

Neuroestética de la arquitectura: ¿cómo evaluamos y procesamos los espacios construidos?

Neuroaesthetics of architecture: how do we evaluate and process built spaces?

Daniel Pérez-Rangel

Servicio de Neurología, Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España

Resumen

La estética es una disciplina filosófica que estudia el arte y la belleza, lo sublime. Como resultado de un largo camino teórico, la neurociencia comienza a participar de aquellas estéticas empíricas para tratar de descubrir qué estructuras subyacen a esta experiencia sensorial, creándose el concepto «neuroestética» como un campo multidisciplinario dentro de la neurociencia cognitiva. Aquí se estudia la arquitectura, que ejerce una gran influencia sobre los seres humanos y su salud. Diversos estudios describen qué aspectos valoran las personas (en la literatura se proponen la coherencia, la fascinación y el «sentimiento hogareño») y qué áreas se activan durante la valoración del espacio construido, analizando, entre otros, la incorporación de elementos naturales, los paisajes como escenas, la apertura y los techos altos, las formas curvilíneas y las formas fractales. Incluso se ha propuesto una red hipotética de valoración e interacción con el espacio construido que interesa a la corteza cingulada anterior, el área parahipocampal, la corteza prefrontal, la corteza occipital, la corteza retrosplenial y la corteza parietal posterior. A esta disciplina cabe hacer diversas críticas, desde el reduccionismo hasta una sistemática y metodología subóptimas; sin embargo, se trata de un campo joven que reúne a humanistas y neurocientíficos en un mismo espacio, permitiendo ampliar nuestro conocimiento sobre el ser humano.

Palabras clave: Neuroestética. Arquitectura. Neurociencia cognitiva. Filosofía.

Abstract

Aesthetics is a philosophical discipline that studies art and beauty, the sublime. As a result of a long theoretical path, neuroscience begins to participate in empirical aesthetics to try to discover what structures underlie this sensory experience, creating the concept of “neuroaesthetics” as a multidisciplinary field within cognitive neuroscience. Architecture is studied here; it has a great influence on human beings, on their health. Different studies describe what they value (coherence, fascination and “home feeling” are proposed in the literature) and which areas are activated during the valuation of built space by studying, among others, the incorporation of natural elements, landscapes as scenes, openness and high ceilings, curvilinear forms, and fractal forms. A hypothetical network of valuation and interaction with the built space has even been created that includes the anterior cingulate cortex, the parahippocampal area, the prefrontal cortex, the occipital cortex, the retrosplenial cortex, and the posterior parietal cortex. Different criticisms can be made of this discipline, from reductionism to suboptimal systematics and methodology; however, it is a young field, which brings together humanists and neuroscientists in the same place and allows us to learn more about the human being.

Keywords: Neuroaesthetics. Architecture. Cognitive neuroscience. Philosophy.

Correspondencia:

Daniel Pérez-Rangel
E-mail: daniel.p.r@hotmail.es
1577-8843 / © 2025. Kranion. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 12-03-2025
Fecha de aceptación: 19-03-2025
DOI: 10.24875/KRANION.M25000093

Disponible en internet: 14-07-2025
Kranion. 2025;20(1):48-58
www.kranion.es

Introducción: contexto y concepto de neuroestética

Para empezar, es esencial realizar un breve acercamiento al concepto de estética, término que puede tener múltiples significados. Puede entenderse en un sentido más general como el disfrute de la belleza. Existen ejemplos de este uso desde los inicios de la cultura occidental, desde los sofistas a Platón y Aristóteles, quienes hacían referencia a la perfección física o intelectual de los seres¹.

También puede ser entendida como la reflexión sobre la belleza. Por continuar con el mismo ejemplo de sus usos antiguos en la cultura occidental, puede mencionarse la idea de belleza y bien en Platón. La objetividad y naturalidad de la belleza no se ponían en duda, lo que es bello se sitúa en la cosa en sí misma y no en el sujeto que la percibe.

Por último, aparece el entendimiento de la estética como disciplina autónoma¹. En el siglo XVII el mundo cambia debido a sucesos como la Guerra de los treinta años, la reforma protestante y la nueva ciencia, que rompe el universo teológico. La belleza, la idea central de la reflexión estética, cambia su sentido. Perdido el orden natural, el sujeto tiene que encontrar en sí mismo sus leyes, se inicia un proceso de subjetivación. Se separan de las esferas del conocimiento: ciencia (verdad), ética (bien), estética (belleza). Aunque puede mencionarse el uso del «gusto» como precedente, será Alexander Baumgarten (1714-1762), filósofo racionalista, en su obra *Aesthetica* (1758), el que introduzca el término: «El fin de la estética es la perfección del conocimiento sensible en cuanto tal» (no se trata de la perfección del objeto, sino del conocimiento del objeto). Pronto contestará el empirismo, con David Hume (1711-1776) como representante, diciendo que lo que importa es el sentimiento de placer que un objeto suscita.

Será Immanuel Kant (1724-1804) quien sintetice la interpretación de la estética² en su obra *Crítica del juicio* (1790)³ tomando de los racionalistas el conocimiento perceptivo y de los empiristas la interpretación como sentimiento. Para Kant, la forma bella del objeto suscita un juego de facultades (sensibilidad, imaginación e inteligencia) que resulta placentero, desinteresado, argumentando que los juicios de belleza se basan en el placer que uno siente en respuesta a la representación de un objeto, que es una experiencia personal pero interpersonalmente válida; la belleza es una agradable sorpresa. El objetivo de hacer esta parada en Kant en cuanto al desarrollo del concepto estética es entender el paso de la belleza depositada

en el objeto a estar en la percepción del individuo; el campo de la estética sigue en continuo cambio desde entonces como área de estudio.

Tras esta brevísima introducción a la estética y a cómo se produce el paso de la belleza del objeto a la valoración del sujeto, puede pasarse a cómo este giro copernicano acaba en la neurociencia. Mencionar que, como se expone anteriormente, la definición de estética de Baumgarten respondía al estudio de la ciencia de los sentidos, mientras que en este campo suele hablarse de estética haciendo referencia al estudio del arte y la belleza⁴, aunque sin dejar de lado el resto de las experiencias valorativas del ser humano⁵.

La neuroestética es un campo de investigación relativamente reciente, que pretende comprender los sustratos neurales de la apreciación estética humana; puede considerarse parte de las estéticas empíricas y un subcampo de la neurociencia cognitiva⁶.

El primero en hacer un acercamiento científico a la apreciación estética fue Fechner desde la psicofísica (1876), aunque el estudio experimental de los sustratos neuronales no surge hasta la década de los 2000⁶. Como expone Martin Skov⁷, hizo falta casi toda la década de 1990 para que la investigación en neuroimagen apoyara la aproximación a la exploración neurocientífica de los estados cognitivos considerados subjetivos y menos racionales. En este proceso fueron decisivos los trabajos en pacientes con lesiones prefrontales ventromediales iniciados por Antonio Damasio, Antoine Bechara y Daniel Tranel⁸.

El concepto «neuroestética» fue introducido por el neurocientífico Semir Zeki⁹ e incluye el estudio de las bases neuronales de la percepción de la belleza en el arte basándose en el cerebro visual con especial foco en obtener propiedades constantes¹⁰.

Cuestiones como si los estudios de imágenes cerebrales pueden utilizarse para identificar qué objetos o patrones son bellos, o si las imágenes cerebrales pueden utilizarse para definir lo que es o no es arte, quedan fuera del ámbito de una neurociencia de la estética^{11,12}.

Son variados los estudios que pueden encontrarse desde entonces. Ejemplos de estudios como el de Guerrero, Roselló y Ezpeleta¹³, en el que estudian la aparición del síndrome de Stendhal en un curso de neurohistoria de la Sociedad Española de Neurología, reflejan el interés de estudiar el efecto del arte sobre las personas, pero también entre los neurólogos.

Otros ejemplos relevantes (se exponen los dos siguientes por pertenecer a ámbitos cercanos) incluyen las jornadas realizadas en 2014 por la Sociedad Española de

Neurología, donde participó el mismo Zeki, o el libro *Neuroestética* de Antonio Martín Aráguiz, que supuso la primera obra en español sobre neuroestética. En su capítulo *Neuroestética: hacia un estudio científico de la belleza y de los sentimientos estéticos compartidos en el arte*¹⁴ se incluye un extenso estudio sobre el concepto.

Cómo se ha realizado este trabajo

Este trabajo se ha realizado como una revisión de la literatura relevante sobre esta área de conocimiento. Se usaron combinaciones de los siguientes términos “neuroaesthetics”, “neuroesthetics”, “neuroestética”, “neuroaesthetics”, “neuroaesthetic”, “architecture”, “neuroscience of architecture”, “aesthetics” y “neurology” en la base de datos de PubMed y en Google Scholar. Se utilizaron los resultados significativos tras revisar sus resúmenes, tanto artículos como otra forma de manuscritos, además de sus referencias cruzadas cuando fue pertinente. Cabe señalar que en la última década el uso del término *neuroaesthetics* ha aumentado significativamente, con mayor presencia conforme se acerca la búsqueda al momento actual.

Qué pruebas se utilizan en los estudios experimentales

La mayoría de los estudios utilizaron resonancia magnética funcional (RMf), seguida por el electroencefalograma (EEG), aunque también los hay que usan magnetoencefalografía, tomografía por emisión de positrones (PET) o técnicas de estimulación cerebral como la estimulación magnética transcraneal o la estimulación transcraneal directa con corriente¹⁵.

En cuanto al EEG, se trata de una prueba con una alta resolución temporal, pero con una baja resolución espacial. Como breve resumen, mide la suma de los potenciales postsinápticos de conjuntos piramidales dentro de las capas corticales entremezclados con la actividad eléctrica de estructuras cerebrales más profundas¹⁶.

En cuanto a la RMf, dispone de la resolución espacial de la RM, pero tiene una resolución temporal baja; permite la localización de centros y nodos neuronales importantes para determinados procesos en condiciones determinadas. Esta técnica mide la diferencia entre oxihemoglobina y desoxihemoglobina en diferentes partes del cerebro; esta se correlaciona con la actividad neuronal usando una «señal dependiente del nivel de oxígeno en sangre» (BOLD en inglés)¹⁷.

Tabla 1. Diferencias entre EEG y RMf como técnicas más utilizadas en los estudios experimentales

EEG	RMf
Puntos fuertes	
Resolución temporal	Resolución espacial
Portátil, poder interactuar con el entorno y proporcionar un contexto	Buen ratio ruido-señal
Puntos débiles	
Baja resolución espacial	Baja resolución temporal
Mal ratio señal-ruido	Actividad neuronal indirecta
Alta variabilidad intersujeto	Baja validez ecológica

EEG: electroencefalografía; RMf: resonancia magnética funcional.
Adaptada de Djebbara et al., 2022¹⁸.

Una diferencia importante entre ellas es la posibilidad del EEG de ser realizado en diferentes entornos, con una validez ecológica más alta, respecto a la RMf, donde solo podremos utilizar acercamientos como la realidad virtual para intentar superar la limitación que supone tener que realizarla en un entorno determinado¹⁸. Las diferencias se resumen en la **tabla 1**.

Por dónde empezar: la respuesta hedonista

Para aplicar el método científico, necesitamos dividir los fenómenos de experiencia artística en partes abordables mediante acercamientos reproducibles y contrastables. Pero el arte es multidimensional, es parte de una interrelación compleja entre contextos físicos, sociales, culturales e históricos. Además, es difícil definir qué es una experiencia estética.

Pero se necesita llegar a acuerdos para estudiar un evento determinado, por lo que hay que buscar aquellos puntos en común entre diferentes expertos¹⁹: la mayoría de estos aceptarían que las experiencias estéticas pueden ser generadas por fuentes de estímulo sensorial natural y artificial que no están relacionadas directamente con la supervivencia²⁰ y que generan sensación de placer al observador con una respuesta intensa que incluye síntomas autonómicos²¹.

Por otra parte, como primer acercamiento¹⁹ se propone comenzar por identificar conceptos psicológicos relevantes para los participantes en los eventos estudiados y trasladarlos al estudio neurocientífico como, por ejemplo y en línea con lo anterior, el concepto psicológico de la «respuesta hedonista»^{19,22}.

Esta, entendida como recompensa o sensación de placer, se compone del placer/consumación y de la anticipación/motivación a buscar este²³ o, en inglés, “liking” and “wanting” (se podría incluso añadir una tercera, aprendizaje, según algunos autores²⁴).

Sin entrar en una descripción detallada, su correlato cerebral es el sistema de recompensa mesolímbico²⁵ donde existen vías glutamatérgicas, GABAérgicas, dopaminérgicas (relacionadas con “wanting”) y opioides (relacionadas con “liking”); existen diversos trabajos que demuestran una posible disociación parcial experimental de estas dos partes de la respuesta hedonista²⁶. Sin embargo no se ha encontrado una activación específica para el arte frente a otros estímulos que se perciban como placenteros, sino que se describe un mecanismo común²⁶.

Arquitectura

Una vez propuesto de dónde se puede partir, puede avanzarse a la valoración de las respuestas placenteras o preferencias como base del juicio estético en cuanto a un conjunto específico, en este caso el arte.

Los campos artísticos más estudiados por la neurociencia han sido la música y la pintura; esta última es, con diferencia, de la que más literatura existe¹⁵. Sin embargo, en esta revisión se plantea el acercamiento a otra de las grandes artes, la arquitectura, utilizando sus elementos y sus posibilidades, pero también las escenas visuales (incluyendo paisajes y naturaleza) como análisis compositivo general.

Existen muchas definiciones de arquitectura. Se expone aquí, como Guyer en su obra *A Philosopher Looks at Architecture*² la de John Ruskin (1819-1900), que la define como «el arte que dispone y adorna de tal modo los edificios levantados por el hombre, para cualquier uso, que la vista de estos puede contribuir a su salud mental, poder y placer»²⁷. No todos piensan de la misma manera²; de hecho, el filósofo del siglo XIX Arthur Schopenhauer (1788-1860) llegó a afirmar que en la medida en que la arquitectura hace «provisión para fines útiles», no es en absoluto un arte²⁸.

¿Qué mención hacen sobre la estética en las definiciones de arquitectura? Se recogen aquí dos ejemplos, pero existen muchos más. En la obra *Arquitectura crítica: proyectos con espíritu inconformista* de Lorenzo Rocha se expone: «El soporte de la obra arquitectónica es la construcción, los materiales de los que está hecha; el contenido se compone de su forma, su lenguaje estético y la atmósfera fenomenológica creada en los espacios construidos. [...] La arquitectura tiene

indudablemente un lenguaje propio, como todas las demás artes, el cual transmite las ideas de su autor a los habitantes y visitantes de los espacios que produce»²⁹. Paul Guyer, en la introducción de la obra ya mencionada, defiende que los tres principios fundamentales de la arquitectura identificados por el arquitecto romano Marcus Vitruvio Pollio (hacia 70-20 a.C.) en el tratado de arquitectura más antiguo que se conserva en Occidente, los Diez libros de arquitectura³⁰ —buena construcción, funcionalidad y atractivo estético (*firmitas, utilitas, venustas*)— han permanecido válidos a lo largo del tiempo, incluso con los cambios en materiales de construcción, tecnologías y estilos artísticos².

¿Pero cómo surge el impulso de estudiar con un acercamiento neurocientífico la arquitectura? Diferentes autores sitúan el punto de partida en la aparición de una corriente denominada nuevo urbanismo como respuesta al modernismo (inicialmente creado como una respuesta crítica²⁹ con exponentes como Corbusier, acaba por promocionar el menor coste de las construcciones y la mayor velocidad y eficiencia) para crear prácticas arquitectónicas basadas en la evidencia que mejoren las ciudades. Diferentes psicólogos se introducen en el campo y surgen trabajos que estudian aspectos como la relación entre la salud y los espacios de cuidado y bienestar; a principios de siglo se comienza a explorar la relación entre el diseño arquitectónico y la mente y cerebro³¹. Nace así, como un campo multidisciplinario, lo que han dado en llamar la «neurociencia de la arquitectura»^{32,33}.

Presenta dificultades particulares en cuanto a la sistematización para la aplicación del método científico, pues el espacio construido se dispone en un espacio tridimensional, es multidimensional (las personas se mueven a través de él, alrededor, en diferentes momentos...), multisensorial, está influido por la cultura y la historia y, además, es parte de nuestro día a día. Además, como se expone en el apartado anterior, no siempre es un camino directo llegar a un acuerdo de qué presentar y cómo presentarlo³².

En este trabajo, dirigido principalmente a profesionales de la neurología, se presenta el estudio de las estructuras cerebrales y los mecanismos cognitivos que median las experiencias estéticas del entorno construido en el juicio de belleza de los sujetos y en las decisiones aproximación o evitación. Por motivos de espacio, la metodología de cada uno de los estudios citados se expone de manera muy resumida.

Marco teórico

La teoría de la triada estética, por Chatterjee y Vartanian¹¹, es la más usada como base teórica de estos estudios, aplicada a la arquitectura. En esta hipotetizan que para entender la estética desde una perspectiva biológica, se produce la interacción de tres sistemas nerviosos: el sistema sensoriomotor, el sistema emoción-evaluación y el sistema conocimiento-significado; cada sistema activaría áreas cerebrales diferentes.

Influencia de la arquitectura: diseño biofílico

Existen diferentes estudios que exponen cómo el diseño puede influir en la concentración, el bienestar, la delincuencia o incluso en la salud³¹; no todas estas afirmaciones incluyen una fuerte evidencia, como resaltan los autores de una revisión sobre elementos arquitectónicos en los centros de cuidado que afectan a las experiencias de los pacientes en cuanto a diseño en centros de cuidado de la salud³⁴. Muchos otros aspectos han sido estudiados en psicología en cuanto la influencia que tiene en las personas la arquitectura³⁵.

Una de las cualidades estéticas más estudiadas y discutidas en arquitectura es la «naturalidad» de las construcciones, llamándose diseño biofílico a aquel en el que se incorporan elementos naturales y al que se le suponen diversos beneficios como la reducción del estrés³¹. Se recoge un ejemplo en la figura 1.

Interactuar con paisajes naturales puede mejorar el estado de ánimo y el funcionamiento cognitivo³⁷. La exposición breve a entornos naturales también puede mejorar los resultados en poblaciones clínicas, como el estudio realizado por Beute y de Kort en pacientes con depresión³⁸.

Existen investigaciones que sugieren que la incorporación de características o patrones básicos que se dan con frecuencia en la naturaleza (como los grandes contrastes, los bordes no afilados o los patrones fractales) en el diseño de estructuras y espacios creados por el hombre pueden incrementar las probabilidades de que resulten atractivos³⁷.

Uno de los aspectos interesantes de la influencia de la arquitectura es la inducción de estados contemplativos. Bermúdez et al.³⁸ examinaron cómo el entorno puede inducirlos y encontraron que la profundidad de la experiencia estaba correlacionada con la activación de regiones sensitivomotoras y la desactivación de regiones prefrontales. Los autores sugirieron como



Figura 1. Ejemplo de diseño biofílico. Jardín tropical Estación de Madrid - Puerta de Atocha - Alameda de las Plazas, Madrid (tomada de Wikimedia Commons³⁶).

hipótesis con base en estos resultados que la belleza y la apreciación pueden ser mejor comprendidas como experiencias no evaluativas en lugar de juicios críticos. Otro estudio similar con EEG apoyó estos resultados⁴⁰.

Correlatos neuronales de la percepción de las escenas

¿QUÉ VALORAMOS?

Chatterjee et al. analizaron las respuestas a evaluaciones arquitectónicas y encontraron tres componentes consistentes entre ellas mediante análisis cualitativo: coherencia (facilidad para organizar y comprender una escena), fascinación (riqueza informativa e interés generado) y «sentimiento hogareño» (*hominess* en inglés) (facilidad y comodidad personal)^{7,41}. También estudiaron si existía un patrón de activación en RMf en cada una de estas dimensiones, hallaron que fascinación covarió con la valoración de belleza y con la decisión aproximación-evitación en la circunvolución lingual derecha, la coherencia con la circunvolución occipital inferior izquierda solo con el juicio de belleza y *hominess* con el *cuneus* izquierdo solo con la tarea de aproximación-evitación³³.

¿CÓMO LO VALORAMOS? PROCESAMIENTOS DE BAJO Y ALTO NIVEL

En el análisis de las diferentes percepciones, se utilizan los conceptos de procesos de bajo nivel (*low level* o *low order* en inglés) y de alto nivel (*high level* o *high order*); estos hacen referencia, en el primer caso,

a procesamiento neuronal «simples» (como identificar bordes o colores), mientras que en el segundo caso se trata de aquellos más complejos (identificar un objeto o asociarlo a un recuerdo)⁴².

No se deben confundir estos términos con los procesos «de abajo arriba» (*bottom-up* en inglés) o «de arriba abajo» (*top-down*) que suponen, respectivamente, el análisis de la información sensorial desde las características básicas hasta interpretaciones más complejas y, por otro lado, el uso de conocimientos previos y factores cognitivos para guiar e influir la percepción⁴³.

Las características de bajo nivel, como la luminosidad, el color y el movimiento, se procesan primero en las áreas sensoriales primarias, siendo estas neuronas capaces de identificar ya bordes^{44,45}. Una propiedad fundamental del córtex visual es que el tamaño y la complejidad del campo de neuronas receptor se incrementa desde las de bajo nivel hasta las de alto nivel⁴⁶. Algunas de estas áreas de alto nivel incluyen el área parahipocampal³¹, que responde preferentemente a escenas y edificios⁴⁷ o las cortezas hipocampal y entorrinal, cruciales para la navegación espacial⁴⁸.

Uno de los artículos analizados en la obra *Brain, Beauty, & Art*⁵ se trata de un trabajo realizado por Choo et al. en el que analizan si es posible identificar en la RMf qué contenían las imágenes que mostraban a los participantes del estudio; está basado en la demostración previa de Walther et al. de que es posible decodificar categorías escénicas (ciudades, calles, montañas...) analizando mediante RMf la actividad generada por la observación de escenas dibujadas solo con trazos⁴⁹. Volviendo al estudio de Choo et al., muestran como las categorías más básicas (playa, montaña, campo...) pueden decodificarse en las áreas de bajo nivel, mientras que categorías más complejas como estilo arquitectónico o arquitecto responsable solo pueden hacerse en áreas de alto nivel⁵⁰. Aparte de entrar en más detalles en cómo se decodifican estas imágenes, se trata de una demostración de cómo el procesamiento escénico cambia en complejidad, continuando con lo expuesto anteriormente sobre la vía visual.

PAISAJES: ¿CÓMO VALORAMOS LOS ELEMENTOS NATURALES?

Los estudios de Chang et al. y Zhao et al. abordaron la influencia de diferentes aspectos de los paisajes naturales (Fig. 2) en las respuestas neuronales. Chang y su equipo encontraron que la participación del



Figura 2. Ejemplo de paisaje natural. Meandro del Melero, norte de la Provincia de Cáceres, Hurdes (tomada de Wikimedia Commons⁵¹).

córtex cingulado posterior ventral (CCPv) variaba según la densidad de elementos verdes en las escenas naturales, mostrando correlación con medidas de evitación conductual. Además, se informó de que el *cuneus*, delimitado inferiormente por el surco calcarino, estaba implicado en el procesamiento visual de los estímulos. Los autores interpretaron la implicación del CCPv como una posible interferencia con el sistema neuroendocrino y los niveles de cortisol⁵². Por otra parte, Zhao et al. observaron que los paisajes dinámicos eran percibidos como más bellos que los estáticos, con una mayor activación del giro temporal medio y el hipocampo en respuesta a estos⁵³, por lo que, al ser el área temporal media (área visual 5 o V5) sensible al movimiento visual⁴⁶, sugirieron que un aumento general de la actividad neuronal en las áreas visuales podría significar una mayor valoración estética. Ambos estudios sugieren, por tanto, que las respuestas cerebrales a los estímulos naturales están influenciadas por factores como la presencia de vegetación y la percepción del movimiento.

APERTURA DE LOS ESPACIOS

En un estudio realizado por Kravitz et al., los participantes observaron una serie de espacios construidos y naturales durante la realización de una RMf. El estudio descubrió que el factor principal que influía en la activación del área parahipocampal no era si el espacio era natural o construido por el hombre, sino el grado de apertura transmitido en cada imagen (Fig. 3). Además, ver espacios abiertos se asociaba con la activación de estructuras del lóbulo temporal sensibles al movimiento visual, lo que sugiere una conexión entre la apertura y el deseo de moverse en el espacio, es decir, con las posibilidades de interactuar con el entorno (*affordances* es el término usado en la literatura)⁵⁵.



Figura 3. Ejemplo de edificio con techos altos y gran apertura (aunque también podría serlo de elementos naturales, curvos e incluso fractales). Basílica de La Sagrada Familia, Barcelona (tomada de Wikimedia Commons⁵⁴).

Por otro lado, el estudio de Vartanian et al. exploró cómo la altura del techo y la apertura de los espacios influyen en las percepciones de belleza. Se encontró que los espacios con techos más altos y abiertos eran juzgados como más bellos, y que estas percepciones también estaban reflejadas en las respuestas cerebrales. En cuanto a los resultados de la RMf, el estudio reveló una mayor activación del precuneus y la circunvolución frontal media izquierda durante la valoración de la belleza de habitaciones con techos altos, mientras que se observó una mayor activación de la circunvolución temporal media izquierda y la circunvolución temporal superior derecha cuando los participantes valoraron la belleza de habitaciones abiertas. Por el contrario, los espacios cerrados provocaron una mayor actividad en el cíngulo anterior cuando los participantes tomaron decisiones de aproximación-evitación⁵⁶.

Continuando con la apertura, la posibilidad de desplazarse por los espacios y sus señales orientativas, un estudio mostró que la monotonía arquitectónica y la falta de señalización pueden inducir ansiedad en pacientes con demencia avanzada⁵⁷. En otro estudio sobre diseño de pasillos y navegación entre adultos sanos, se observó que los pasillos con colores más cálidos eran más fáciles de recordar y atractivos que los pasillos con colores más fríos⁵⁸. Tener en cuenta estos diseños puede ser especialmente útil en poblaciones clínicas como pacientes con enfermedad de Alzheimer, donde evitar barreras a la desorientación especial es esencial⁵⁷. Por último, la participación en tareas de aprendizaje espacial virtual puede alterar las conexiones neuronales de base⁵⁹, lo que sugiere que las experiencias en un entorno construido podrían



Figura 4. Ejemplo de construcción con predominio de formas curvas. Ciudad de las Artes y las Ciencias, Valencia (tomada de Wikimedia Commons⁶²).

tener efectos duraderos en la organización cerebral y las interacciones futuras en entornos similares⁶⁰.

FORMAS

¿Recto o curvilíneo?

El estudio realizado por Vartanian et al.⁶¹ investigó el impacto de la forma de los espacios en la percepción estética y las decisiones de aproximación-evitación. Se encontró que los espacios curvilíneos (Fig. 4) se valoraron como más bellos, mientras que no afectaron a las decisiones de aproximación-evitación. A nivel cerebral, se observó que diversas regiones cerebrales (corteza frontopolar, giro frontal superior, globo pálido, precuneus, parahipocampo y giro occipital medio) covariaban con las calificaciones de belleza realizadas por los sujetos del estudio, mientras que otras (precuneus, giro frontal medio y cíngulo anterior) lo hacían con el placer. En el caso de la valoración aproximación-evitación, la RMf reveló que la circunvolución lingual izquierda y la calcarina derecha eran significativamente más activas para los espacios curvilíneos. Curiosamente, la comparación de las zonas activas en RMf entre espacios curvilíneos y rectilíneos durante el juicio de belleza reveló una activación significativa solo del cíngulo anterior, el cual se ha demostrado que contribuye al procesamiento de las emociones⁶³.

Fractales

Uno de los ejemplos de los ya comentados diseños biofílicos son los patrones fractales, frecuentes en la naturaleza⁶⁴. Existen incluso estudios que exploran la

explicación física⁶⁴ de la atracción estética de estos diseños. Su uso está extendido en la historia de diferentes culturas y geografías con una amplia bibliografía sobre el significado en distintas construcciones⁶⁵; se recoge uno de estos ejemplos en la **figura 5**. Cuando se incorporan al entorno construido, los fractales evocan sensaciones de naturalidad y se prefieren sistemáticamente a los diseños no fractales⁶⁷ con activación de las neuronas de la corteza visual primaria⁶⁸.

SÍNTESIS DE LOS ELEMENTOS INTERVINIENTES

Se utiliza la hipótesis creada por Zakaria Djebbara, Lars Brorson Fich y Giovanni Vecchiati en *Making sense of space: the neuroaesthetics of architecture* realizada después de analizar los diferentes trabajos experimentales que tratan de localizar las zonas intervinientes en la valoración arquitectónica¹⁸.

Como se trata de un proceso complejo, estos autores proponen zonas que se dediquen al procesamiento de las escenas arquitectónicas y otras que se dediquen a la percepción dirigida a la animación y la acción (ya se ha expuesto cómo el movimiento y la multidimensionalidad son fundamentales en la arquitectura). De este modo, proponen una hipótesis sobre una red de elementos que permitan a los seres humanos tener una idea y valorar el espacio construido¹⁸. La defensa del uso de redes para entender diferentes mecanismos cerebrales está incluida en la teoría de redes, que trata de explicar el funcionamiento cerebral y que está en pleno apogeo⁶⁹.

Desde una perspectiva más amplia, los autores proponen que la sensibilidad al espacio está intrínsecamente relacionada con la percepción del lugar, la integración sensitivomotora y las posibilidades de interacción¹⁸.

La red incluye el cíngulo anterior, el área parahipocámpica, la corteza prefrontal, la corteza occipital, la corteza retrosplenial y la corteza parietal posterior (elementos ya mencionados en los apartados anteriores).

Los autores ponen especial relevancia en la participación del tálamo. Se trata de una estructura ampliamente estudiada y su afectación da lugar a una semiología variada y en múltiples patologías¹⁶. En este ámbito, destaca su papel en la red tálamo-cortical como punto de entrada para la información sensorial⁷⁰ y su participación de la hipótesis del cerebro predictivo modulando la información generada por el córtex con lo recibido^{71,72}.

También destacan la posible importancia del cíngulo posterior (implicado en la noción del espacio), pues



Figura 5. Ejemplo de diseño con uso de patrones repetitivos a diferentes niveles o fractales. Sala de las Dos Hermanas en La Alhambra, Granada (tomada de Wikimedia Commons⁶⁶).

hipotetizan que, al estar interconectado con el hipocampo, y dado que las áreas parahipocámpicas bilaterales están anatómicamente próximas al córtex entorrinal y al hipocampo, donde residen las células de lugar, todas estas formas parte del procesamiento de la información espacial⁷³.

Críticas

Son muchas las críticas realizadas a esta disciplina y desde diversos puntos. Para empezar, algunos defienden que no se sabe si el arte en sí mismo es un estímulo especial a nivel cerebral con vías propias, aunque es probable que el considerar algo como arte implique mecanismos específicos¹². Desde la rama fenomenológica de la filosofía, se resalta como lejos de lo óptimo el proceso de desconstrucción reductiva de la experiencia estética en elementos arbitrarios en un intento de cuantificarlos y la reducción de la experiencia personal a funciones cerebrales subpersonales⁷⁴.

Otros autores defienden que no cabe duda de que existen generalidades en el arte y en la respuesta a él, y de que pueden informar la comprensión y experiencia artísticas pero que nunca lo definirán o explicarán por completo, criticando que hallazgos como el descrito en cuanto al sistema de recompensa ni siquiera sepan distinguir entre diferentes estímulos⁷⁵.

Por otro lado, diferentes expertos reconocen su reduccionismo, pero piensan que la colaboración positiva entre humanidades (expertos en describir la complejidad y los matices de la experiencia humana) y neurocientíficos (dedicados a simplificar los problemas para hacerlos más trazables, como reducir el placer a

una escala) podría mejorar este aspecto negativo, subrayando el papel crucial de los filósofos para dar coherencia a las teorías creadas⁷⁶.

En cuanto a los estudios presentados, son escasos, con metodologías diferentes y, aunque usan métodos científicos, las pruebas utilizadas, como ya se exponía en uno de los apartados de este trabajo, tienen sus limitaciones; además, el marco teórico sobre el que se construyen, aunque más fuerte que cuando comenzó esta disciplina, todavía tiene que seguir avanzando en consonancia con los hallazgos.

Como ya se defiende a lo largo de este trabajo, es difícil su sistemática (con ejemplos como el entorno donde se estudia, estímulos en 2D de objetos que son 3D, las limitaciones de las encuestas, la elección de los elementos y zonas que valorar...). Una de las barreras más importantes la constituyen los valores individuales; son cruciales en la valoración estética. Aspectos como familiaridad, experiencia, contexto, educación cultural, el número de veces que hemos visto un objeto o el número de objetos que ya hemos visto influyen de manera significativa en la valoración. Por ejemplo, un estudio mostró que ver obras de arte con indicaciones de un hipotético alto valor hace que las valoraciones sean más altas⁷⁷. La mayoría de los estudios se han realizado con elementos de la cultura occidental, siendo este también un aspecto que tener en cuenta en futuros trabajos¹⁵.

Futuro

Quedan muchas preguntas por responderse. Quizás algunas de las más importantes sean las que exponen Chatterjee y Vartanian en su revisión del tema⁷⁸, preguntas como: ¿Se solapan las regiones cerebrales que computan los juicios estéticos con regiones que computan otros valores social y culturalmente relevantes como la moralidad y la justicia? ¿Cuáles son los fundamentos evolutivos de la capacidad del cerebro para experimentar placer estético? ¿Cómo pueden utilizarse terapéuticamente la percepción y la creación artísticas?

En cuanto a esta última cuestión, ya se ha expuesto cómo la mejora de los elementos arquitectónicos puede tener efectos directos sobre poblaciones clínicas, planteando soluciones que podrían afectar a cómo diseñamos nuestras ciudades, aunque hay que continuar analizando las evidencias de estos posibles abordajes. Desde un acercamiento más general, existen estudios sobre los beneficios del arte como terapia sobre diferentes patologías neurológicas como en la enfermedad de Alzheimer⁷⁹ o en la de Parkinson⁸⁰.

Sin embargo, se puede observar una falta de evidencias fuertes que los apoyen, como, por ejemplo, se menciona en una revisión en Cochrane sobre la intervención artística en pacientes con demencia⁸¹. Una de las posibles explicaciones es la aportada por Claire Howlin en *The health benefits of art experience*, donde defiende que puede deberse a que se trata de un área de investigación emergente y que habrá que estudiar los diferentes elementos artísticos en las diferentes patologías pues, por ejemplo, en la enfermedad de Parkinson, el tempo de la música es importante para mejorar la marcha, pero no lo es tanto para el manejo del dolor⁸².

Usando las hipotéticas redes, podrían plantearse estudios con pacientes en los que se afecten dichas estructuras para buscar posibles usos clínicos de estos hallazgos^{83,84}. Existen algunos estudios con poblaciones clínicas, aunque son escasos en la literatura. Por ejemplo, uno de ellos estudió la valoración del movimiento en obras abstractas en pacientes con enfermedad de Parkinson respecto a controles y se halló que estaba afectada, pero no se examinó si podría utilizarse como evaluación de la enfermedad⁸³.

Por último, mirando a un futuro cada vez más presente, preguntas como la valoración que hacemos de aquellas obras creadas por inteligencias artificiales generativas también se sitúan como cruciales para plantear en el tiempo actual⁴².

Conclusión

La interacción y conjunción de humanidades y neurociencias es fundamental, pues ambas realizan acercamientos distintos (aunque a veces paralelos) a cuestiones humanas fundamentales. En esta ocasión es la valoración de la belleza del espacio construido, de la arquitectura, la que las vuelve a unir. Son muchas las limitaciones y particularidades de este tipo de análisis, pero es un campo joven y seguir avanzando en él permitirá tener más datos sobre el procesamiento cognitivo tanto en sujetos sanos como en pacientes. Los trabajos aquí propuestos apuntan a la participación de las áreas sensitivomotoras, visuales y participantes en el sistema de localización además de aquellas relacionadas con el placer, por lo que plantear estudios donde se analicen las diferentes valoraciones arquitectónicas en distintos sujetos, para más tarde poder detectar cuáles de ellos pueden tener afectadas estas redes, podría plantearse como una potencial aplicación práctica.

Financiación

El presente trabajo no ha recibido ninguna subvención oficial, beca o apoyo de un programa de investigación destinados a la redacción de su contenido.

Conflicto de intereses

El autor no comunica conflicto de intereses en relación con el contenido del trabajo.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. El autor declara que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales de pacientes ni requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. El autor declara que no utilizó ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito.

Bibliografía

- Bayer R. Historia de la estética. México: Fondo de Cultura Económica; 2002.
- Guyer P. A Philosopher Looks at Architecture. 1.a ed. Cambridge University Press; 2021.
- Kant I. Crítica del juicio. 1.a ed. Madrid: Tecnos; 2018.
- Marín MM. Crossing boundaries: toward a general model of neuroaesthetics. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 7 de agosto de 2015 [citado 7 de febrero de 2024];9. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2015.00443/full>
- Chatterjee A, Cardillo E, editores. Brain, beauty, and art: essays bringing neuroaesthetics into focus. 1.a ed. Nueva York: Oxford University Press; 2022.
- Pearce MT, Zaidel DW, Vartanian O, Skov M, Leder H, Chatterjee A, et al. Neuroaesthetics: the cognitive neuroscience of aesthetic experience. *Perspect Psychol Sci*. 2016;11(2):265-79.
- Skov M. Neuroaesthetics as a scientific discipline. En: Skov M, Nadal M, editores. The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022. pp. 1-28.
- Dukes D, Abrams K, Adolphs R, Ahmed ME, Beatty A, Berridge KC, et al. The rise of affectivism. *Nat Hum Behav*. 2021;5(7):816-20.
- Zeki S. Art and the brain. *J Conscious Stud: Controvers Sci Humanit*. 1999;6:76-96.
- Cinzia DD, Vittorio G. Neuroaesthetics: a review. *Curr Opin Neurobiol*. 2009;19(6):682-7.
- Chatterjee A, Vartanian O. Neuroscience of aesthetics. *Ann NY Acad Sci*. 2016;1369(1):172-94.
- Vessel EA. Neuroaesthetics. En: *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*. 2nd edition. Elsevier; 2022. pp. 661-70.
- Guerrero AL, Barceló Rosselló A, Ezpeleta D. Síndrome de Stendhal: origen, naturaleza y presentación en un grupo de neurólogos. *Neurología*. 2010;25(6):349-56.
- Campos Bueno JJ. Neuroestética: hacia un estudio científico de la belleza y de los sentimientos estéticos compartidos en el arte. En: Martín Aragón A, Campos Bueno JJ, Fernández Armayor Ajo V, de Juan Ayala Neuroestética O. Madrid: Saned; 2010. pp. 29-50.
- Chen Z, Yang X, Wang L, Li W. Neuroaesthetics: a narrative review of neuroimaging techniques. *J Bio-X Res*. 2021;4(3):97-102.
- Jankovic J, Mazziotta JC, Pomeroy SL, Newman NJ, Bradley WG, editores. Bradley and Daroff's neurology in clinical practice. Eighth edition. Amsterdam: Elsevier; 2022.
- Herholz K. Functional and molecular neuroimaging. En: Bradley and Daroff's neurology in clinical practice. Eighth edition. Amsterdam: Elsevier; 2022.
- Djebbara Z, Fich LB, Vecchiato G. Making sense of space. En: Skov M, Nadal M, editores. The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022. pp. 346-65.
- Crone J, Leder H. Context and complexity of aesthetic experiences. En: Skov M, Nadal M, editores. The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022. p. 438-47.
- Zeki S. Clive Bell's "Significant Form" and the neurobiology of aesthetics. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2013 [citado 17 de marzo de 2024];7. Disponible en: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00730/abstract>
- Brown S, Gao X, Tisdelle L, Eickhoff SB, Liotti M. Naturalizing aesthetics: Brain areas for aesthetic appraisal across sensory modalities. *NeuroImage*. 2011;58(1):250-8.
- Stark E, Berridge KC, Kringelbach ML. The neurobiology of liking. En: Skov M, Nadal M, editores. The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022. p. 63-70.
- Berridge KC, Robinson TE, Aldridge JW. Dissecting components of reward: 'liking', 'wanting', and learning. *Curr Opin Pharmacol*. 2009;9(1):65-73.
- Berridge KC, Kringelbach ML. Affective neuroscience of pleasure: reward in humans and animals. *Psychopharmacology*. 2008;199(3):457-80.
- Robinson T. The neural basis of drug craving: An incentive-sensitization theory of addiction. *Brain Res Rev*. 1993;18(3):247-91.
- Berridge KC, Kringelbach ML. Pleasure systems in the brain. *Neuron*. 2015;86(3):646-64.
- Ruskin J. The seven lamps of architecture. 2nd ed. Orpington, UK: George Allen; 1880.
- Schopenhauer A. The World as Will and Representation. 2nd ed. Vol. 1. Indian Hills, CO: The Falcon Wing's Press; 1958.
- Rocha L. Arquitectura crítica: proyectos con espíritu inconformista. Madrid: Turner; 2018.
- Vitruvius. The ten books of architecture. Vol. 1. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1914.
- Coburn A, Weinberger A, Chatterjee A. How architectural design influences emotions, physiology, and behavior. En: Skov M, Nadal M, editores. The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022. p. 194-217.
- Wang S, Sanches De Oliveira G, Djebbara Z, Gramann K. The embodiment of architectural experience: a methodological perspective on neuro-architecture. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:833528.
- Coburn A, Vartanian O, Kenett YN, Nadal M, Hartung F, Hayn-Leichsenring G, et al. Psychological and neural responses to architectural interiors. *Cortex*. 2020;126:217-41.
- Simonsen T, Sturge J, Duff C. Healing architecture in healthcare: a scoping review. *HERD*. 2022;15(3):315-28.
- Higuera-Trujillo JL, Linares C, Macagno E. The cognitive-emotional design and study of architectural space: a scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches. *Sensors*. 2021;21(6):2193.
- Daderot. English: Invernadero de Atocha, Madrid, Spain. I took this photograph [Internet]. Wikimedia Commons; 2008 [citado 23 de septiembre de 2024]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Invernadero_de_Atocha,_Madrid_-_view_1.JPG
- Coburn A, Kardan O, Kotabe H, Steinberg J, Hout MC, Robbins A, et al. Psychological responses to natural patterns in architecture. *J Environ Psychol*. 2019;62:133-45.
- Beute F, De Kort YAW. The natural context of wellbeing: Ecological momentary assessment of the influence of nature and daylight on affect and stress for individuals with depression levels varying from none to clinical. *Health Place*. 2018;49:7-18.
- Bermudez J, Krizaj D, Lipschitz DL, Bueler CE, Rogowska J, Yurgelun-Todd D, et al. Externally-induced meditative states: an exploratory fMRI study of architects' responses to contemplative architecture. *Frontiers of Architectural Research*. 2017;6(2):123-36.
- Djebbara Z, King J, Ebadi A, Nakamura Y, Bermudez J. Contemplative neuroaesthetics and architecture: A sensorimotor exploration. *Frontiers of Architectural Research*. 2024;13(1):97-111.
- Chatterjee A, Coburn A, Weinberger A. The neuroaesthetics of architectural spaces. *Cogn Process*. 2021;22(S1):115-20.
- Starr GG. Just in time: temporality, aesthetic experience, and cognitive neuroscience. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press; 2023.
- Balinisteanu T, Priest K, editores. Neuroaesthetics: a methods-based introduction. Cham: Springer International Publishing; 2024.
- Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol*. 1962;160(1):106-54.
- Tootell R, Switkes E, Silverman M, Hamilton S. Functional anatomy of macaque striate cortex. II. Retinotopic organization. *J Neurosci*. 1988;8(5):1531-68.

46. Moss HE. Neuro-ophthalmology and pregnancy. *Continuum* (Minneapolis). 2022;28(1):147-61.
47. Epstein R, Kanwisher N. A cortical representation of the local visual environment. *Nature*. 1998;392(6676):598-601.
48. Spiers HJ, Barry C. Neural systems supporting navigation. *Curr Opin Behavior Sci*. 2015;1:47-55.
49. Walther DB, Chai B, Caddigan E, Beck DM, Fei-Fei L. Simple line drawings suffice for functional MRI decoding of natural scene categories. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2011;108(23):9661-6.
50. Choo H, Nasar JL, Nikrahei B, Walther DB. Neural codes of seeing architectural styles. *Sci Rep*. 2017;7:40201.
51. Dielis J. Español: Meandro del Melero en el río Alagón, España. Límite municipal entre Caminomorisco (provincia de Cáceres) y Sotoserrano (provincia de Salamanca) [Internet]. Wikimedia Commons; 2014 [citado 23 de septiembre de 2024]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meandro_del_Melero.jpg
52. Chang DHF, Jiang B, Wong NHL, Wong JJ, Webster C, Lee TMC. The human posterior cingulate and the stress-response benefits of viewing green urban landscapes. *NeuroImage*. 2021;226:117555.
53. Zhao X, Wang J, Li J, Luo G, Li T, Chatterjee A, et al. The neural mechanism of aesthetic judgments of dynamic landscapes: an fMRI study. *Sci Rep*. 2020;10(1):20774.
54. Mortel R. Sagrada Familia, interior view (7) [Internet]. Wikimedia Commons; 2016 [citado 23 de septiembre de 2024]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sagrada_Familia_interior_view_\(7\)_30466024883.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sagrada_Familia_interior_view_(7)_30466024883.jpg)
55. Kravitz DJ, Peng CS, Baker CI. Real-world scene representations in high-level visual cortex: it's the spaces more than the places. *J Neurosci*. 2011;31(20):7322-33.
56. Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Gonzalez-Mora JL, Leder H, et al. Architectural design and the brain: Effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. *J Environ Psychol*. 2015;41:10-8.
57. Passini R, Pigot H, Rainville C, Tétreault MH. Wayfinding in a nursing home for advanced dementia of the Alzheimer's type. *Environ Behavior*. 2000;32(5):684-710.
58. Hidayetoglu ML, Yildirim K, Akalin A. The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *J Environ Psychol*. 2012;32(1):50-8.
59. Woolley DG, Mantini D, Coxon JP, D'Hooge R, Swinnen SP, Wenderoth N. Virtual water maze learning in human increases functional connectivity between posterior hippocampus and dorsal caudate. *Human Brain Mapping*. 2015;36(4):1265-77.
60. Wig GS, Schlaggar BL, Petersen SE. Concepts and principles in the analysis of brain networks. *Ann N Y Acad Sci*. 2011;1224(1):126-46.
61. Vartanian O, Navarrete G, Chatterjee A, Fich LB, Leder H, Modroño C, et al. Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2013;110(suppl_2):10446-53.
62. Maribelle71. The City of Arts and Sciences, located just a bus hop away from the city center, a masterpiece of world renown architects, Valencia's very own Santiago Calatrava and Félix Candela. [Internet]. Wikimedia Commons; 2009 [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciudad_de_las_Artes_y_las_Ciencias_Valencia.jpg
63. Powell R, Elwes R, Hamandi K, Mullatti N. Cingulate gyrus epilepsy. *Pract Neurol*. 2018;18(6):447-54.
64. Zotov AM, Korolenko PV, Mishin AYU, Ryzhikova YuV. Physical basics of neuroaesthetics. *Moscow Univ Phys*. 2019;74(6):625-30.
65. Tercan N. Fractal dimension and perception of order in Islamic art. En: Hmood K, editor. *Conservation of urban and architectural heritage - Past, present and future* [Internet]. IntechOpen; 2023 [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/86254>
66. Alberto-g-roví. Español: Palacios Nazaríes-2018 [Internet]. Wikimedia Commons; 2018 [citado 23 de septiembre de 2024]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sala_de_las_dos_Hermanas-Alhambra_\(5\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sala_de_las_dos_Hermanas-Alhambra_(5).jpg)
67. Taylor R. The potential of biophilic fractal designs to promote health and performance: a review of experiments and applications. *Sustainability*. 2021;13(2):823.
68. Yu Y, Romero R, Lee TS. Preference of Sensory Neural Coding for 1/f Signals. *Phys Rev Lett*. 2005;94(10):108103.
69. Papo D, Buldú JM, Boccaletti S, Bullmore ET. Complex network theory and the brain. *Phil Trans R Soc B*. 2014;369(1653):20130520.
70. Powell R, Hughes T. A chamber of secrets The neurology of the thalamus: lessons from acute stroke. *Pract Neurol*. 2014;14(6):440-5.
71. Ficco L, Mancuso L, Manuella J, Teneggi A, Liloia D, Duca S, et al. Disentangling predictive processing in the brain: a meta-analytic study in favour of a predictive network. *Sci Rep*. 2021;11(1):16258.
72. Knill DC, Pouget A. The Bayesian brain: the role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends Neurosci*. 2004;27(12):712-9.
73. Rolls ET. The neuroscience of emotional disorders. En: *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier; 2021.
74. Vassiliou F. Aesthetic disinterestedness in neuroaesthetics: a phenomenological critique. *AesthInV*. 2020;4(1):77-95.
75. Ball P. Neuroaesthetics is killing your soul. *Nature*. 22 de marzo de 2013;nature.2013.12640.
76. Iigaya K, O'Doherty JP, Starr GG. Progress and promise in neuroaesthetics. *Neuron*. 2020;108(4):594-6.
77. Darda KM, Chatterjee A. The impact of contextual information on aesthetic engagement of artworks. *Sci Rep*. 2023;13(1):4273.
78. Chatterjee A, Vartanian O. Neuroaesthetics. *Trends Cogn Sci*. 2014;18(7):370-5.
79. Chancellor B, Duncan A, Chatterjee A. Art therapy for Alzheimer's disease and other dementias. *J Alzheimers Dis*. 2014;39(1):1-11.
80. Cucca A, Di Rocco A, Acosta I, Beheshti M, Berberian M, Bertisch HC, et al. Art therapy for Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2021;84:148-54.
81. Deshmukh SR, Holmes J, Cardno A. Art therapy for people with dementia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 Sep 13;9(9):CD011073.
82. Howlin C. The health benefits of art experience. En: Skov M, Nadal M, editores. *The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics*. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022.
83. Humphries S, Rick J, Weintraub D, Chatterjee A. Movement in aesthetic experiences: what we can learn from Parkinson disease. *J Cogn Neurosci*. 2021;33(7):1329-42.
84. Skov M. Sensory liking. En: Skov M, Nadal M, editores. *The Routledge International Handbook of Neuroaesthetics*. 1.a ed. Londres: Routledge; 2022.