour Notation". in *Color Research & Application*, vol.6 issue3, p.129-138.
- Hård, A., Sivik, L. y Tonnquist, G., (1996). "NCS, natural color system—From concept to research and applications. Part I". in *Color Research & Application*, vol.21 issue3, p.180-205.
- Harkness, N., (2006). "The colour wheels of art, perception, science and physiology". in *Optics and Laser Technology*, vol.38 issue4-6, p.219-229.
- Harris, P., McBride, G. y Ross, C., (2002). "A place to heal: environmental sources of satisfaction among hospital Patients¹". , vol.32 issue6, p.1276-1299.
- Harris, S.R., Kemmerling, R.L. y North, M.M., (2002). "Brief Virtual Reality Therapy for Public Speaking Anxiety". in *CyberPsychology & Behavior*, vol.5 issue6, p.543-550.
- Harrison, a, Derwent, G., Enticknap, a, Rose, F.D. y Attree, E. a, (2002). "The role of virtual reality technology in the assessment and training of inexperienced powered wheelchair users.". in *Disability and rehabilitation*, vol.24 issue11-12, p.599-606.
- Hartig, T., Evans, G.W., Jamner, L.D., Davis, D.S. y Gärling, T., (2003). "Tracking restoration in natural and urban field settings". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.23 issue2, p.109-123.
- Hathorn, K. y Nanda, U., (2008). *A Guide to Evidence-based Art*,
- Heath, T., Smith, S.G. y Lim, B., (2000). "Tall Buildings and the Urban Skyline: The Effect of Visual Complexity on Preferences". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue4, p.541-556.
- Heft, H. y Nasar, J.L., (2000). "Evaluating Environmental Scenes Using Dynamic Versus Static Displays". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue3, p.301-322.
- Helvacioğlu, E. y Olguntürk, N., (2011). "Colour contribution to children's wayfinding in school environments". in *Optics & Laser Technology*, vol.43 issue2, p.410-419.
- Hemphill, M., (1996). "A Note on Adults' Color-Emotion Associations". in *The Journal of Genetic Psychology*, vol.157 issue3, p.275-280.
- Henry, D. y Furness, T., (1993). "Spatial perception in virtual environments: Evaluating an architectural application". En *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International*

Symposium. IEEE, pp. 33-40.

Hering, E., (1964). *Outlines of a theory of the light sense.*, Cambridge, MA, US: Harvard University Press.

Hershberger, R.G., (1969). *A study of meaning and architecture.*, University of Pennsylvania.

Hershberger, R.G., (1972). "Toward a set of semantic scales to measure the meaning of architectural environments". En W. J. M. (Ed.), ed. *Environmental design: Research and practice*. Los Angeles: University of California Press, pp. 6.4.1-6.4.10.

Herzog, T.R. y Shier, R.L., (2000). "Complexity, Age, and Building Preference". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue4, p.557-575.

Heydarian, A., Carneiro, J.P., Gerber, D. y Becerik-Gerber, B., (2015). "Immersive virtual environments, understanding the impact of design features and occupant choice upon lighting for building performance". in *Building and Environment*, vol.89, p.217-228.

Heydarian, A., Carneiro, J.P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes, T. y Wood, W., (2015). "Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations". in *Automation in Construction*, vol.54, p.116-126.

Hidayetoglu, M.L., Yildirim, K. y Akalin, A., (2012). "The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.32 issue1, p.50-58.

Hignett, S. y Masud, T., (2006). "A review of environmental hazards associated with in-patient falls.". in *Ergonomics*, vol.49 issue5-6, p.605-16.

Higuera, J.L., Llinares, C. y López-Tarruella, J., "Psychological and physiological human's responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360° Panoramas and Virtual Reality". in *Applied Ergonomics*.

Higuera, J.L., López-Tarruella, J., Iñarra, S. y Llinares, C., (2017). "El espacio digital: Comparativa de las últimas técnicas de visualización arquitectónica". in *EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica*.

Higuera, J.L., López-Tarruella, J., Llinares, C., Iñarra, S. y Montañana, A., (2016). "Una comparación de formatos de visualización arquitectónica: su influencia en la orientación y la ayuda al proceso de diseño". En *XXX Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

Higuera, J.L., Marín, J., López-Tarruella, J. y Llinares, C., (2017). "EEG-Index of stress generated by the environment: towards the neuroscience-based architectural design". En *XXXI Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia.

Higuera, J.L., Marín, J., Rojas, J.C. y López-Tarruella, J., (2016). "Emotional maps: neuro architecture and design applications". En *6th International Forum of Design as a*

Process. Systems & Design Beyond Processes and Thinking. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, pp. 677-685.

- Higuera, J.L., Marín, J., Rojas, J.C., López-Tarruella, J., Llinares, C., Guixeres, J. y Alcañiz, M., (2016). "Emotional cartography in design. a novel technique to represent emotional states altered by spaces". En *10th International Conference on Design and Emotion*. Amsterdam.
- Higuera, J.L., Montañana, A. y Llinares, C., (2016). "User Evaluation of Neonatology Ward Design: An Application of Focus Group and Semantic Differential.". in *HERD*.
- Hoffman, H.G., Patterson, D.R., Carrougner, G.J. y Sharar, S.R., (2001). "Effectiveness of virtual reality-based pain control with multiple treatments.". in *The Clinical journal of pain*, vol.17 issue3, p.229-235.
- Holbrook, M.B. y Batra, R., (1987). "Assessing the Role of Emotions as Mediators of Consumer Responses to Advertising". in *Journal of Consumer Research*, vol.14 issue3, p.404-420.
- Holden, M.K., (2005). "Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review". in *CyberPsychology & Behavior*, vol.8 issue3, p.187-211.
- Hsu, S., Chuang, M. y Chang, C., (2000). "A semantic differential study of designers' and users' product form perception". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.25 issue4, p.375-391.
- Huang, L., Zhu, Y., Ouyang, Q. y Cao, B., (2012). "A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices". in *Building and Environment*, vol.49 issue1, p.304-309.
- Huang, Y., Chen, C.-H. y Khoo, L.P., (2012). "Kansei clustering for emotional design using a combined design structure matrix". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.42 issue5, p.416-427.
- Hubbard, P., (1996). "Conflicting interpretations of architecture: An empirical investigation". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.16 issue2, p.75-92.
- Huisman, E.R.C.M., Morales, E., Van Hoof, J. y Kort, H.S.M., (2012). "Healing environment: A review of the impact of physical environmental factors on users". in *Building and Environment*, vol.58, p.70-80.
- Hull, B.R. y Stewart, W.P., (1992). "Validity of photo-based scenic beauty judgments". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.12 issue2, p.101-114.
- Hupka, R.B., Zaleski, Z., Otto, J., Reidl, L. y Tarabrina, N. V., (1997). "The Colors of Anger, Envy, Fear, and Jealousy: A Cross-Cultural Study". in *Journal of Cross-Cultural Psychology*, vol.28 issue2, p.156-171.
- Ikemi, M., (2005). "The effects of mystery on preference for residential façades". in *Journal*

- of *Environmental Psychology*, vol.25 issue2, p.167-173.
- Imamoglu, Ç., (2000). "Complexity, Liking and Familiarity: Architecture and Non-Architecture Turkish Students' Assessments of Traditional and Modern House Facades". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.20 issue1, p.5-16.
- Iñarra, S., (2014). *EL RENDER DE ARQUITECTURA. Análisis de la respuesta emocional del observador*. Valencia (Spain): Universitat Politècnica de València.
- Iñarra, S., Juan, F. y Llinares, C., (2013). "Arquitecturas irreales y perspectiva emocional". in *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, vol.18 issue21, p.204-215.
- Ioannou, I., Kazmierczak, E. y Stern, L., (2015). "Comparison of oral surgery task performance in a virtual reality surgical simulator and an animal model using objective measures". in *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, vol.2015, p.5114-5117.
- Isasi, J.F., (2013). *La arquitectura de la ciencia médica*, CEU Ediciones.
- Ishihara, S., Ishihara, K., Nagamachi, M. y Matsubara, Y., (1997). "An analysis of Kansei structure on shoes using self-organizing neural networks". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.19 issue2, p.93-104.
- Jacobs, K.W. y Hustmyer, J., (1974). "Effects of Four Psychological Primary Colors on GSR, Heart Rate and Respiration Rate". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.38 issueJune, p.763-766.
- Jacobs, K.W. y Suess, J.F., (1975). "Effects of four psychologically primary colors on anxiety state". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.41 issue1, p.207-210.
- Jalil, N.A., Yunus, R.M. y Said, N.S., (2012). "Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.35, p.54-62.
- Janssens, J. y Küller, R., (1986). "Utilizing An Environmental Simulation Laboratory In Sweden". En *Foundations For Visual Project Analysis*. pp. 265-275.
- Janssens, J. y Küller, R., (1989). *Vädertjänstens arbetsmiljö. Miljöpsykologisk studie av förhållandena vid Sturups flygplats*,
- Jelić, A., Tieri, G., De Matteis, F., Babiloni, F. y Vecchiato, G., (2016). "The Enactive Approach to Architectural Experience: A Neurophysiological Perspective on Embodiment, Motivation, and Affordances". in *Frontiers in Psychology*, vol.7.
- Jindo, T. y Hirasago, K., (1997). "Application studies to car interior of Kansei engineering". in *International journal of industrial ergonomics*, vol.19 issue2, p.105-114.
- Jordan, P.W., (2003). *Designing pleasurable products : an introduction to the new human factors*, Taylor & Francis e-Library.

- Joseph, A., (2006). "The Impact of Light on Outcomes in Healthcare". in *the Center for Health Design*, vol.2 issue August, p.1-12.
- Joseph, A. y Hamilton, D., (2008). "The Pebble Projects: coordinated evidence-based case studies". in *Building Research and Information*, vol.36 issue2, p.129-145.
- Joye, Y., (2003). "Organic architecture as an expression of innate environmental preferences".
- De Juan, C., (2015). *Aplicación de técnicas de eye-tracking en el análisis de la información de venta de promociones inmobiliarias*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Kahneman, D., (2013). *Pensar rápido, pensar despacio*, Debolsillo.
- Kahneman, D. y Tversky, A., (1972). "Subjective probability: A judgment of representativeness". in *Cognitive Psychology*, vol.3 issue3, p.430-454.
- Kaiser, P.K., (1984). "Physiological response to color: A critical review". in *Color Research & Application*, vol.9 issue1, p.29-36.
- Kalawsky, R.S., (1993). "The science of virtual reality and virtual environments".
- Kalawsky, R.S., (2000). "The Validity of Presence as a Reliable Human Performance Metric in Immersive Environments.". En *Presence*. Delft, The Netherlands, pp. 1-16.
- Kalisperis, L., Muramoto, K., Balakrishnan, B., Nikolic, D. y Zikic, N., (2006). "Evaluating relative impact of virtual reality system variables on architectural design comprehension and presence". En *24th Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Volos, Greece, pp. 66-73.
- Kals, E. y Müller, M., (2012). "Emotions and environment". En S. D. Clayton, ed. *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*. New York: Oxford University Press, pp. 128-147.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. y Tsuji, S., (1984). "Attractive quality and must-be quality". in *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, vol.14 issue2, p.39-48.
- Kaplan, S., (1987). "Aesthetics, Affect, and Cognition: Environmental Preference from an Evolutionary Perspective". in *Environment and Behavior*, vol.19 issue1, p.3-32.
- Kaplan, S., (1973). "Cognitive maps in perception and thought". En R. M. Downs & D. Stea, ed. *Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior*. Chicago, USA: Transaction Publishers, pp. 63-78.
- Kaplan, S., (1995). "The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.15 issue3, p.169-182.
- Kaplowitz, M.D. y Hoehn, J.P., (2001). "Do focus groups and individual interviews reveal the same information for natural resource valuation?". in *Ecological Economics*, vol.36 issue2, p.237-247.

- Kaya, N. y Crosby, M., (2006). "Color associations with different building types: An experimental study on American college students". in *Color Research & Application*, vol.31 issue1, p.67-71.
- Kaya, N. y Epps, H.H., (2004). "Relationship Between Color and Emotion : a Study of College Students". in *College student journal*, vol.38 issue3, p.396-406.
- Kellert, S., Heerwagen, J. y Mador, M., (2011). *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life*, John Wiley & Sons.
- Kelly, D.M., (2006). "Spatial Navigation: Spatial Learning in Real and Virtual Environments". in *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, vol.2, p.111-124.
- Kensek, K., Noble, D., Schiler, M. y Tripathi, A., (2000). "Augmented reality: An application for architecture". in *Computing in Civil and Building Engineering*, p.294-301.
- Kilpatrick, D.G., (1972). "Differential responsiveness of two electrodermal indices to psychological stress and performance of a complex cognitive task.". in *Psychophysiology*, vol.9 issue2, p.218-226.
- Kim, M., Wang, X., Love, P., Li, H. y Kang, S., (2013). "Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances". in *Journal of Information Technology in Construction*, vol.18 issue2, p.279-305.
- Kinoshita, Y., Cooper, E.W., Hoshino, Y. y Kamei, K., (2004). "A townscape evaluation system based on Kansei and colour harmony models". in *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol.1, p.327-332.
- Kish, L., (1995). "Survey Sampling". En New York, USA: John Wiley and Sons.
- Kivikangas, J.M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S. y Ravaja, N., (2011). "A review of the use of psychophysiological methods in game research". in *Journal of Gaming & Virtual Worlds*, vol.3 issue3, p.181-199.
- Knez, I., (2001). "Effects of colour of light on nonvisual psychological processes". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.21 issue2, p.201-208.
- Kober, S.E., Kurzmann, J. y Neuper, C., (2012). "Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: An EEG study". in *International Journal of Psychophysiology*, vol.83 issue3, p.365-374.
- Kober, S.E. y Neuper, C., (2012). "Using auditory event-related EEG potentials to assess presence in virtual reality". in *International Journal of Human-Computer Studies*, vol.70 issue9, p.577-587.
- De Kort, Y.A.W., Ijsselsteijn, W.A., Kooijman, J. y Schuurmans, Y., (2003). "Virtual laboratories: Comparability of real and virtual environments for environmental psychology". in *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, vol.12 issue4, p.360-373.

- Kosmadoudi, Z., Lim, T., Ritchie, J., Louchart, S., Liu, Y. y Sung, R., (2013). "Engineering design using game-enhanced CAD: The potential to augment the user experience with game elements". in *Computer-Aided Design*, vol.45 issue3, p.777-795.
- Krampen, M., (1991). "Environmental Meaning". En *Advances in Environment, Behavior, and Design*. Boston, MA: Springer US, pp. 231-268.
- Kreibig, S., (2010). "Autonomic Nervous System Activity in emotion: A review". in *Biological psychology*, vol.84 issue3, p.394-421.
- Krippendorff, K., (2006). *The semantic turn : a new foundation for design*, CRC/Taylor & Francis.
- Kuhn, T.S., (2005). *La Estructura De Las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica de España.
- Kuliga, S.F., Thrash, T., Dalton, R.C. y Hölscher, C., (2015). "Virtual reality as an empirical research tool - Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model". in *Computers, Environment and Urban Systems*, vol.54, p.363-375.
- Küller, R., (1975). "Semantisk milobeskriving (SMB)". in *Semantic Descriptions of Environments*.
- Küller, R., (1991). "Environmental assessment from a neuropsychological perspective". En T. Gärling, & G. Evans, eds. *Environment, Cognition, and Action: An Integrated Approach*. Oxford University Press, pp. 111-147.
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B. y Tonello, G., (2006). "The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments.". in *Ergonomics*, vol.49 issue14, p.1496-1507.
- Küller, R., Mikellides, B. y Janssens, J., (2009). "Color, arousal, and performance - A comparison of three experiments". in *Color Research and Application*, vol.34 issue2, p.141-152.
- Kwallek, N. y Lewis, C., (1990). "Effects of environmental colour on males and females: A red or white or green office". in *Applied ergonomics*, vol.21 issue4, p.275-278.
- Kwallek, N., Lewis, C.M.C., Lin-Hsiao, J.W.D. y Woodson, H., (1996). "Effects of nine monochromatic office interior colors on clerical tasks and worker mood". in *Color Research & Application*, vol.21 issue6, p.448-458.
- Kwallek, N., Soon, K. y Lewis, C.M., (2007). "Work week productivity, visual complexity, and individual environmental sensitivity in three offices of different color interiors". in *Color Research & Application*, vol.32 issue2, p.130-143.
- Kwallek, N., Woodson, H., Lewis, C.M. y Sales, C., (1997). "Impact of three interior color schemes on worker mood and performance relative to individual environmental sensitivity". in *Color research and application*, vol. Volume 22 issue2, p.121-132.

- Lacey, J.I. y Lacey, B.C., (1970). "Some autonomic central nervous system inter relationships". En P. Black, ed. *Physiological correlates of emotion*. New York: Academy Press, pp. 205-227.
- Lang, P.J., Greenwald, M.K., Bradley, M.M. y Hamm, A.O., (1993). "Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions". in *Psychophysiology*, vol.30 issue3, p.261-273.
- Lange, E., (2001). "The limits of realism: Perceptions of virtual landscapes". in *Landscape and Urban Planning*, vol.54 issue1-4, p.163-182.
- Laparra-Hernández, J., Belda-Lois, J.M., Medina, E., Campos, N. y Poveda, R., (2009). "EMG and GSR signals for evaluating user's perception of different types of ceramic flooring". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.39 issue2, p.326-332.
- Larsen, J.T., Norris, C.J. y Cacioppo, J.T., (2003). "Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii". En *Psychophysiology*. pp. 776-785.
- Lazarus, R.S., (1981). "A cognitivist's reply to Zajonc on emotion and cognition.". in *American Psychologist*, vol.36 issue2, p.222-223.
- Leather, P., Beale, D., Santos, A., Watts, J. y Lee, L., (2003). "Outcomes of Environmental Appraisal of Different Hospital Waiting Areas". in *Environment and Behavior*, vol.35 issue6, p.842-869.
- LeDoux, J.E., (1998). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*,
- Lehoux, P., Poland, B. y Daudelin, G., (2006). "Focus group research and «the patient's view».". in *Social science & medicine*, vol.63 issue8, p.2091-104.
- Leino-Kilpi, H., Välimäki, M., Dassen, T., Gasull, M., Lemonidou, C., Scott, A. y Arndt, M., (2001). "Privacy: a review of the literature". in *International Journal of Nursing Studies*, vol.38 issue6, p.663-671.
- Lessels, S. y Ruddle, R.A., (2005). "Movement Around Real and Virtual Cluttered Environments". in *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol.14 issue5, p.580-596.
- Levenson, R.W., Ekman, P. y Friesen, W. V., (1990). "Voluntary Facial Action Generates Emotion-Specific Autonomic Nervous System Activity". in *Psychophysiology*, vol.27 issue4, p.363-384.
- Li, M., (2010). "Applications of virtual reality technology in construction industry". in *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, vol.4, p.v4-223-v4-227.
- Libby, W.L., Lacey, B.C. y Lacey, J.I., (1973). "Pupillary and cardiac activity during visual attention.". in *Psychophysiology*, vol.10 issue3, p.270-294.

- Limniou, M., Roberts, D. y Papadopoulos, N., (2008). "Full immersive virtual environment CAVE in chemistry education". in *Computers & Education*, vol.51 issue2, p.584-593.
- Lin, K.-Y., Chien, C.-F. y Kerh, R., (2016). "UNISON framework of data-driven innovation for extracting user experience of product design of wearable devices". in *Computers & Industrial Engineering*, vol.99, p.487-502.
- Lippman, P.C., (2010). *Evidence-Based Design of Elementary and Secondary Schools: A Responsive Approach to Creating Learning Environments*, J. Wiley.
- Llinares, C. y Iñarra, S., (2014). "Human factors in computer simulations of urban environment. Differences between architects and non-architects' assessments". in *Displays*, vol.35 issue3, p.126-140.
- Llinares, C., Montañana, A., Fernandez, I. y Pons, M., (2011). "Análisis De La Sensación De Confort En Bibliotecas Universitarias Mediante Ingeniería Kansei". in *Aeipro.Com*, p.6-8.
- Llinares, C., Montañana, A., Iñarra, S., Guixeres, J., Higuera, J.L. y López-Tarruella, J., (2014). "Ingeniería Kansei, realidad virtual y medición psicofisiológica para el diseño de espacios emocionalmente eficientes". En *XXVIII Salón Tecnológico de la Construcción EXCO 2014*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, pp. 136-142.
- Llinares, C., Montañana, A., Navarro, E., Llinares, C., Montañana, A., Navarro, E., Ana, A. y Navarro, E., (2011). "Differences in Architects and Nonarchitects' Perception of Urban Design: An Application of Kansei Engineering Techniques". in *Urban Studies Research*, vol.2011, p.1-13.
- Llinares, C. y Page, A.F., (2007). "Application of product differential semantics to quantify purchaser perceptions in housing assessment". in *Building and Environment*, vol.42 issue7, p.2488-2497.
- Llinares, C. y Page, A.F., (2008). "Differential semantics as a Kansei Engineering tool for analysing the emotional impressions which determine the choice of neighbourhood: The case of Valencia, Spain". in *Landscape and Urban Planning*, vol.87 issue4, p.247-257.
- Llinares, C. y Page, A.F., (2011). "Kano's model in Kansei Engineering to evaluate subjective real estate consumer preferences". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.41 issue3, p.233-246.
- Llorens, T., Canter, D., Stringer, P., Sommer, R. y Lee, T.R., (1973). *Hacia una psicología de la arquitectura: Teoría y métodos*, Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares.
- Lokman, A.M. y Nagamachi, M., (2009). "Validation of Kansei Engineering Adoption in E-Commerce Web Design". in *Kansei Engineering International Journal*, vol.9 issue1, p.23-30.

- Loomis, J., Blascovich, J. Ames y Beall, A., (1999). "Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology.". in *Behavior research methods, instruments, & computers*, vol.31 issue4, p.557-564.
- López-Tarruella, J., Higuera, J.L., Iñarra, S., Llinares, C., Guixeres, J. y Alcañiz, M., (2016). "Realidad Virtual como herramienta para la valoración emocional de entornos arquitectónicos". En *Congreso EGA: El arquitecto, de la tradición al Siglo XXI*. Madrid: Fundación General de la Universidad de Alcalá, pp. 651-658.
- López-Tarruella, J., Higuera, J.L. y Llinares, C., (2016a). "Integración de BIM y Realidad Virtual: Aplicación en el sector de la construcción". En *XXX Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- López-Tarruella, J., Higuera, J.L. y Llinares, C., (2016b). "Neuroarquitectura: respuesta psicofisiológica del usuario ante diseños interiores sostenibles". En *Quinto Foro Internacional de Investigación del Interiorismo*. Guanajuato: UNiversidad de Guanajuato.
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Guixeres, J. y Higuera, J.L., (2016). "Entornos virtuales online y diseño centrado en el usuario: un estudio de caso". in *Dyna*, vol.91 issue6, p.634-638.
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Higuera, J.L. y Iñarra, S., (2017). "Emotional design: prediction of environmental colour's effect in assessments of lactation rooms". En *XXXI Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia (Spain).
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Higuera, J.L. y Marín, J., (2017). "Neuroarchitecture: prediction of emotional well-being provoked by spaces by indirect measurement of brain activity". En *XXXI Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia.
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Iñarra, S. y Higuera, J.L., (2015). "Realidad Virtual, Game Engines y BIM". En *International BIM Congress - EUBIM*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, pp. 124-137.
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Iñarra, S., Higuera, J.L. y Guixeres, J., (2015). "User's differences in spatial understanding by architectural plans and first-person interactive visualizations". En *III International Congress On Construction And Building Research COINVEDI*. Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid.
- López-Tarruella, J., Llinares, C., Montañana, A., Higuera, J.L., Iñarra, S. y Guixeres, J., (2015). "Diseño de espacios sanitarios mediante la aplicación de Realidad Virtual y medición psicofisiológica". En *XXIX Saló Tecnològic de la Construcció EXCO 2015*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, pp. 107-111.
- Lotto, R.B., Clarke, R., Corney, D. y Purves, D., (2011). "Seeing in colour". in *Optics & Laser Technology*, vol.43 issue2, p.261-269.
- Lovett, A., Appleton, K., Warren-Kretzschmar, B. y Von Haaren, C., (2015). "Using 3D visualization methods in landscape planning: An evaluation of options and practical

- issues". in *Landscape and Urban Planning*, vol.142, p.85-94.
- De Lucio, J.V., Mohamadian, M., Ruiz, J.P., Banayas, J., Bernaldez, F.G., Lucio, J. De y Mohamadian, M., (1996). "Visual landscape exploration as revealed by eye movement tracking". in *Landscape and urban Planning*, vol.34 issue2, p.135-142.
- Lynch, K., (1977). *The image of the city*, Cambridge: Mit press.
- Maass, A., Merici, I., Villafranca, E., Furlani, R., Gaburro, E., Getrevi, A. y Masserini, M., (2000). "Intimidating Buildings: Can Courthouse Architecture Affect Perceived Likelihood of Conviction?". in *Environment and Behavior*, vol.32 issue5, p.674-683.
- Machleit, K.A. y Eroglu, S.A., (2000). "Describing and Measuring Emotional Response to Shopping Experience". in *Journal of Business Research*, vol.49 issue2, p.101-111.
- Mahnke, F.H., (1996). *Color, Environment, and Human Response: An Interdisciplinary Understanding*, John Wiley & Sons.
- Mallgrave, H.F., (2010). *The architect's brain : neuroscience, creativity, and architecture*, Wiley-Blackwell.
- Mann, S.L., Selby, E.A., Bates, M.E. y Contrada, R.J., (2015). "Integrating affective and cognitive correlates of heart rate variability: A structural equation modeling approach". in *International Journal of Psychophysiology*, vol.98 issue1, p.76-86.
- Marans, R.W. y Stokols, D., (2013). *Environmental simulation: Research and policy issues*, New York, USA: Plenum Press.
- Mariah, W., Harun, W. y Ibrahim, F., (2009). "Human-environment relationship study of waiting areas in hospitals". En *IASDR*. pp. 691-700.
- Marín, J., Higuera, J.L., De Juan, C., Iñarra, S., López-Tarruella, J. y Llinares, C., (2017). "Development of new metrics to evaluate the impact of architecture on an emotional level in virtual environments". En *XXXI Saló Tecnològic de la Construcció EXCO*. Valencia.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S.L. y Hubel, D.H., (2004). "The role of fixational eye movements in visual perception". in *Nature Reviews Neuroscience*, vol.5 issue3, p.229-240.
- Martín-Gutiérrez, J., Luís Saorín, J., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D.C. y Ortega, M., (2010). "Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students". in *Computers & Graphics*, vol.34 issue1, p.77-91.
- Maslow, A.H., (1943). "A THEORY OF HUMAN MOTIVATION". in *Psychological Review*, vol.50 issue4, p.370-396.
- Mason, C. y Perreault, W., (2012). "of Interpretation Regression Analysis Multiple". in *Journal of Marketing Research*, vol.28 issue3, p.268-280.

- Massaro, D., Savazzi, F., Di Dio, C., Freedberg, D., Gallese, V., Gilli, G. y Marchetti, A., (2012). "When art moves the eyes: A behavioral and eye-tracking study". in *PLoS ONE*, vol.7 issue5, p.e37285.
- Matsubara, T., Ishihara, S., Nagamachi, M. y Matsubara, Y., (2011). "Kansei Analysis of the Japanese Residential Garden and Development of a Low-Cost Virtual Reality Kansei Engineering System for Gardens". in *Advances in Human-Computer Interaction*, vol.2011, p.1-12.
- Matsubara, Y. y Nagamachi, M., (1997). "Hybrid Kansei Engineering System and design support". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.19 issue2, p.81-92.
- Mayer, F.S., Frantz, C.M., Bruehlman-Senecal, E. y Dolliver, K., (2009). "Why Is Nature Beneficial?: The Role of Connectedness to Nature". in *Environment and Behavior*, vol.41 issue5, p.607-643.
- McCorry, L.K., (2007). "Physiology of the autonomic nervous system.". in *American journal of pharmaceutical education*, vol.71 issue4, p.78.
- McIntire, J.P., Havig, P.R. y Geiselman, E.E., (2014). "Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review". in *Displays*, vol.35 issue1, p.18-26.
- McNamara, T.P., Ratcliff, R. y McKoon, G., (1984). "The mental representation of knowledge acquired from maps.". in *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol.10 issue4, p.723-732.
- Mehrabian, A., (1977a). "A questionnaire measure of individual differences in stimulus screening and associated differences in arousability". in *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, vol.1 issue2, p.89-103.
- Mehrabian, A., (1977b). "Individual differences in stimulus screening and arousability". in *Journal of Personality*, vol.45 issue2, p.237-250.
- Mehrabian, A., (1996). "Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament". in *Current Psychology*.
- Mehrabian, A. y Russell, J., (1974). *An approach to environmental psychology*,
- Mehrabian, A. y Russell, J.A., (1974). "The basic emotional impact of environments.". in *Perceptual and motor skills*, vol.38 issue1, p.283-301.
- Mele, M.L. y Federici, S., (2012). "Gaze and eye-tracking solutions for psychological research". in *Cognitive Processing*, vol.13 issueS1, p.261-265.
- Mikellides, B., (1989). *Emotional and behavioural reaction to colour in the built environment*. Oxford Polytechnic.
- Milgram, S., (1963). "Behavioral Study of Obedience". in *Journal of abnormal psychology*, vol.67 issue4, p.371-378.

- Mishra, S., Kurien, A., Ganpule, A., Muthu, V., Sabnis, R. y Desai, M., (2010). "Percutaneous renal access training: Content validation comparison between a live porcine and a virtual reality (VR) simulation model". in *BJU International*, vol.106 issue11, p.1753-1756.
- Mogensen, M.F. y English, H.B., (1926). "The Apparent Warmth of Colors". in *The American Journal of Psychology*, vol.37 issue3, p.427.
- Mondragón, S., Company, P. y Vergara, M., (2005). "Semantic Differential applied to the evaluation of machine tool design". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.35 issue11, p.1021-1029.
- Mondragón, S. y Vergara, M., (2008). "Ingeniería Kansei". in *Revista Faz*, issue2, p.46-59.
- Montañana, A., (2009). *Estudio cuantitativo de la percepción del usuario en la valoración de ofertas inmobiliarias mediante Ingeniería Kansei*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Monti, F., Agostini, F., Dellabartola, S., Neri, E., Bozicevic, L. y Pocecco, M., (2012). "Pictorial intervention in a pediatric hospital environment: Effects on parental affective perception of the unit". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.32 issue3, p.216-224.
- Mora, F., (2005). *Cómo funciona el cerebro*, Alianza Editorial.
- Mora, F., (2014). *Neuroeducación*, Alianza Editorial.
- Mourshed, M. y Zhao, Y., (2012). "Healthcare providers' perception of design factors related to physical environments in hospitals". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.32 issue4, p.362-370.
- Mujber, T.S., Szecsi, T. y Hashmi, M.S.J., (2004). "Virtual reality applications in manufacturing process simulation". in *Journal of Materials Processing Technology*, vol.155-156, p.1834-1838.
- Munsell, A., (1905). *A Color Notation*, Boston, MA, US: Ellis & Co.
- Muntañola, J., (1986). "Psicología Y Arquitectura : Notas Breves". , p.1-18.
- Nagamachi, M., (1995). "Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.15 issue1, p.3-11.
- Nagasawa, S., (1995). "Fuzzy sensory evaluation of condominia's facade". En *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. The International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and The Second International Fuzzy Engineering Symposium*. IEEE, pp. 503-508.
- Nagasawa, Y., (2000). "The geography of hospitals". En *Theoretical perspectives in environment-behavior*. Springer US, pp. 217-227.

- Nakshian, J., (1964). "The effects of red and green surroundings on behavior". in *The Journal of General Psychology*.
- Napierski, P.E., Altenhoff, B.M., Bertrand, J.W., Long, L.O., Babu, S. V., Pagano, C.C. y Davis, T.A., (2014). "An evaluation of immersive viewing on spatial knowledge acquisition in spherical panoramic environments". in *Virtual Reality*, vol.18 issue3, p.189-201.
- Nasar, J.L., (1983). "Adult Viewers' Preferences in Residential Scenes: A Study of the Relationship of Environmental Attributes to Preference". in *Environment and Behavior*, vol.15 issue5, p.589-614.
- Nasar, J.L., (1989). "Symbolic meanings of house styles". in *Environment and Behavior*, vol.21 issue3, p.235-257.
- Nasar, J.L. y Hong, X., (1999). "Visual preferences in urban signscapes". in *Environment and Behavior*, vol.31 issue5, p.671-691.
- Nasar, J.L. y Kang, J., (1989). "A Post-Jury Evaluation: The Ohio State University Design Competition for a Center for the Visual Arts". in *Environment and Behavior*, vol.21 issue4, p.464-484.
- Nasar, J.L. y Kang, J., (1999). "House style preference and meanings across taste cultures". in *Landscape and Urban Planning*, vol.44 issue1, p.33-42.
- Nasar, J.L., Stamps, A.E. y Hanyu, K., (2005). "Form and function in public buildings". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.25 issue2, p.159-165.
- Nelson, J.G., Pelech, M.T. y Foster, S.F., (1984). "Color Preference and Stimulation Seeking". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.59 issue3, p.913-914.
- Nightingale, F., (1863). *Notes on hospitals*, Longman.
- Nikolic, D., (2007). "Evaluating Relative Impact of Virtual Reality Components Detail and Realism on Spatial Comprehension and Presence". , issue52, p.cicrp, penn state university, technical report no.
- Nizam Kamaruzzaman, S. y Marinie Ahmad Zawawi, E., (2010). "Influence of Employees' Perceptions of Colour Preferences on Productivity in Malaysian Office Buildings". in *Journal of Sustainable Development*, vol.3 issue3.
- O'Connor, Z., (2006). "Bridging the Gap: Façade Colour, Aesthetic Response and Planning Policy". in *Journal of Urban Design*, vol.11 issue3, p.335-345.
- O'Neill, M., (1994). "Work space adjustability, storage, and enclosure as predictors of employee reactions and performance". in *Environment and Behavior*, vol.26 issue4, p.504-526.
- O'Neill, M.J., (1992). "Effects of familiarity and plan complexity on wayfinding in simulated buildings". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.12 issue4, p.319-327.

- Oberfeld, D. y Hecht, H., (2011). "Fashion versus perception: the impact of surface lightness on the perceived dimensions of interior space". in *Human factors*, vol.53 issue3, p.284-298.
- Öhman, A. y Soares, J., (1998). "Emotional Conditioning to Masked Stimuli : Expectancies for Aversive Outcomes Following Nonrecognized Fear-Relevant Stimuli Emotional Conditioning to Masked Stimuli : Expectancies for Aversive Outcomes Following Nonrecognized Fear-Relevant Stimuli". in *Journal of Experimental Psychology*, vol.127 issueMARCH 1998, p.69-82.
- Oostendorp, A. y Berlyne, D., (1978). "Dimensions in the perception of architecture: I. Identification and interpretation of dimensions of similarity". in *Scandinavian Journal of Psychology*, vol.19 issue1, p.73-82.
- Osgood, C.E., (1952). "The nature and measurement of meaning". in *Psychological Bulletin*, vol.49 issue3, p.227.
- Osgood, C.E. y Suci, G.J., (1955). "Factor analysis of meaning.". in *Journal of Experimental Psychology*, vol.50 issue5, p.325-338.
- Osgood, C.E., Suci, G.J. y Tannenbaum, P.H., (1957). *The Measurement of Meaning.*, Urbana, USA: University of Illinois Press.
- Osmond, H., (1957). "Function as the Basis of Psychiatric Ward Design". in *Psychiatric Services*, vol.8 issue4, p.23-27.
- Palmer, S.E. y Schloss, K.B., (2010). "An ecological valence theory of human color preference.". in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.107 issue19, p.8877-82.
- Paraskeva, C. y Koulteris, G., (2012). "Gender differences in spatial awareness in immersive virtual environments: a preliminary investigation". in *Vrcal*, vol.1 issue212, p.95-98.
- Parsons, R., Tassinari, L.G., Ulrich, R.S., Hebl, M.R. y Grossman-Alexander, M., (1998). "The view from the road: Implications for stress recovery and immunization". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.18 issue2, p.113-140.
- Passini, R., (1984). "Spatial representations, a wayfinding perspective". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.4 issue2, p.153-164.
- Patrick, E., Cosgrove, D., Slavkovic, A., Rode, J.A., Verratti, T. y Chiselko, G., (2000). "Using a large projection screen as an alternative to head-mounted displays for virtual environments". in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '00*, vol.2 issue1, p.478-485.
- Pauwels, P., Meyer, R. De y Campenhout, J. Van, (2011). "Linking a game engine environment to architectural information on the semantic web". in *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol.5 issue9, p.787-798.

- Peavey, E.K., Zoss, J. y Watkins, N., (2012). "Simulation and Mock-Up Research Methods To Enhance Design Decision Making.". in *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol.5 issue3, p.113-143.
- Pedersen, D., (1997). "Psychological functions of privacy". in *Journal of Environmental Psychology*.
- Perrault, C., (1761). *Compendio de los diez libros de arquitectura de Vitruvio. Escrito en francés por Claudio Perrault. Traducido al castellano por Don Joseph Castañeda*,
- Peruch, P. y Wilson, P.N., (2004). "Active versus passive learning and testing in a complex outside built environment". in *Cognitive Processing*, vol.5 issue4, p.218-227.
- Peterson-Sweeney, K., (2005). "The use of focus groups in pediatric and adolescent research". in *Journal of Pediatric Health Care*, vol.19 issue2, p.104-110.
- Petiot, J.-F. y Yannou, B., (2004). "Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.33 issue6, p.507-525.
- Phan, K.L., Wager, T., Taylor, S.F. y Liberzon, I., (2002). "Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI". in *NeuroImage*, vol.16 issue2, p.331-348.
- Philip, D., (1996). "The practical failure of architectural psychology.". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.16, p.277-284.
- Pietsch, S.M., (2000). "Computer visualisation in the design control of urban environments: a literature review". in *Environment and Planning B*, vol.27 issue4, p.521-536.
- Pituch, K.A. y Stevens, J., (2016). *Applied multivariate statistics for the social sciences. 6th edition*, New York: Routledge (Taylor & Francis).
- Pohl, R., (2004). *Cognitive illusions : a handbook on fallacies and biases in thinking, judgement and memory*, Psychology Press.
- Pol, E., (2007). "Blueprints for a History of Environmental Psychology (II): From Architectural Psychology to the challenge of sustainability". in *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, vol.8 issue1/2, p.1-28.
- Pol, E., (1993). *Environmental psychology in Europe : from architectural psychology to green psychology*,
- Portman, M.E., Natapov, a. y Fisher-Gewirtzman, D., (2015). "To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning". in *Computers, Environment and Urban Systems*, p.1-9.
- Powers, M.B. y Emmelkamp, P.M.G., (2008). "Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: A meta-analysis". in *Journal of Anxiety Disorders*, vol.22 issue3, p.561-569.

- Pressey, S.L., (1921). "The Influence of Color upon Mental and Motor Efficiency". in *The American Journal of Psychology*, vol.32 issue3, p.326.
- Priluck Grossman, R. y Wisenblit, J.Z., (1999). "What we know about consumers' color choices". in *Journal of Marketing Practice: Applied Marketing Science*, vol.5 issue3, p.78-88.
- Proshansky, H.M., Ittelson, W.H. y Rivlin, L.G., (1970). "Environmental psychology: Man and his physical setting".
- Pulsifer, M.B., Brandt, J., Salorio, C.F., Vining, E.P.G., Carson, B.S. y Freeman, J.M., (2004). "The Cognitive Outcome of Hemispherectomy in 71 Children". in *Epilepsia*, vol.45 issue3, p.243-254.
- Radford, A., Woodbury, R., Braithwaite, G., Kirkby, S., Sweeting, R. y Huang, E., (1997). "Issues of abstraction, accuracy and realism in large scale computer urban models". En *CAAD futures 1997*. Netherlands: Springer, pp. 679-690.
- Ragan, E.D., Bowman, D.A. y Huber, K.J., (2012). "Supporting cognitive processing with spatial information presentations in virtual environments". in *Virtual Reality*, vol.16 issue4, p.301-314.
- Rahimian, F.P. y Ibrahim, R., (2011). "Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design". in *Design Studies*, vol.32 issue3, p.255-291.
- Ramsøy, T.Z., (2015). *Introduction to Neuromarketing & Consumer Neuroscience*, Neurons Inc.
- Rantanen, A., Laukka, S.J., Lehtihalmes, M. y Seppänen, T., (2010). "Heart Rate Variability (HRV) reflecting from oral reports of negative experience". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.5, p.483-487.
- Rantanen, A., Siipo, A., Seppänen, T., Väyrynen, E., Lehtihalmes, M. y Laukka, S.J., (2013). "Heart Rate Variability (HRV) of Male Subjects Related to Oral Reports of Affective Pictures". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.84, p.13-17.
- Rapoport, A., (1982). *The Meaning of Built Environment: A Nonverbal Communication*, University of Arizona Press.
- Rashid, M. y Zimring, C., (2008). "A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings: Problems and Prospects of Sharing Evidence". in *Environment and Behavior*, vol.40 issue2, p.151-190.
- Raubal, M. y Egenhofer, M.J., (1998). "Comparing the complexity of wayfinding tasks in built environments". in *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol.25 issue6, p.895-913.

- Richardson, A.E., Montello, D.R. y Hegarty, M., (1999). "Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments.". in *Memory & cognition*, vol.27 issue4, p.741-50.
- Rohrmann, B. y Bishop, I.D., (2002). "Subjective responses to computer simulations of urban environments". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.22 issue4, p.319-331.
- Rosalyn, C., (2009). *Evidence-Based Healthcare Design*, John Wiley & Sons.
- Rosen, J.M., Soltanian, H., Redett, R.J. y Laub, D.R., (1996). "Evolution of virtual reality". in *IEEE Engineering in Medicine & Biology*, vol.15 issue2; 6, p.16-22.
- Rosenstein, L.D., (1985). "Effect of color of the environment on task performance and mood of males and females with high or low scores on the Scholastic Aptitude Test". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.60 issue2, p.550.
- Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J.S. y North, M., (1995). "Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia". in *American Journal of Psychiatry*, vol.152 issue4, p.626-628.
- Rousek, J.B. y Hallbeck, M.S., (2011). "The use of simulated visual impairment to identify hospital design elements that contribute to wayfinding difficulties". in *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.41 issue5, p.447-458.
- Rubia, F., (2000). *El cerebro nos engaña*, Temas de hoy.
- Rüppel, U. y Schatz, K., (2011). "Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations". in *Advanced Engineering Informatics*, vol.25 issue4, p.600-611.
- Russell, J.A. y Mehrabian, A., (1978). "Approach-Avoidance and Affiliation as Functions of the Emotion-Eliciting Quality of an Environment". in *Environment and Behavior*, vol.10 issue3, p.355-387.
- Russell, J.A. y Mehrabian, A., (1977). "Evidence for a three-factor theory of emotions". in *Journal of Research in Personality*, vol.11 issue3, p.273-294.
- Russell, J.A., Weiss, A. y Mendelsohn, G.A., (1989). "Affect Grid: A Single-Item Scale of Pleasure and Arousal". in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol.57 issue3, p.493-502.
- Sadalla, E. y Sheets, V., (1993). "Symbolism in Building Materials Self-Presentational and Cognitive Components". in *Environment and Behavior*.
- Sagun, A., Bouchlaghem, D. y Anumba, C.J., (2011). "Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events". in *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol.19 issue3, p.1007-1019.

- Salingaros, N. a., (2011). "Why Monotonous Repetition is Unsatisfying". , issueSeptember, p.1-12.
- Samah, Z.A., Ibrahim, N. y Amir, J.S., (2013). "Translating Quality Care Factors to Quality Space: Design Criteria for Outpatient Facility". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.105, p.265-272.
- Samah, Z.A., Ibrahim, N., Othman, S. y Wahab, M.H.A., (2012). "Assessing Quality Design of Interiors: A case study of a Hospital Outpatient Unit in Malaysia". in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol.35 issueDecember 2011, p.245-252.
- Schnabel, M. y Kvan, T., (2003). "Spatial Understanding in Immersive Virtual Environments". in *International Journal of Architectural Computing*, vol.1 issue4, p.435-448.
- Schnall, S., Hedge, C. y Weaver, R., (2012). "The Immersive Virtual Environment of the digital fulldome: Considerations of relevant psychological processes". in *International Journal of Human-Computer Studies*, vol.70 issue8, p.561-575.
- Schuchardt, P. y Bowman, D., (2007). "The benefits of immersion for spatial understanding of complex underground cave systems". in *Proceedings of the 2007 ACM symposium on Virtual reality software and technology*, vol.1 issue212, p.121-124.
- Schütte, S., Eklund, J., Axelsson, J. y Nagamachi, M., (2004). "Concepts, methods and tools in Kansei Engineering". in *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol.5 issue3, p.214-231.
- Schweitzer, M., Gilpin, L. y Frampton, S., (2004). "Healing spaces: elements of environmental design that make an impact on health.". in *Journal of alternative and complementary medicine (New York, N.Y.)*, vol.10 Suppl 1 issue1, p.s71-s83.
- Sendai, S., (2011). "Architectural Kansei of «Wall» in the façade design by Le Corbusier". in *Kansei Engineering International Journal*, vol.10 issue1, p.29-36.
- Sharts-Hopko, N.C., (2001). "Focus group methodology: when and why?". in *The Journal of the Association of Nurses in AIDS Care : JANAC*, vol.12 issue4, p.89-91.
- Shaver, P., Schwartz, J., Kirson, D. y O'Connor, C., (1987). "Emotion knowledge: Further exploration of a prototype approach". in *Journal of personality and social psychology*, vol.52 issue6, p.1061-1086.
- Sheppard, S., (1989). *Visual simulation: a user guide for architects, engineers and planners V*. N. Reinhold, ed., New York, USA.
- Shergill, G.S., Sarrafzadeh, A., Diegel, O. y Shekar, A., (2008). "Computerized Sales Assistants: The application of computer technology to measure consumer interest-a conceptual framework". in *Journal of Electronic Commerce Research*, vol.9 issue2, p.176-191.
- Sherman, S. a., Varni, J.W., Ulrich, R.S. y Malcarne, V.L., (2005). "Post-occupancy evaluation of healing gardens in a pediatric cancer center". in *Landscape and Urban Planning*,

vol.73 issue2-3, p.167-183.

- Shin, J., Maxwell, L.E. y Eshelman, P., (2004). "Hospital birthing room design: A study of mothers' perception of hominess". in *Journal of Interior Design*, vol.30 issue2, p.23-36.
- Simon, H.A. y A., H., (1954). "Spurious Correlation: A Causal Interpretation". in *Journal of the American Statistical Association*, vol.49 issue267, p.467.
- Simpson, G., Johnston, L. y Richardson, M., (2003). "An investigation of road crossing in a virtual environment". in *Accident Analysis and Prevention*, vol.35 issue5, p.787-796.
- Sivik, L., (1997). "Color systems for cognitive research". En C. L. Hardin, & L. Maffi, eds. *Color Categories in Thought and Language*. Cambridge University Press, pp. 163-192.
- Sivik, L., (1974). *Studies of color meaning*. Göteborgs universitet.
- Skorupski, P. y Chittka, L., (2011). "Is colour cognitive?". in *Optics & Laser Technology*, vol.43 issue2, p.251-260.
- Skov, M. y Vartanian, O., (2009). "Introduction: What is neuroaesthetics?".
- Slater, M., Khanna, P., Mortensen, J. y Yu, I., (2009). "Visual Realism Enhances Realistic Response in an Immersive Virtual Environment". in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.29 issue3, p.76-84.
- Slater, M., Sadagic, A., Usoh, M. y Schroeder, R., (2000). "Small-group behavior in a virtual and real environment: A comparative study". in *Presence*, vol.9 issue1, p.37-51.
- Slater, M. y Wilbur, S., (1997). "A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments". in *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol.6 issue6, p.603-616.
- Slator, B.M., Juell, P., McClean, P.E., Saini-Eidukat, B., Schwert, D.P., White, A.R. y Hill, C., (1999). "Virtual environments for education". in *Journal of Network and Computer Applications*, vol.22 issue3, p.161-174.
- Smardon, R.C., (1988). "Perception and aesthetics of the urban environment: Review of the role of vegetation". in *Landscape and Urban Planning*, vol.15 issue1-2, p.85-106.
- Smith, J., (2007). *Health and nature: The influence of nature on design of the environment of care*, Concord, CA.
- Sommer, B. y Sommer, R., (1986). *A Practical Guide to Behavioral Research: Tools and Techniques*, Oxford University Press.
- Sommer, R., (1983). *Social Design: Creating Building with People in Mind*, Prentice Hall.
- Sommer, R. y Ross, H., (1958). "Social Interaction On a Geriatrics Ward". in *International Journal of Social Psychiatry*, vol.4 issue2, p.128-133.
- Stamps, A.E., (1999a). "Demographic Effects in Environmental Aesthetics: A Meta-Analysis".

- in *Journal of Planning Literature*, vol.14 issue2, p.155-175.
- Stamps, A.E., (2007). "Evaluating spaciousness in static and dynamic media". in *Design Studies*, vol.28 issue5, p.535-557.
- Stamps, A.E., (2004). "Mystery, complexity, legibility and coherence: A meta-analysis". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.24 issue1, p.1-16.
- Stamps, A.E., (1999b). "Physical determinants of preferences for residential facades". in *Environment and Behavior*, vol.31 issue6, p.723-752.
- Stamps, A.E., (1990). "Use of photographs to simulate environments: A meta-analysis". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.71 issue3, p.907-913.
- Stamps, A.E. y Miller, S., (1993). "Advocacy Membership, Design Guidelines, and Predicting Preferences for Residential Infill Designs". in *Environment and Behavior*, vol.25 issue5, p.367-409.
- Stamps, A.E. y Nasar, J.L., (1997). "Design review and public preferences: effects of geographical location, public consensus, sensation seeking, and architectural styles". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.17 issue1, p.11-32.
- Standen, P.J.J., Brown, D.J.J. y Cromby, J.J., (2001). "The effective use of virtual environments in the education and rehabilitation of students with intellectual disabilities". in *British Journal of Educational Technology*, vol.32 issue3, p.289-299.
- Steg, L., Van den Berg, A.E. y De Groot, J.I.M., (2012). *Environmental psychology: An introduction*, Wiley Blackwell / British Psychological Society.
- Sternberg, E.M. y Wilson, M.A., (2006). "Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground". in *Cell*, vol.127 issue2, p.239-242.
- Stevens, D.C., Helseth, C.C., Thompson, P.A., Pottala, J. V., Khan, M.A. y Munson, D.P., (2012). "A Comprehensive Comparison of Open-Bay and Single-Family-Room Neonatal Intensive Care Units at Sanford Children's Hospital". in *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol.5 issue4, p.23-39.
- Stone, D.A., (2015). *Eye Tracking Consumer Purchase Behavior Within Physical and Virtual Environments*.
- Stone, N.J., (2001). "Designing Effective Study Environments". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.21 issue2, p.179-190.
- Stone, N.J., (2003). "Environmental view and color for a simulated telemarketing task". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.23 issue1, p.63-78.
- Streiner, D.L., (2003). "Starting at the Beginning: An Introduction to Coefficient Alpha and Internal Consistency". in *Journal of Personality Assessment*, vol.80 issue1, p.99-103.
- Streit, M., Ioannides, A.A., Liu, L., Wölwer, W., Dammers, J., Gross, J., Gaebel, W. y Müller-

- Gärtner, H.-W., (1999). "Neurophysiological correlates of the recognition of facial expressions of emotion as revealed by magnetoencephalography". in *Cognitive Brain Research*, vol.7 issue4, p.481-491.
- Sun, L., Fukuda, T., Tokuhara, T. y Yabuki, N., (2014). "Differences in spatial understanding between physical and virtual models". in *Frontiers of Architectural Research*, vol.3 issue1, p.28-35.
- Sunesson, K., Allwood, C.M., Paulin, D., Heldal, I., Roupe, M., Johansson, M. y Westerdahl, B., (2008). "Virtual reality as a new tool in the city planning process". in *Tsinghua Science and Technology*, vol.13 issueS1, p.255-260.
- Taboada, J.A.F., (2011). "Sobre perspectiva, fotografía e infografía apuntes para una fenomenología de la representación". in *EGA Revista de Expression Grafica Arquitectonica*, vol.17 issue1, p.53-64.
- Tamayo, M., (2003). *El proceso de la investigación científica*, Limusa.
- Tapia, M., Carretié, L., Sierra, B. y Mercado, F., (2008). "Incidental encoding of emotional pictures: Affective bias studied through event related brain potentials". in *International Journal of Psychophysiology*, vol.68 issue3, p.193-200.
- Taylor, S. y Bodgan, R., (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: la búsqueda de significados*, Paidós.
- Terninko, J., (1997). *Step-by-step QFD: customer-driven product design* Second ed., Florida, USA: St. Lucie Press.
- Thornton, W.A., (1974). "A Validation of the Color-Preference Index". in *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol.4 issue1, p.48-52.
- Tofle, R., Schwartz, B., Yoon, S., Max-Royale, A., Des, M., Schwartz, B., Yoon, S. y Max-Royale, A., (2004). *Color In Healthcare Environments - A Research Report*, San Francisco, CA: Coalition for Health Environments Research.
- Trenholme, D. y Smith, S.P., (2008). "Computer game engines for developing first-person virtual environments". in *Virtual Reality*, vol.12 issue3, p.181-187.
- Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y. y Sato, H., (2005). "Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses". in *Building and Environment*, vol.40 issue10, p.1341-1346.
- Tversky, A. y Kahneman, D., (1975). "Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases". En *Utility, Probability, and Human Decision Making*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 141-162.
- Ulrich, R.S., (1991). *Effects of interior design on wellness: theory and recent scientific research.*,

- Ulrich, R.S., (2002). "Health Benefits of Gardens in Hospitals". in *Nursing*.
- Ulrich, R.S., (1986). "Human responses to vegetation and landscapes". in *Landscape and Urban Planning*, vol.13, p.29-44.
- Ulrich, R.S., (1981). "Natural Versus Urban Scenes: Some Psychophysiological Effects". in *Environment and Behavior*, vol.13 issue5, p.523-556.
- Ulrich, R.S., (1984). "View through a window may influence recovery from surgery.". in *Science*, vol.224 issue4647, p.420-421.
- Ulrich, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A. y Zelson, M., (1991). "Stress recovery during exposure to natural and urban environments". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.11 issue3, p.201-230.
- Ulrich, R.S., Zimring, C., Zhu, X., DuBose, J., Seo, H.B., Choi, Y.S., Quan, X. y Joseph, A., (2008). "A review of the research literature on evidence-based healthcare design.". in *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol.1 issue3, p.61-125.
- Usoh, M., Catena, E., Arman, S. y Slater, M., (2000). "Using presence questionnaires in reality". in *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, p.1-16.
- Valdez, P. y Mehrabian, a, (1994). "Effects of color on emotions.". in *Journal of experimental psychology. General*, vol.123 issue4, p.394-409.
- Vartanian, O. y Goel, V., (2004). "Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings". in *Neuroreport*.
- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L.B., Gonzalez-Mora, J.L., Leder, H., Modroño, C., Nadal, M., Rostrup, N. y Skov, M., (2015). "Architectural design and the brain: Effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.41, p.10-18.
- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L.B., Leder, H., Modroño, C., Nadal, M., Rostrup, N. y Skov, M., (2013). "Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture.". in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.110 Suppl , p.10446-53.
- Vecchiato, G., Jelic, A., Tieri, G., Maglione, A.G., De Matteis, F. y Babiloni, F., (2015). "Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments". in *Cognitive Processing*, vol.16 issue1, p.425-429.
- Vecchiato, G., Tieri, G., Jelic, A., De Matteis, F., Maglione, A.G. y Babiloni, F., (2015). "Electroencephalographic Correlates of Sensorimotor Integration and Embodiment during the Appreciation of Virtual Architectural Environments.". in *Frontiers in psychology*, vol.6, p.1944.

- Venables, P. y Christie, M., (1980). *Electrodermal activity* I. Martin, & P. Venables, eds., Chichester, UK: Wiley.
- Verderber, S. y Fine, D., (2000). *Healthcare architecture in an era of radical transformation*, Yale University Press.
- Vilar, E., Rebelo, F. y Noriega, P., (2014). "Indoor human wayfinding performance using vertical and horizontal signage in virtual reality". in *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, vol.24 issue6.
- Vince, J., (2004). *Introduction to Virtual Reality*, London: Springer London.
- Da Vinci, L., (1480). *Tratado de pintura*,
- Vural, E., Bartlett, M., Littlewort, G., Cetin, M., Ercil, A. y Movellan, J., (2010). "Discrimination of moderate and acute drowsiness based on spontaneous facial expressions". En *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*. pp. 3874-3877.
- Wallis, G. y Bulthoff, H., (2000). "What's Scene and Not Seen: Influences of Movement and Task Upon What We See". in *Visual Cognition*, vol.7 issue1-3, p.175-190.
- Walsh, L.M., Toma, R.B., Tuveson, R. V. y Sondhi, L., (1990). "Color preference and food choice among children.". in *The Journal of psychology*, vol.124 issue6, p.645-53.
- Walton, D., (1997). *Appeal to expert opinion. Arguments from Authority.*,
- Wan, M. y Toppinen, A., (2016). "Effects of perceived product quality and Lifestyles of Health and Sustainability (LOHAS) on consumer price preferences for children's furniture in China". in *Journal of Forest Economics*, vol.22, p.52-67.
- Wang, C.-C., Yang, C.-H., Wang, C.-S., Chang, T.-R. y Yang, K.-J., (2016). "Feature recognition and shape design in sneakers". in *Computers & Industrial Engineering*, vol.102, p.408-422.
- Wang, X. y Tsai, J.J.-H., (2011). *Collaborative Design in Virtual Environments* X. Wang, & J. J.-H. Tsai, eds., Dordrecht: Springer Netherlands.
- Watkins, N., Kobelja, M., Peavey, E., Thomas, S. y Lyon, J., (2011). "An evaluation of operating room safety and efficiency: pilot utilization of a structured focus group format and three-dimensional video mock-up to inform design decision.". in *Herd*, vol.5 issue1, p.6-22.
- Webb, E.J., (1981). *Nonreactive measures in the social sciences*, Houghton Mifflin.
- Wedel, M. y Pieters, R., (2008). "A Review of Eye-Tracking Research in Marketing". En pp. 123-147.
- Wergles, N. y Muhar, A., (2009). "The role of computer visualization in the communication of urban design—A comparison of viewer responses to visualizations versus on-site visits". in *Landscape and Urban Planning*, vol.91 issue4, p.171-182.

- Westerdahl, B., Suneson, K., Wernemyr, C., Roupé, M., Johansson, M. y Martin Allwood, C., (2006). "Users' evaluation of a virtual reality architectural model compared with the experience of the completed building". in *Automation in Construction*, vol.15 issue2, p.150-165.
- Wexner, L.B., (1954). "The degree to which colors (hues) are associated with mood-tones.". in *Journal of Applied Psychology*, vol.38 issue6, p.432-435.
- White, J.M., (1999). "Effects of relaxing music on cardiac autonomic balance and anxiety after acute myocardial infarction". in *American Journal of Critical Care*, vol.8 issue4, p.220-230.
- White, M., Smith, A., Humphryes, K., Pahl, S., Snelling, D. y Depledge, M., (2010). "Blue space: The importance of water for preference, affect, and restorativeness ratings of natural and built scenes". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.30 issue4, p.482-493.
- Whitehouse, S., (2001). "Evaluating a Children'S Hospital Garden Environment: Utilization and Consumer Satisfaction". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.21 issue3, p.301-314.
- Whitfield, T.W. y Wiltshire, T.J., (1990). "Color psychology: a critical review.". in *Genetic, social, and general psychology monographs*, vol.116 issue4, p.385-411.
- Willemssen, P. y Gooch, A., (2002). "Perceived egocentric distances in real, image-based, and traditional virtual environments". En *Virtual Reality, 2002. Proceedings. ...*
- Wilson, E., (1984). *Biophilia*, Harvard University Press.
- Wilson, G., (1966). "Arousal properties of red versus green". in *Perceptual and motor skills*, vol.23 issue3, p.947-949.
- Wilson, M.A., (1996). "The socialization of architectural preference". in *Journal of Environmental Psychology*, vol.16 issue1, p.33-44.
- Wise, B.K. y Wise, J.A., (1988). *The human factors of color in environmental design: A critical review*,
- Witmer, B.G. y Singer, M.J., (1998). "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire". in *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, vol.7 issue3, p.225-240.
- Yan, W., (2008). "Environment-Behavior Simulation: From CAD to BIM and Beyond". En *ACADIA 08 Computational Methods for Data Integration Environment-Behavior Simulation*. pp. 478-485.
- Yan, W., Culp, C. y Graf, R., (2011). "Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization". in *Automation in Construction*, vol.20 issue4, p.446-458.
- Yang, C.-C., (2011). "A classification-based Kansei engineering system for modeling

- consumers' affective responses and analyzing product form features". in *Expert Systems with Applications*, vol.38 issue9, p.11382-11393.
- Yani, M. y Foxall, G.R., (2002). "A Spanish translation of Mehrabian and Russell's emotionality scales for environmental consumer psychology"., vol.2, p.23-36.
- Yildirim, K., Akalin-Baskaya, a. y Hidayetoglu, M.L., (2007). "Effects of indoor color on mood and cognitive performance". in *Building and Environment*, vol.42 issue9, p.3233-3240.
- Yildirim, K., Cagatay, K. y Ayalp, N., (2015). "Effect of wall colour on the perception of classrooms". in *Indoor and Built Environment*, vol.24 issue5, p.607-616.
- Yildirim, K., Hidayetoglu, M.L. y Capanoglu, A., (2011). "Effects of interior colors on mood and preference: comparisons of two living rooms". in *Perceptual and Motor Skills*, vol.112 issue2, p.509-524.
- Zajonc, R.B., (1968). "Attitudinal Effects of Mere Exposure". in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol.9 issue2, p.1-27.
- Zeki, S., (2001). "Artistic Creativity and the Brain". in *Science*, vol.293 issue5527.
- Zhang, L., Chi, Y.M., Edelstein, E., Schulze, J., Gramann, K., Velasquez, A., Cauwenberghs, G. y Macagno, E., (2010). "Wireless physiological monitoring and ocular tracking: 3D calibration in a fully-immersive virtual health care environment". in *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'10*, p.4464-4467.
- Zhou, W., Whyte, J. y Sacks, R., (2012). "Construction safety and digital design: A review". in *Automation in Construction*, vol.22, p.102-111.
- Zikic, N., (2007). *Evaluating Relative Impact Of VR Components Screen Size, Stereoscopy And Field Of View On Spatial Comprehension And Presence In Architecture*. Pennsylvania State University.
- Zube, E.H., Simcox, D.E. y Law, C.S., (1987). "Perceptual Landscape Simulations: History and Prospect". in *Landscape Journal.*, vol.6 issue1, p.62-80.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El hombre de Vitruvio. Esquema a partir de la interpretación de Leonardo da Vinci del estudio de proporciones humanas de Vitruvio.....	3
Figura 2. Esquema de la metodología de diseño propuesta	7
Figura 3. Cuadro resumen de los estudios desarrollados.....	11
Figura 4. Pirámide de necesidades de Maslow, a partir de (Maslow, 1943).	24
Figura 5. Modelo de Calidad de Jordan, a partir de (Jordan, 2003)	25
Figura 6. Modelo de Kano, a partir de (Kano et al, 1984).....	25
Figura 7. Dispositivos de entrada de datos. Joystick, cinta andadora y guante háptico. ...	51
Figura 8. Compromiso entre calidad y velocidad en el procesamiento de entornos de RV52	
Figura 9. Visión inmersiva estereoscópica: Google Cardboard y Samsung Gear VR	54
Figura 10. Render panorámico (arriba) y dos puntos de vista desde éste (abajo)	58
Figura 11. El cerebro y los lóbulos cerebrales.	83
Figura 12. Neurona.....	84
Figura 13. Homúnculos sensorial y motor.....	86
Figura 1.1 Ejemplo de imágenes mostradas.....	109
Figura 1.2 Medias de las valoraciones por estilo.....	114
Figura 1.3 Grupo Antiguo: Valoraciones medias segmentadas	115
Figura 1.4 Grupo Clásico: Valoraciones medias segmentadas	115
Figura 1.5 Grupo Modernismo: Valoraciones medias segmentadas	116
Figura 1.6 Grupo Racionalismo: Valoraciones medias segmentadas	116
Figura 1.7 Grupo Años 50 a 80: Valoraciones medias segmentadas	117
Figura 1.8 Grupo Actual no emblemático: Valoraciones medias segmentadas	117
Figura 1.9 Grupo Actual emblemático: Valoraciones medias segmentadas	118
Figura 1.10 Grupo Actual minimalismo: Valoraciones medias segmentadas.....	118
Figura 1.11 Grupo Actual radical: Valoraciones medias segmentadas.....	119
Figura 1.12 Correlaciones de las valoraciones por material	121
Figura 1.13 Material Piedra: Valoraciones medias segmentadas	122
Figura 1.14 Material Ladrillo: Valoraciones medias segmentadas	122
Figura 1.15 Material Madera: Valoraciones medias segmentadas	123
Figura 1.16 Material Hormigón: Valoraciones medias segmentadas	123
Figura 1.17 Material Metal: Valoraciones medias segmentadas.....	124
Figura 1.18 Material Vidrio: Valoraciones medias segmentadas	124
Figura 1.19 Material Blanco: Valoraciones medias segmentadas	125
Figura 1.20 Material Color: Valoraciones medias segmentadas	125
Figura 1.21 Imágenes con diferencias significativas por sesgo de exposición.....	127
Figura 2.1 Formatos evaluados: plano, render y entorno virtual	143
Figura 2.2 Medias segmentadas de los errores de las respuestas de memoria espacial .	148

Figura 3.1. Imágenes mostradas en el Estudio 3.....	160
Figura 3.2 Espacio perceptual Funcionalidad / Calidez.....	166
Figura 3.3 Espacio perceptual Funcionalidad / Diseño.	166
Figura 3.4 Espacio perceptual Diseño / Calidez.	167
Figura 4.1 Renders equirectangulares en los nueve colores desde un punto de vista	183
Figura 4.2 Vista de uno de los escenarios tal como lo veían los participantes	183
Figura 4.3 Correlación de cada color con las diferentes impresiones emocionales.....	187
Figura 4.4 Correlación de cada impresión emocional con los diferentes colores	188
Figura 4.5 Incidencia de los colores en la valoración global	190
Figura 5.1 Salas de lactancia visualizadas en el Estudio 5.....	204
Figura 5.2 Medias z-estandarizadas de las variables psicofisiológicas.....	209
Figura 6.1 Ejemplo de estímulos del grupo “natural” y “artificial”	222
Figura 6.2 Registro gráfico de la Actividad Electro dérmica de un participante	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Perfil demográfico de los participantes	111
Tabla 1.2 Medias y d.e. en las valoraciones segmentadas por perfil de participante	114
Tabla 1.3 Análisis de diferencias significativas en las valoraciones de estilo	120
Tabla 1.4 Correlaciones valoración / material segmentadas por perfil de participante. .	121
Tabla 1.5. Análisis de diferencias en valoración de imagen por sesgo de exposición.	126
Tabla 1.6. Diferencias en valoración de imagen por sesgo de autoridad	128
Tabla 2.1. Perfil demográfico de los participantes	145
Tabla 2.2 Análisis descriptivo de las respuestas de memoria espacial	147
Tabla 2.3 Análisis de diferencias de las respuestas	148
Tabla 2.4 Clasificación y número de respuestas cualitativas segmentadas por estímulo	151
Tabla 2.5 Análisis de correlaciones y diferencias en las respuestas cualitativas	151
Tabla 3.1 Información demográfica de los participantes	159
Tabla 3.2 Diferencias en las respuestas en función del perfil del sujeto.	162
Tabla 3.3 Análisis factorial.....	163
Tabla 3.4 Modelo de regresión lineal entre los factores afectivos y la valoración global	164
Tabla 3.5 Valoración de las salas en función de los factores afectivos	165
Tabla 4.1 Gammas cromáticas evaluadas.....	182
Tabla 4.2 Datos demográficos de los participantes del Estudio 4	184
Tabla 4.3 Análisis de diferencias en las respuestas en función del perfil del sujeto	186
Tabla 4.4 Correlaciones entre colores y atributos afectivos	186
Tabla 4.5 Modelo de regresión lineal de la valoración global de la sala a partir de los factores afectivos	189
Tabla 5.1 Gammas cromáticas evaluadas.....	203
Tabla 5.2 Medias z-estandarizadas de la respuesta subjetiva (SMB Küller-escala PAD) ..	208
Tabla 5.3 Medias z-estandarizadas de la respuesta fisiológica	208
Tabla 5.4 Análisis de diferencias por colores.....	210
Tabla 5.5 Correlaciones entre colores y respuesta de cuestionario.....	211
Tabla 5.6 Correlaciones entre colores y respuesta fisiológica	211
Tabla 5.7 Correlaciones entre respuestas de los ejes SMB y modelo PAD	212
Tabla 5.8 Correlaciones entre respuestas de cuestionario y fisiológica	212
Tabla 5.9 Modelo de regresión lineal de la valoración de la sala a partir de las respuestas de cuestionario.....	213
Tabla 5.10 Modelo de regresión lineal de la valoración de la sala a partir de las respuestas de cuestionario y fisiológicas	213
Tabla 6.1 Medias z-estandarizadas de las variables del Estudio 6.....	228
Tabla 6.2 Análisis de diferencias según orden de visualización.....	229
Tabla 6.3 Análisis de diferencias según estímulo visualizado.....	229
Tabla 6.4 Análisis de correlaciones en las respuestas de los sujeto del Estudio 6	230

ANEXOS

Anexo 1: Imágenes visualizadas en el Estudio 1

Grupo 1: Antigüedad



1-01



1-02



1-03



1-04



1-05



1-06



1-07



1-08



1-09



1-10



1-11



1-12



1-13



1-14



1-15



1-16



1-17



1-18



1-19



1-20

Grupo 2: Clásico



2-01



2-02



2-03



2-04



2-05



2-06



2-07



2-08



2-09



2-10



2-11



2-12



2-13



2-14



2-15



2-16



2-17



2-18



2-19



2-20

Grupo 3: Modernismo



3-01



3-02



3-03



3-04



3-05



3-06



3-07



3-08



3-09



3-10



3-11



3-12



3-13



3-14



3-15



3-16



3-17



3-18



3-19



3-20

Grupo 4: Racionalismo



4-01



4-02



4-03



4-04



4-05



4-06



4-07



4-08



4-09



4-10



4-11



4-12



4-13



4-14



4-15



4-16



4-17



4-18



4-19



4-20

Grupo 5: años 50 a 80



5-01



5-02



5-03



5-04



5-05



5-06



5-07



5-08



5-09



5-10



5-11



5-12



5-13



5-14



5-15



5-16



5-17



5-18



5-19



5-20

Grupo 6: Actual residencial



6-01



6-02



6-03



6-04



6-05



6-06



6-07



6-08



6-09



6-10



6-11



6-12



6-13



6-14



6-15



6-16



6-17



6-18



6-19



6-20

Grupo 7: Actual emblemático



7-01



7-02



7-03



7-04



7-05



7-06



7-07



7-08



7-09



7-10



7-11



7-12



7-13



7-14



7-15



7-16



7-17



7-18



7-19



7-20

Grupo 8: Minimalismo



8-01



8-02



8-03



8-04



8-05



8-06



8-07



8-08



8-09



8-10



8-11



8-12



8-13



8-14



8-15



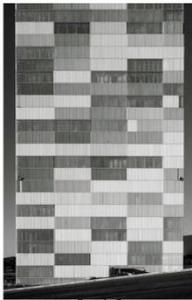
8-16



8-17



8-18



8-19



8-20

Grupo 9: Radical



9-01



9-02



9-03



9-04



9-05



9-06



9-07



9-08



9-09



9-10



9-11



9-12



9-13



9-14



9-15



9-16



9-17



9-18



9-19



9-20

Grupo 10: Sesgo



10-01



10-02

Vivienda en Aveiro. Álvaro Siza Vieira, 2011



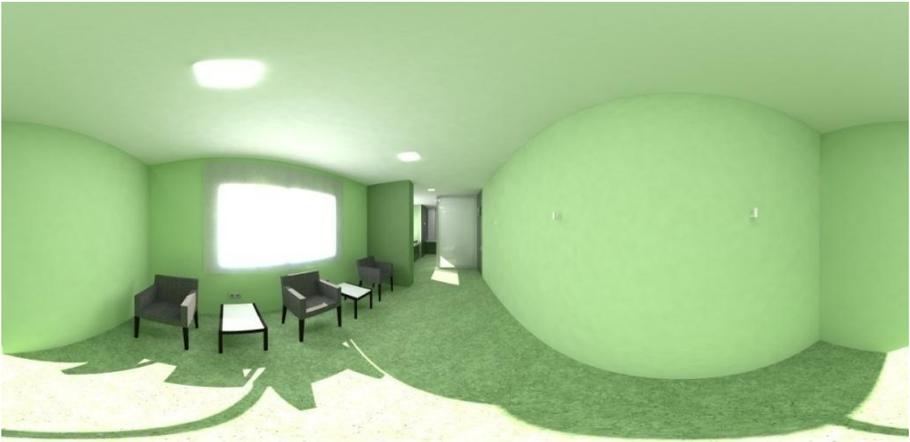
10-03

Vivienda en Fuenterrobles, Antonio García, decorador

Anexo 2: Imágenes equirectangulares visualizadas en los Estudios 4 y 5



Entorno 0



Entorno 1



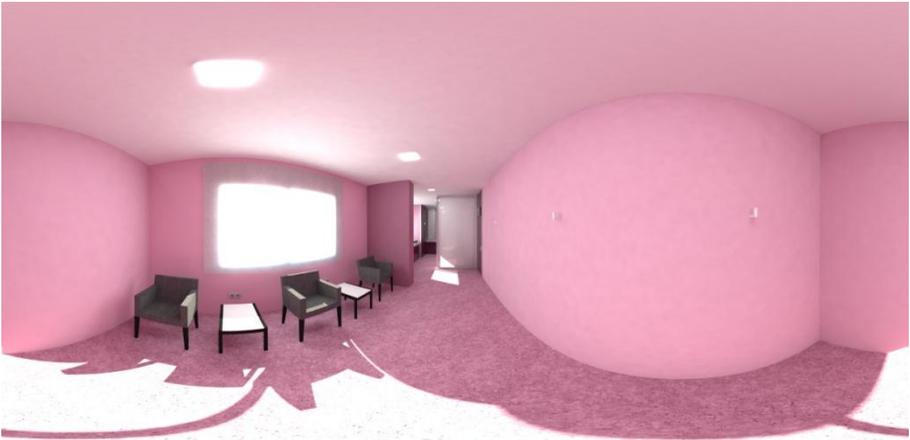
Entorno 2



Entorno 3



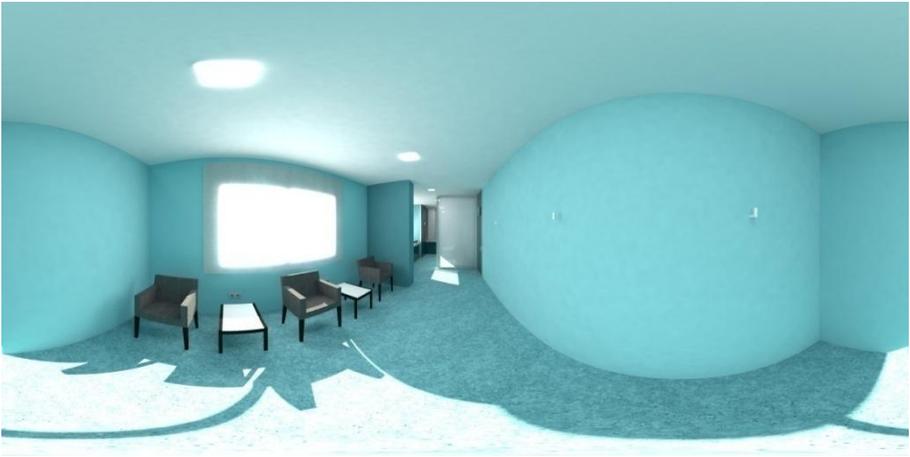
Entorno 4



Entorno 5



Entorno 6



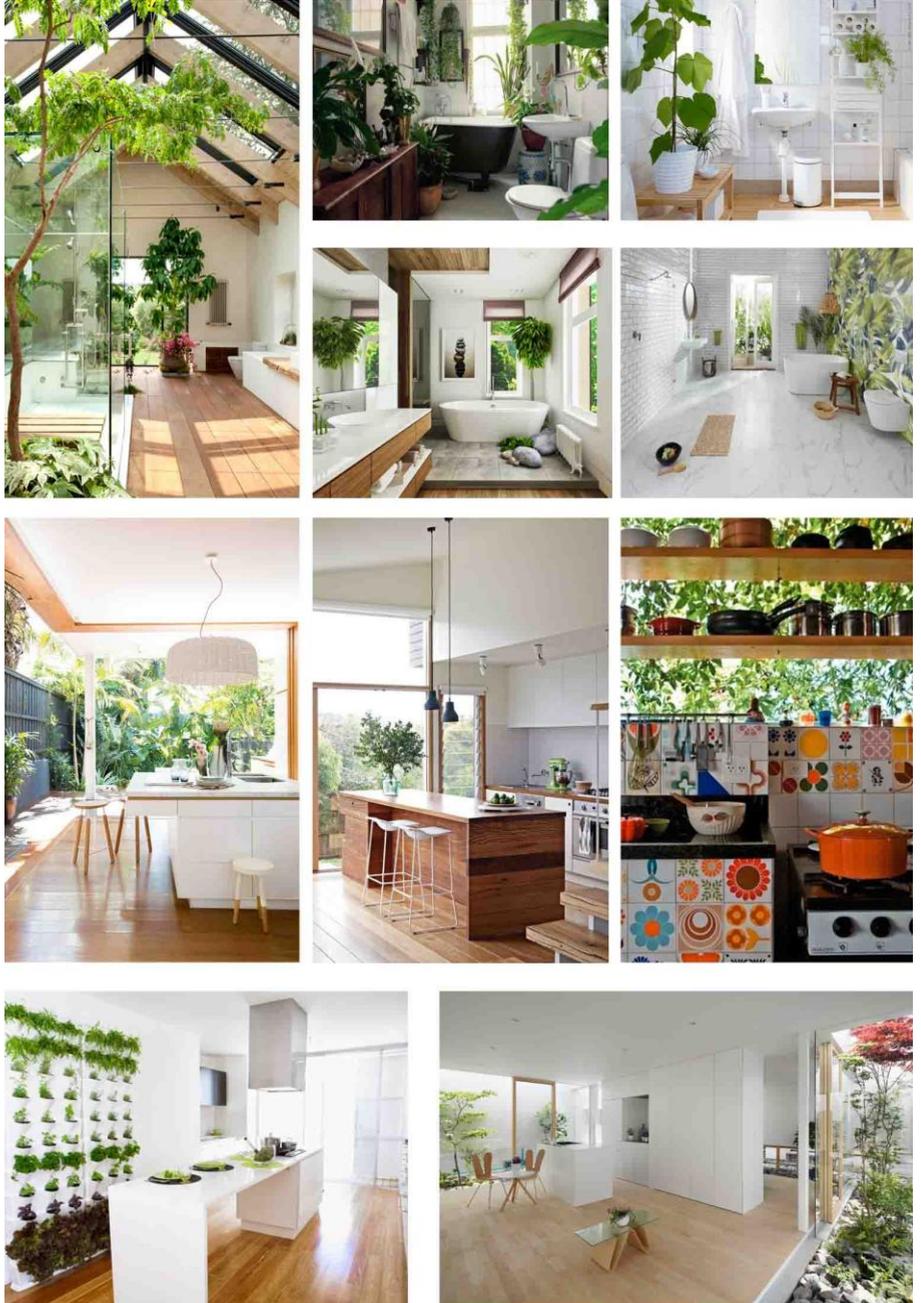
Entorno 7



Entorno 8

Anexo 3: Imágenes visualizadas en el Estudio 6

Grupo de imágenes “naturales”







Grupo de imágenes "artificial"

