

Neuroarquitectura: Mejorar el bienestar y la productividad a través del diseño espacial

Khadija Al Chami⁽¹⁾, Alberto T. Estévez⁽²⁾ y
Yomna K. Abdallah⁽³⁾

Resumen: En un mundo cada vez más acelerado y urbanizado, los espacios que habitamos tienen un profundo impacto en nuestro bienestar y productividad. Este artículo explora el fascinante ámbito de la neuroarquitectura, que se centra en cómo el diseño espacial puede influir en nuestros estados mentales y emocionales. La elección de este tema tiene sus raíces en el acuciante problema de la disminución del bienestar y la productividad en los entornos construidos contemporáneos. A medida que la urbanización continúa creciendo, se ha vuelto crucial abordar la desconexión entre nuestro entorno y nuestro bienestar. El objetivo principal de esta investigación es investigar cómo se pueden aplicar los principios de la neuroarquitectura para mejorar el bienestar y la productividad en diversos entornos, desde hogares y oficinas hasta espacios públicos e instalaciones sanitarias. Al comprender las respuestas neurológicas y psicológicas a diferentes elementos de diseño, el objetivo es desarrollar pautas basadas en evidencias para que arquitectos y diseñadores creen espacios que promuevan resultados positivos. La metodología empleada en este estudio implica una revisión exhaustiva de la bibliografía de la investigación existente sobre neuroarquitectura, neurobiología y psicología ambiental. Además, se analizarán estudios de casos de proyectos arquitectónicos del mundo real para ilustrar la implementación práctica de los principios de la neuroarquitectura.

Palabras clave: Neuroarquitectura - Neurociencia - Experiencia de usuario - Diseño emocional - Diseño espacial

[Resúmenes en castellano y en portugués en las páginas 158-159]

⁽¹⁾ **Khadija Al Chami** es Licenciada en Arquitectura por la Universidad Libanesa de Beirut, complementada con un Máster en Urbanismo por la Universidad Americana de Beirut, y otro Máster en Arquitectura Biodigital por la UIC Barcelona. Su búsqueda de conocimientos la llevó a realizar una Maestría en Neuroarquitectura de NAAD, Italia, mejorando su experiencia en el diseño de espacios para el bienestar. Actualmente, está cursando el Programa de Doctorado en la UIC Barcelona, desde el iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics-Universitat Internacional de Catalunya), centrándose en mejorar la experiencia del usuario en realidad virtual a través del diseño arquitectónico. Su viaje incluye tres años de valiosa experiencia en Khatib y Alami (Beirut). Antes de fundar su propio estudio de arquitectura, Hexa. Con una perspectiva internacional, ha

completado con éxito proyectos en Líbano, Turquía y Dubai, especializándose en soluciones de diseño innovadoras y sostenibles.

⁽²⁾ **Alberto T. Estévez** es Arquitecto (UPC, 1983), Doctor en Ciencias (Arquitectura, UPC, 1990), Historiador del Arte (UB, 1994), Doctor en Letras (Historia del Arte, UB, 2008), con oficina de arquitectura y diseño en Barcelona (1983-hoy). 40 años de docencia e investigación en diversas universidades. Fundador y primer Director de la ESARQ-UIC Barcelona School of Architecture (1996), donde ejerce como Catedrático de Arquitectura. Creador del grupo de investigación, máster y doctorado “Historia, Arquitectura y Diseño” (UIC, 1998-hoy), y del grupo de investigación, máster y doctorado “Arquitecturas Genéticas” (UIC, 2000-hoy), actualmente Máster de Arquitectura Biodigital. Así como creador del Máster de Cooperación Internacional con Alex Levi y Amanda Schachter (UIC, 2004-hoy). Con más de tres centenares de publicaciones, decenas de exposiciones, congresos y comités, e invitado a impartir más de 100 conferencias internacionales sobre sus ideas y trabajos. Ha sido Director de 25 tesis doctorales, y de más de cien tesis de máster y grado. Con 6 sexenios de investigación oficialmente reconocidos. Fundador-Director del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), y Fundador del Doctorado en Arquitectura de la UIC Barcelona, del que ha sido su primer Director. Últimamente fue también Vicerrector-Gerente de la UIC Barcelona (Universitat Internacional de Catalunya).

⁽³⁾ **Yomna K. Abdallah** es profesora e investigadora de la ESARQ-UIC Barcelona, School of Architecture de la Universitat Internacional de Catalunya. Subdirectora del iBAG-UIC Barcelona, y Subdirectora del Máster en Arquitectura Biodigital desde 2019 en la misma UIC. Se graduó en la Facultad de Artes Aplicadas, Helwan University (2012) y obtuvo su Maestría en la misma universidad con la calificación de Excelente (2016): su tesis fue galardonada como la “Mejor Tesis de Maestría”. Desde el año 2020 es también Doctora en Arquitectura por la UIC, y doctoranda de bioingeniería en la misma universidad, preve-yéndose la lectura de su segunda tesis doctoral el año 2024. Cofundó el BioLab del iBAG y del Máster en Arquitectura Biodigital el año 2021. Ha sido investigadora visitante invitada en varias instituciones, como la Universidad de El Cairo, la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada y el Instituto Max Planck de Coloides e Interfaces en Potsdam. Sus intereses de investigación incluyen la integración de cultivos microbianos y celulares en biosistemas y biomateriales para lograr aplicaciones arquitectónicas renovables, regenerativas, bioactivas y sostenibles en el entorno construido. Así se ha manifestado en sus numerosas publicaciones, y en su docencia, desde el BioLab, en el Máster de Arquitectura Biodigital.

Neuroarquitectura: mejorar el bienestar y la productividad a través del diseño espacial

Los resultados esperados de esta investigación son dobles. En primer lugar, anticipamos descubrir información valiosa sobre cómo elementos de diseño específicos, como la iluminación, los colores, los diseños espaciales y los elementos biofílicos, influyen en nuestra neurobiología y psicología. En segundo lugar, nuestro objetivo es proporcionar recomendaciones basadas en evidencias para que arquitectos y diseñadores creen entornos que mejoren el bienestar y la productividad. En última instancia, esta investigación busca cerrar la brecha entre la neurociencia y la arquitectura, ofreciendo una vía prometedora para mejorar la calidad de nuestro entorno construido y, en consecuencia, nuestras vidas.

Los seres humanos pasan una parte importante de sus vidas en entornos construidos. La neuroarquitectura, un campo que combina neurociencia, psicología ambiental y arquitectura, tiene como objetivo desentrañar los fundamentos neuronales de la interacción humana con los espacios construidos, ofreciendo conocimientos potenciales sobre los procesos cognitivos que dan forma a esta experiencia común¹. Este dominio interdisciplinario es prometedor no solo para mejorar nuestra comprensión de estos mecanismos cognitivos sino también para inspirar principios de diseño arquitectónico basados en evidencias^{2,3}. Este artículo examina el estado actual de la neuroarquitectura y propone un camino hacia el cumplimiento de sus promesas científicas y prácticas. Está estructurado en tres secciones: primeramente una exploración introductoria de los objetivos de la neuroarquitectura y una descripción general de la investigación experimental, luego una evaluación de las limitaciones existentes en los estudios arquitectónicos mediante imágenes cerebrales, y por último una propuesta que aprovecha el marco teórico de la psicología ecológica para abordar estas limitaciones y enfatizar la exploración corporal en las experiencias arquitectónicas⁴.

Antes del inicio formal de la neuroarquitectura, varios académicos estudiaron los efectos psicológicos y conductuales de las experiencias arquitectónicas⁵. La arquitectura, a menudo percibida como un espacio estructurado, históricamente abarcó la tríada de utilidad, firmeza y belleza⁶. Desde las creencias del antiguo Egipto que dieron forma al diseño de las pirámides⁷ hasta la arquitectura simétrica griega influenciada por inspiraciones culturales⁸, el significado espiritual entrelazado con los diseños arquitectónicos persistió a lo largo de diferentes épocas.

Sin embargo, a medida que la ciencia y la tecnología avanzaron, la relación de la arquitectura con las percepciones metafísicas cambió⁹. El llamado Movimiento Moderno marcó un cambio hacia el diseño funcional, enfatizando la utilidad y la estructura sobre los adornos ornamentales^{10,11}. Este movimiento enfatizó el desempeño de los edificios, haciéndose eco de los sentimientos de arquitectos influyentes como Louis H. Sullivan y Ludwig Mies van der Rohe¹².

El surgimiento de la neuroarquitectura responde a la búsqueda de comprender cómo los entornos diseñados realmente influyen en la vida humana¹³. Este campo investiga el impacto de los entornos arquitectónicos en el sistema neuronal, con el objetivo de informar estrategias y regulaciones de diseño para mejorar la salud y el bienestar humanos¹⁴.

Los avances en las tecnologías de imágenes cerebrales han impulsado los estudios de neuroarquitectura, dando lugar a dos amplias categorías de investigación: paradigmas estacionarios y móviles¹⁵. Protocolos estacionarios, que utilizan métodos como la magnetoencefalografía (MEG). La electroencefalografía (EEG) o la resonancia magnética funcional (fMRI) capturan respuestas neuronales a estímulos visuales estáticos en entornos controlados. Por el contrario, los paradigmas móviles permiten una interacción activa con entornos tridimensionales, aunque introducen desafíos de grabación debido a entornos incontrolables y artefactos de movimiento¹⁶. Estos paradigmas se complementan entre sí y ofrecen información sobre cómo el diseño arquitectónico influye en la función y el comportamiento del cerebro humano.

Estudios previos en Neuroarquitectura

Numerosos estudios de neuroarquitectura utilizan protocolos estacionarios, observando a los participantes, centrándose en estímulos visuales, mientras están sentados o acostados para evaluar la experiencia subjetiva de la estética arquitectónica. Oppenheim *et al.* (2009, 2010) profundizaron en los potenciales relacionados con eventos (ERP) utilizando EEG, revelando que los edificios de mayor estatus social o naturaleza sublime tenían un impacto más pronunciado en la percepción de lo sublime en comparación con las estructuras de menor rango. Estos estudios destacaron el papel del hipocampo en el procesamiento de la clasificación arquitectónica¹⁷. Además, la investigación de Vartanian *et al.* (2013) descubrieron preferencias por espacios curvilíneos sobre los rectilíneos, y la resonancia magnética funcional mostró una actividad neuronal distintiva en respuesta a contornos curvilíneos en regiones del cerebro asociadas con el procesamiento visual¹⁸.

De manera similar, Vartanian *et al.* (2015) investigaron la influencia de la altura del techo y la percepción del cerramiento en los juicios estéticos, revelando que los techos más altos y los espacios abiertos tenían más probabilidades de ser percibidos como hermosos y activaban distintas estructuras cerebrales vinculadas a la exploración visuoespacial¹⁹.

Además, los estudios destacaron el impacto de los factores cognitivos en los juicios estéticos. Por ejemplo, Kirk *et al.* (2009b) demostraron que etiquetar una imagen como proveniente de una galería en lugar de generada por computadora alteraba significativamente las calificaciones estéticas, involucrando distintos mecanismos neuronales vinculados al juicio estético²⁰.

Investigaciones adicionales ampliaron la exploración a estados emocionales influenciados por el diseño arquitectónico. Shemesh *et al.* (2021) analizaron cómo los aspectos geométricos de los espacios arquitectónicos afectaban los estados emocionales, revelando diferencias entre diseñadores y no diseñadores en respuesta a las diferentes geometrías espaciales²¹. Martínez-Soto *et al.* (2013) investigaron entornos restaurativos y encontraron activación en regiones del cerebro asociadas con la atención y la restauración del estrés cuando se exponen a entornos integrados en la naturaleza²². De manera similar, Fich *et al.* (2014) observaron respuestas de estrés intensificadas en participantes ubicados en salas virtuales cerradas sin ventanas²³. Otras secciones profundizarán en estudios fundamenta-

les dentro de protocolos estacionarios, arrojando luz sobre la intrincada relación entre el diseño arquitectónico y las respuestas neuronales.

Medición de la percepción: EEG y su papel en la Neuroarquitectura

La integración de datos de EEG en el diseño arquitectónico representa un salto significativo en la forma en que los arquitectos entienden el impacto de sus diseños en el cerebro humano^{24,25}. El EEG proporciona una medida directa de la actividad cerebral, ofreciendo retroalimentación en tiempo real sobre cómo los individuos responden neurológicamente a diferentes estímulos ambientales. Estos datos pueden ser increíblemente informativos para las decisiones de diseño arquitectónico. Por ejemplo, el EEG puede revelar cómo las diferentes condiciones de iluminación afectan la concentración o cómo la distribución de las habitaciones puede influir en los niveles de estrés²⁶.

Al interpretar los datos del EEG, los arquitectos y diseñadores buscan patrones en la actividad de las ondas cerebrales que indiquen estados mentales específicos. Por ejemplo, un aumento en la actividad de las ondas Alfa en un espacio particular podría sugerir que tiene un efecto calmante, mientras que la actividad de las ondas Beta podría indicar una mayor concentración y estado de alerta²⁷. Al correlacionar estos patrones con elementos de diseño específicos, los arquitectos pueden tomar decisiones informadas sobre cómo optimizar los espacios para lograr los resultados mentales y emocionales deseados²⁸.

La electroencefalografía (EEG) es un método no invasivo que se utiliza para registrar la actividad eléctrica del cerebro. Esto se logra mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo, que detectan las pequeñas cargas eléctricas resultantes de la actividad de las células cerebrales. El EEG es especialmente valorado por su alta resolución temporal, que captura fluctuaciones en la actividad cerebral en una escala de milisegundos²⁹.

En el ámbito de la neurociencia, la electroencefalografía (EEG) constituye una herramienta fundamental que ofrece una ventana a las intrincadas actividades eléctricas del cerebro. Esta tecnología, como se describe, implica colocar electrodos en el cuero cabelludo en ubicaciones estandarizadas, como el sistema 10-20 en EEG, para capturar patrones de ondas cerebrales³⁰. El sujeto, durante la recopilación de datos, puede realizar tareas específicas o estar expuesto a estímulos, según el propósito del EEG. Después de la grabación, los datos se someten a un análisis meticuloso para interpretar los patrones de actividad del cerebro³⁰.

La importancia del EEG se destaca aún más por su capacidad para medir varias ondas cerebrales, cada una de las cuales se correlaciona con diferentes estados de actividad cerebral³¹. Estas ondas cerebrales, que se originan a partir de impulsos eléctricos sincronizados entre neuronas, desempeñan un papel crucial en la sincronización de actividades en diferentes regiones del cerebro³². Por ejemplo, las ondas Theta y Delta están estrechamente relacionadas con las etapas del sueño: las ondas Theta asociadas con la relajación profunda, y las ondas Delta con el sueño profundo y el rejuvenecimiento corporal³³. Por el contrario, las ondas Beta y Alfa predominan durante la vigilia, reflejando estados de concentración y relajación, respectivamente³⁴.

Comprender los matices de estas ondas cerebrales es vital para comprender su influencia en los estados cognitivos y emocionales, abriendo así vías para optimizar las funciones cognitivas y las intervenciones de salud mental³⁵. En el campo innovador de la neuroarquitectura, el papel del EEG se vuelve aún más pronunciado. Ofrece información sobre los estados cognitivos y las respuestas emocionales a diversos estímulos, lo que la convierte en una valiosa herramienta en los procesos de diseño³⁶.

Consideremos, por ejemplo, un proyecto destinado a crear un espacio de relajación en un entorno de alto estrés, como una sala de urgencias o una empresa de tecnología⁴⁰. El diseño inicial puede incluir colores, iluminación y diseños específicos destinados a promover la relajación. Al emplear EEG, los diseñadores pueden medir cómo reacciona el cerebro a estos elementos, observando cambios en los patrones de ondas cerebrales como las ondas Alfa, que indican relajación^{37,38}.

Los datos del EEG pueden revelar qué aspectos del diseño inducen efectivamente la relajación, como la presencia del color azul o una iluminación suave, al aumentar la actividad de las ondas Alfa⁴¹. Por el contrario, los elementos que no provocan la respuesta deseada o aumentan el estrés pueden identificarse para su modificación. Este proceso de diseño iterativo, informado por la retroalimentación continua del EEG, permite a los diseñadores perfeccionar sus diseños para que se adapten mejor a las respuestas cerebrales previstas y, en última instancia, crear entornos más eficaces y fáciles de usar³⁹.

El diseño final del espacio de relajación, por lo tanto, se convierte en producto de un meticuloso análisis EEG y un rediseño iterativo, optimizado para inducir fisiológicamente la relajación, como lo demuestran los patrones de ondas cerebrales de sus usuarios⁴¹. Esta aplicación de EEG en el diseño no sólo mejora la funcionalidad de los espacios sino que también subraya el profundo impacto de nuestro entorno en nuestro bienestar mental y emocional.

“Synapse” de Behnaz Farahi: un Estudio de Caso

El proyecto “Synapse”, concebido por el diseñador y tecnólogo Behnaz Farahi, es un testimonio de la innovadora fusión de la tecnología EEG y el diseño arquitectónico. Esta instalación interactiva, en esencia, es una exploración innovadora de la interacción dinámica entre el espacio arquitectónico y los estados emocionales humanos, superando los límites de los paradigmas arquitectónicos tradicionales.

En el corazón de “Synapse” se encuentra una cubierta responsiva, una maravilla del diseño y la tecnología modernos, que se transforma físicamente en respuesta a las ondas cerebrales de los individuos que se encuentran debajo de ella. Inspirándose en el concepto de neuroplasticidad, la visión de Farahi era crear un espacio que, similar al cerebro humano, fuera dinámico y adaptable⁴².

La integración de la tecnología EEG fue fundamental para hacer realidad las capacidades interactivas de “Synapse”. A los participantes, adornados con auriculares EEG, se les monitoreó su actividad cerebral en tiempo real. Estos auriculares eran expertos en medir varios patrones de ondas cerebrales, cada uno de ellos indicativo de diferentes estados mentales y

respuestas emocionales. Los datos de estas ondas cerebrales luego se tradujeron en movimientos físicos dentro de la instalación, creando una interacción dinámica y tangible entre el participante y el entorno arquitectónico⁴².

Esta interacción directa fue revolucionaria y permitió un nivel de personalización en el diseño arquitectónico que antes era inalcanzable. Por ejemplo, un aumento de las ondas Alfa, típicamente asociadas con la relajación, haría que el dosel se moviera de una manera serena y suave. Por el contrario, las ondas Beta intensificadas, indicativas de estado de alerta, darían como resultado movimientos más vigorosos. Este enfoque innovador permitió que la instalación “Synapse” se adaptara en tiempo real al estado emocional de sus ocupantes, presagiando un futuro en el que los edificios podrían adaptarse dinámicamente a las necesidades y preferencias de sus usuarios⁴².

Las implicaciones del proyecto “Synapse” para la neuroarquitectura son profundas. Demostró la viabilidad y el potencial de integrar datos de EEG en el diseño arquitectónico, dando lugar a entornos que no sólo son innovadores sino también altamente receptivos. La capacidad de la instalación “Synapse” para adaptarse a los estados emocionales de sus participantes en tiempo real muestra un futuro en el que la arquitectura no es sólo un telón de fondo pasivo sino un participante activo para mejorar la comodidad, el compromiso y la experiencia general⁴².

Además, “Synapse” subrayó el potencial de la arquitectura como herramienta para la atención plena y la regulación emocional. Al responder físicamente a los estados mentales de sus ocupantes, la instalación creó un espacio que no sólo era consciente sino también capaz de adaptarse para apoyar el bienestar psicológico de sus usuarios.

Sin embargo, el camino hacia la integración del EEG en el diseño arquitectónico, como lo ejemplifica “Synapse”, no está exento de desafíos. Traducir datos complejos de EEG en respuestas arquitectónicas significativas requirió un enfoque multidisciplinario y métodos computacionales avanzados. El diseño de la instalación debía ser funcional y estéticamente atractivo, una tarea que exigía soluciones innovadoras.

A pesar de estos desafíos, el proyecto “Synapse” ha abierto nuevas vías en la neuroarquitectura. Sugiere un cambio de paradigma en el diseño arquitectónico, donde los edificios son entornos dinámicos que interactúan directamente con la psique humana. Este proyecto sirve como faro para futuras exploraciones, destacando el inmenso potencial de incorporar datos neurológicos en el diseño arquitectónico para mejorar la experiencia del usuario. A medida que avanza la tecnología EEG, sus aplicaciones en neuroarquitectura podrían expandirse significativamente. Los proyectos futuros podrían profundizar en aspectos más matizados de la actividad cerebral, influyendo en las elecciones de diseño en cuanto a materiales, colores o estilos arquitectónicos. El EEG también podría desempeñar un papel en el diseño urbano, evaluando cómo los espacios públicos afectan el estado de ánimo y el comportamiento colectivo.

En conclusión, el proyecto “Synapse” de Behnaz Farahi marca un hito importante en la neuroarquitectura. Ejemplifica la integración innovadora de la tecnología EEG en el diseño arquitectónico, lo que conduce a espacios interactivos y receptivos íntimamente conectados con la experiencia humana. Este proyecto allana el camino para una nueva era en el diseño arquitectónico, donde los edificios no son meras estructuras sino entornos dinámicos que interactúan y se adaptan a la psique humana.

Neuroarquitectura y dinámica del comportamiento: exploración del impacto del diseño en el comportamiento humano

Fundamentos Neuroquímicos del Comportamiento

Dos categorías distintas de entidades químicas influyen en nuestro cerebro y comportamiento:

1. **Neurotransmisores:** estos compuestos, sintetizados y descargados por las neuronas, desempeñan un papel fundamental en la orquestación de las operaciones del sistema nervioso. A diferencia de las hormonas, los neurotransmisores no se transportan a través del torrente sanguíneo. En cambio, se liberan en sinapsis, situadas próximas a su objetivo: la neurona específica conectada a la sinapsis respectiva. Al operar en espacios localizados, los neurotransmisores facilitan la comunicación entre neuronas, regulando diversos procesos neurológicos y facilitando señales precisas y dirigidas dentro del sistema nervioso⁴³.

2. **Hormonas:** estos mensajeros químicos, generados por glándulas endocrinas o neuronas especializadas, ejercen una profunda influencia sobre la funcionalidad del cuerpo. Las hormonas, a diferencia de los neurotransmisores, se liberan directamente en el torrente sanguíneo, lo que les permite recorrer largas distancias dentro del cuerpo. Al operar como moléculas de señalización de largo alcance, las hormonas actúan sobre tejidos u órganos-objetivo distantes, desempeñando un papel fundamental en la regulación de diversos procesos fisiológicos y en el mantenimiento de la homeostasis corporal general⁴⁴.

La intrincada interacción entre estos mensajeros químicos (neurotransmisores que actúan sobre sinapsis localizadas y hormonas que operan como reguladores sistémicos) forma un nexo crucial que rige la intrincada relación entre la función cerebral y las respuestas conductuales. Comprender las distintas funciones y mecanismos de estos mediadores químicos es fundamental para comprender las complejidades del funcionamiento neurológico y su profundo impacto en los patrones de comportamiento⁴⁵.

Efectos en cascada de la Dopamina, la Serotonina, el Cortisol y la Oxitocina en la función y el comportamiento del cerebro

La dopamina, que funciona como hormona y neurotransmisor, desempeña un papel crucial dentro del circuito de recompensa de nuestro cerebro, influyendo significativamente en la sensación de placer. Desempeña un papel fundamental en la configuración de nuestras experiencias emocionales, funciones cognitivas y capacidades de planificación. Directamente asociada con la atención, el aprendizaje, la memoria, la percepción del dolor y los procesos de toma de decisiones, la dopamina orquesta varias facetas de nuestro repertorio mental y conductual⁴⁶ (*Ver Figura 1*).

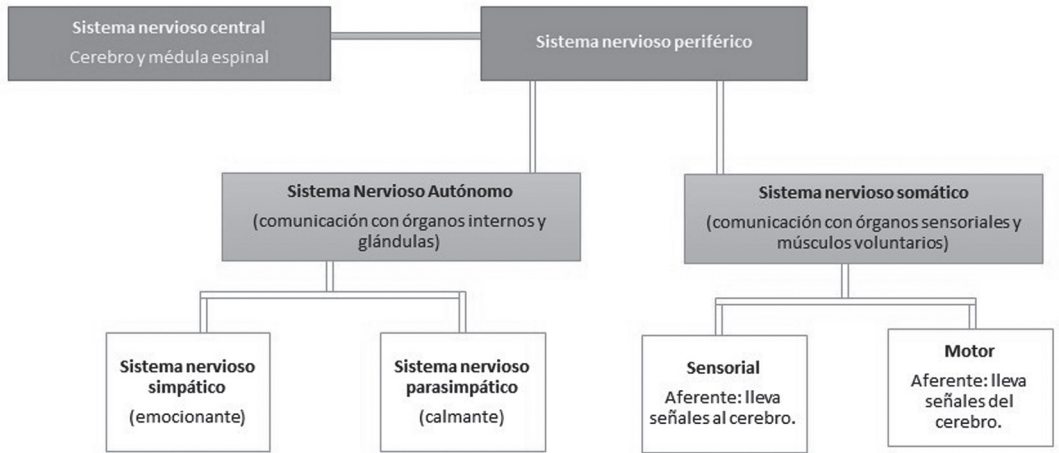


Figura 1. Divisiones del sistema nervioso.

El intrincado sistema dopaminérgico exige equilibrio. Las desviaciones, ya sean niveles excesivos o deficientes de dopamina, pueden tener importantes consecuencias para la salud. El exceso de dopamina puede desencadenar conductas impulsivas, como se ve en casos de enamoramiento intenso o juego imprudente después de un momento triunfal. El exceso crónico de dopamina también se asocia con conductas adictivas⁴⁷.

Mientras tanto, las actividades que evocan placer, desde saborear el chocolate hasta disfrutar de la música favorita, activan los circuitos de dopamina del cerebro. Los estudios indican un aumento de hasta un 9% en los niveles de dopamina entre las personas que escuchan su música preferida. De manera similar, experiencias como estar enamorado desencadenan la liberación de dopamina⁴⁸. Además, la dopamina se entrelaza con la evaluación estética, influyendo en nuestras percepciones de la belleza en diversos ámbitos, ya sea el atractivo humano, las creaciones artísticas o la estética ambiental⁴⁹.

Por otro lado, la serotonina, otro importante neurotransmisor y hormona, muestra un amplio impacto en diversas facetas fisiológicas y emocionales. Participa en la regulación del estado de ánimo, la concentración, la felicidad, la inhibición de la ira, el control de la temperatura corporal, el sueño y la regulación del apetito. El intrincado equilibrio de la serotonina está influenciado por las elecciones dietéticas y los factores ambientales, en particular la exposición a la luz solar. La luz del sol desencadena la producción de serotonina a través de la estimulación de la retina, lo que afecta nuestro bienestar emocional. Los estudios destacan niveles más altos de serotonina en los días soleados, independientemente de las variaciones de temperatura⁵⁰.

El papel del medio ambiente en el mantenimiento de la serotonina incita a reflexionar sobre los espacios que creamos y si ofrecen una amplia exposición a la luz solar para niveles óptimos de serotonina, esencial para apoyar el bienestar general.

Los niveles bajos de serotonina a menudo están relacionados con diversos trastornos emocionales y de conducta, que incluyen ansiedad, depresión y tendencias suicidas. Comprender la intrincada interacción entre estos neurotransmisores no sólo arroja luz sobre los mecanismos detrás de los patrones de comportamiento, sino que también subraya el papel fundamental del equilibrio químico en el mantenimiento de la salud mental y emocional⁵¹. El cortisol, comúnmente denominado “hormona del estrés”, opera como un componente fundamental dentro del sistema de alarma de nuestro cuerpo. Sin embargo, su importancia se extiende mucho más allá de la modulación del estrés y abarca diversas funciones reguladoras cruciales para la homeostasis corporal. Más allá de su función relacionada con el estrés, el cortisol emerge como un regulador vital que sincroniza nuestro reloj biológico interno con los ciclos naturales de luz y oscuridad, una faceta que exploraremos más a fondo en nuestra próxima discusión sobre el módulo de iluminación⁵².

Esta Hormona Orquesta un Espectro de Funciones Fisiológicas

- Regulación metabólica: gobierna la utilización de carbohidratos, grasas y proteínas por parte del cuerpo.
- Control de la inflamación: Modulación de los niveles de inflamación dentro del cuerpo.
- Presión Arterial: Contribuyendo a la regulación de la presión arterial.
- Niveles de Glucosa: Influye en los niveles de azúcar en sangre, desempeñando un papel importante en la regulación energética.
- Energía y productividad: Elevar los niveles de energía, fundamental para mejorar la productividad y controlar el estrés.
- Ciclo sueño-vigilia: influye en el patrón y la regulación del sueño⁵³.

Es fundamental tener en cuenta que el cortisol ejerce distintos efectos en el organismo a corto y largo plazo, tema que profundizaremos más adelante en el segmento de este módulo sobre estrés. Comprender estos impactos diferenciales aclara la influencia matizada de la hormona en diversos procesos fisiológicos.

Por el contrario, la oxitocina, a menudo denominada “hormona del amor”, se asocia con una gran variedad de atributos sociales y emocionales:

- Conexión Social: Facilitar el sentido de pertenencia y vinculación interpersonal.
- Confianza: Influye en la seguridad en uno mismo y la resiliencia emocional.
- Amor y vínculo maternal: Contribuyendo a sentimientos de afecto e instintos de crianza.
- Empatía y reconocimiento emocional: mejorar las respuestas empáticas y reconocer señales emocionales⁵⁴.

Además, las investigaciones emergentes sugieren el papel potencial de la oxitocina en la inhibición de los niveles de estrés mediante la modulación de la amígdala cerebral, una región asociada con las respuestas emocionales y el procesamiento del estrés. Esta revelación subraya el impacto multifacético de la hormona tanto en la conectividad social como en

la modulación del estrés, insinuando sus posibles implicaciones terapéuticas en el manejo del estrés.

Comprender las intrincadas funciones del cortisol y la oxitocina en la regulación de diversos aspectos fisiológicos y emocionales no sólo revela su importancia sino que también allana el camino para explorar su potencial terapéutico para fomentar el bienestar general y la resistencia al estrés⁵⁵.

Respuestas dinámicas a la influencia de la naturaleza: revelando velocidades de reacción variadas

La naturaleza en constante evolución de nuestro entorno exige nuestra capacidad de adaptarnos rápidamente. Nuestras respuestas a estos cambios se desarrollan a distintas velocidades:

Respuestas inmediatas: estas reacciones de adaptación rápida ocurren en diferentes etapas de la vida, desencadenadas por estímulos inmediatos. Abarcan alteraciones en los patrones de activación cerebral y los niveles de estrés en respuesta a los atributos físicos de nuestro entorno. Factores como la iluminación, los colores, los materiales, la distribución espacial y la altura del techo inducen respuestas tan rápidas. En particular, incluso dentro de las respuestas inmediatas prevalecen distintas velocidades, como se detalla en la sección siguiente.

Respuestas intermedias: Estas reacciones adaptativas ocurren a lo largo de nuestras vidas y requieren estímulos prolongados o frecuentes para manifestarse. Un ejemplo digno de mención son los cambios plásticos dentro de la estructura del cerebro, inducidos por el entorno físico, particularmente en entornos ocupados durante períodos prolongados.

Respuestas evolutivas: estas transformaciones se producen a lo largo de milenios a lo largo de la evolución de las especies. Consideremos el amplio alcance de los cambios ambientales que dieron forma a la evolución humana. Por ejemplo, las teorías de la paleoantropología postulan que la expansión de las sabanas hace millones de años influyó de manera crucial en la transición al bipedalismo. Aquí, el impacto del medio ambiente en nuestros cuerpos se desarrolla a lo largo de vastas escalas de tiempo, lo que ilustra el papel de la naturaleza en la configuración de cambios evolutivos fundamentales⁵⁶.

Estas distintas velocidades de respuesta resaltan el espectro de nuestras capacidades adaptativas, aclarando la naturaleza multifacética de nuestras interacciones con el medio ambiente. Desde reacciones inmediatas moldeadas por estímulos inmediatos hasta adaptaciones intermedias que ocurren a lo largo de la vida y, finalmente, hasta los cambios evolutivos prolongados que impactan a las especies durante milenios, cada nivel de respuesta revela la interacción dinámica entre nuestra biología y el paisaje en evolución que nos rodea. Comprender estas variadas velocidades de respuesta ilumina la intrincada relación entre nuestro entorno y nuestra capacidad de adaptación, subrayando la profunda influencia de la naturaleza en la evolución humana y la existencia diaria⁵⁷.

El psicólogo Daniel Kahneman, premio Nobel de 2002, propone una división binaria del cerebro basada en la velocidad de las operaciones cognitivas:

Sistema I: Caracterizado por procesos de pensamiento rápidos, instintivos, impulsivos e intuitivos.

Sistema II: Refleja patrones de pensamiento más lentos, deliberados, conscientes, analíticos y metódicos.

Esta dicotomía resalta los beneficios asociados con la automatización de los procesos cognitivos, lo que genera beneficios como la conservación de energía, mayor velocidad, eficiencia del tiempo y mayores posibilidades de supervivencia. Las respuestas del Sistema I se caracterizan por evaluaciones ambientales rápidas, mientras que las reacciones del Sistema II, al ser deliberadas y conscientes, son más fáciles de detectar debido a su naturaleza más lenta⁵⁸.

Los ejemplos de respuestas automáticas innatas abarcan reacciones fisiológicas como la dilatación de la pupila en respuesta a diferentes condiciones de luz, alteraciones en la transpiración de la piel para regular la temperatura corporal y experimentar náuseas al exponerse a olores desagradables. Por otro lado, las respuestas automáticas aprendidas incluyen recuerdos emocionales desencadenados por olores que evocan experiencias pasadas y acciones habituales, como seguir inadvertidamente una ruta diaria familiar, como el viaje de casa al trabajo, incluso cuando el destino es diferente⁵⁹.

Más allá de estas reacciones instantáneas, el cerebro exhibe plasticidad: sufre cambios a lo largo del tiempo que exigen una duración más prolongada para su manifestación. Esta plasticidad subraya la capacidad del cerebro para ser moldeado por el entorno, con alteraciones en la estructura y función del cerebro que influyen en nuestra relación e interacción con el entorno circundante. Comprender este sistema dual y las diferentes dinámicas temporales de nuestras respuestas cognitivas arroja luz sobre cómo el cerebro se adapta y procesa la información, revelando la intrincada interacción entre nuestros mecanismos cognitivos y las influencias ambientales⁶⁰.

Biología, comportamiento y las complejidades de la influencia ambiental

En el meollo del comportamiento humano se encuentra una interacción compleja entre nuestros procesos fisiológicos y el profundo impacto del medio ambiente. El medio ambiente, en sus manifestaciones multifacéticas, domina nuestras funciones fisiológicas y moldea nuestras acciones, percepciones y estados mentales. Esta relación matizada subraya la esencia de la fisiología, un campo arraigado en la comprensión del funcionamiento del organismo, desde intrincados mecanismos moleculares hasta el espectro más amplio de funciones mecánicas y físicas.

El término “fisiología” encuentra su origen en la fusión de las palabras griegas “physis” que denota naturaleza o función y “logos” que representa palabra o estudio. Esta rama de la biología profundiza en el intrincado funcionamiento de los organismos, iluminando la intrincada danza entre biología y comportamiento⁶¹.

La influencia de nuestro entorno en el comportamiento y la percepción es innegable. Las características físicas de un espacio pueden provocar comportamientos y percepciones variados. Sin embargo, es crucial reconocer que el medio ambiente es sólo una entre varias variables que nos influyen. Kurt Lewin, el psicólogo alemán, resumió esta intrincada interacción mediante una fórmula: $B=f(P + E)$.

En esencia, la conducta (B) surge como resultado de la intrincada interrelación entre el individuo (P), que abarca la estructura genética y los recuerdos, y el entorno (E), que comprende tanto el ámbito físico como el social. Por lo tanto, nuestras reacciones y respuestas varían en diferentes entornos, y no todos interactúan con el mismo espacio de manera idéntica⁶².

Comprender esta interdependencia entre la biología, la influencia ambiental y las respuestas individuales arroja luz sobre la complejidad inherente al comportamiento humano. Subraya la naturaleza dinámica de nuestras interacciones con el medio ambiente, dando forma a nuestras percepciones, acciones y resultados de comportamiento de una manera profundamente individualizada.

Explorando la interacción entre los recuerdos innatos y aprendidos en el comportamiento humano

En la encrucijada de la filosofía y la neurociencia se encuentra un debate eterno: *¿los humanos nacemos como pizarras en blanco, desprovistos de programación inherente, o estamos inherentemente codificados con rasgos predeterminados?* En el panorama contemporáneo, el punto de vista más ampliamente adoptado converge en una síntesis: los humanos somos una amalgama de instintos predispuestos y experiencias aprendidas.

La memoria, aspecto fundamental, moldea nuestros sistemas, influyendo en funciones futuras. Comprende dos componentes entrelazados: recuerdos innatos, grabados en nuestro código genético a lo largo de eones de evolución, y recuerdos aprendidos, meticulosamente registrados dentro de los intrincados circuitos del cerebro. Juntos, estos recuerdos dan forma intrincada a nuestros comportamientos, percepciones y respuestas a estímulos, abarcando entradas del entorno físico.

Memorias innatas: Incrustadas en nuestro modelo genético, estas memorias son anteriores a nuestros encuentros sensoriales iniciales, impresas a lo largo del prolongado curso de la evolución. Estos recuerdos innatos, compartidos entre los miembros de la especie, abarcan comportamientos y necesidades primarias, y dan forma a nuestras respuestas a los estímulos. Por ejemplo, los seres humanos de diversas culturas exhiben tendencias universales, como buscar sustento para reponer los niveles de glucosa o sincronizar ritmos biológicos con la luz y la oscuridad. Estudios pioneros realizados por el psicólogo Paul Ekman revelaron expresiones faciales compartidas incluso entre culturas aisladas, lo que ilustra la universalidad de ciertas emociones que trascienden las fronteras culturales⁶³.

Recuerdos aprendidos: formados a lo largo de nuestras vidas, desde los momentos iniciales después del nacimiento hasta nuestras experiencias finales, los recuerdos aprendidos

constituyen otra faceta de nuestro tapiz conductual. Estos recuerdos, categorizados en macrotipos culturales y personales, esculpen aún más nuestras respuestas y percepciones. Los recuerdos culturales, difundidos entre diferentes grupos, reflejan experiencias compartidas, mientras que los recuerdos personales tallan narrativas individuales. Ambos recuerdos aprendidos influyen significativamente en nuestros comportamientos, percepciones y necesidades.

Por ejemplo, la sociedad contemporánea es testigo de la identificación de necesidades como la conectividad Wi-Fi, emblemática de cómo los recuerdos aprendidos, arraigados en la cultura y el estilo de vida, influyen en las expectativas y necesidades modernas. Esto da fe del impacto generalizado de los recuerdos aprendidos, que dan forma a nuestros deseos y demandas colectivas, subrayados por la relación simbiótica entre la cultura, las experiencias personales y las inclinaciones conductuales.

Al analizar la interacción laberíntica entre los recuerdos innatos y aprendidos, desentrañamos el intrincado tapiz del comportamiento humano, reconociendo la fusión de predisposiciones inherentes y experiencias aprendidas en la configuración de nuestras respuestas e interacciones con el mundo⁶³.

Integración de la dinámica de la memoria en el Diseño Arquitectónico y Urbano: un enfoque holístico

Cuando nos embarcamos en proyectos de arquitectura, diseño y planificación urbana, la consideración de la memoria (tanto innata como adquirida) se vuelve fundamental. Sin embargo, el grado en que estos recuerdos influyen en los proyectos espaciales puede variar significativamente, especialmente en lo que respecta a espacios que atienden a poblaciones diversas de usuarios. Proyectos como hospitales, restaurantes, escuelas y museos dependen principalmente de memorias aprendidas culturales y primitivas, excluyendo los matices de las experiencias personales. Sin embargo, en el caso de proyectos de menor escala, como residencias unifamiliares, el panorama se amplía para abarcar los tres tipos de memoria: aprendizaje primitivo, cultural y personal⁶⁴.

Entonces, llega el momento del diseño basado en evidencias (EBD), una metodología arraigada en la investigación científica destinada a optimizar los resultados en proyectos arquitectónicos. Este enfoque versátil, aplicable a diversas tipologías de edificios, no busca suplantar el ingenio creativo de arquitectos y diseñadores. Más bien, actúa como un andamio, reforzando los procesos de toma de decisiones y la formulación de estrategias, desde la conceptualización hasta los detalles de los acabados y el mobiliario⁶⁵.

Mientras que los elementos convencionales como los requisitos técnicos, la funcionalidad, la estética y los marcos legales tradicionalmente guían los proyectos, EBD introduce una dimensión innovadora. Amalgama la evidencia científica y la experiencia humana como principios rectores en el diseño, armonizando la funcionalidad y el bienestar holístico en marcos temporales inmediatos y prolongados.

“Paralelamente a la medicina basada en evidencias, en la que los profesionales de la salud dependen cada vez más de los datos disponibles para diagnósticos y tratamientos, la toma de decisiones de diseño basada en evidencias captura la imaginación de los diseñadores. Empodera a los profesionales del diseño al colocar conocimientos derivados de la investigación, incluidos los datos E-B, en el corazón de los procesos de toma de decisiones”, exponía Zeisel en el 2006.

Esta integración de la dinámica de la memoria y la adopción de principios basados en evidencias en las prácticas de diseño presentan una trayectoria prometedora, amplificando el potencial para crear espacios que resuenan con las sensibilidades innatas y las experiencias aprendidas de los usuarios, fomentando así entornos que combinan la funcionalidad con una profunda atención centrada en el ser humano: bienestar.

El Proyecto Pabellón Neumático: un estudio de caso en Neuroarquitectura

Introducción al Pabellón Neumático: una Maravilla Neuroarquitectónica

El Pabellón Neumático surge como una iniciativa innovadora en el ámbito de la neuroarquitectura, un campo donde las complejidades del diseño arquitectónico se cruzan con los matices del comportamiento humano. Este proyecto, que se distingue por su uso innovador de estructuras infladas con aire, presenta un entorno único que interactúa dinámicamente con sus usuarios, ofreciendo una experiencia que trasciende las normas arquitectónicas tradicionales⁶⁶.

Filosofía del Diseño e Integración Neuroarquitectónica

En el corazón del diseño del Pabellón Neumático se encuentra el principio de la neuroarquitectura, una fusión de neurociencia y experiencia arquitectónica. Este proyecto se basa en la idea de que nuestro entorno ejerce una profunda influencia en nuestro estado mental, emociones y comportamiento. El pabellón, con sus formas y volúmenes en constante cambio, pretende invocar un espectro de experiencias sensoriales y reacciones emocionales de sus visitantes⁶⁷.

El uso de materiales suaves y maleables en el diseño del pabellón permite un entorno fluido y adaptable. Esta constante transformación del paisaje del pabellón no es simplemente una hazaña visual: está diseñado estratégicamente para activar la respuesta del cerebro a estímulos novedosos e impredecibles⁶⁸. Las formas cambiantes del pabellón desafían las percepciones espaciales de los visitantes, fomentando una sensación de descubrimiento e interacción.

Dinámicas de Comportamiento en Respuesta al Pabellón

El Pabellón Neumático funciona como un laboratorio dinámico para observar y comprender el comportamiento humano en un espacio arquitectónico en evolución. Los visitantes encuentran una variedad de emociones, que van desde la curiosidad hasta la alegría,

mientras se mueven a través de la estructura inflable. El diseño promueve naturalmente el movimiento, la exploración y la interacción social, desafiando la naturaleza estática de los espacios arquitectónicos convencionales.

Las observaciones dentro del pabellón indican que este entorno dinámico activa áreas del cerebro relacionadas con la conciencia espacial, el procesamiento de novedades y la integración sensorial. El hipocampo, crucial para la navegación espacial y la memoria, se estimula particularmente a medida que los visitantes crean nuevos recuerdos espaciales en este entorno distintivo⁶⁹.

Impacto en la Interacción Social y el Bienestar Emocional

Un impacto clave del Pabellón Neumático es su influencia en el comportamiento social y la salud emocional. El atractivo y divertido diseño del pabellón cultiva un sentido de comunidad y colaboración entre sus usuarios. Se convierte en un espacio donde las interacciones sociales se desarrollan de maneras novedosas e inesperadas, impulsadas por la experiencia colectiva de explorar este entorno único.

Además, el pabellón incide positivamente en el bienestar emocional. Su novedad y atractivo estético ofrecen alegría y asombro, brindando beneficios terapéuticos y aliviadores del estrés. Esto está en línea con los principios neuroarquitectónicos, que abogan por espacios que satisfagan las necesidades funcionales y al mismo tiempo mejoren la salud mental y emocional⁷⁰.

Conclusión: el Futuro de la Neuroarquitectura y el Diseño Conductual

El Pabellón Neumático es un testimonio del potencial de la neuroarquitectura en la creación de espacios que moldean activamente el comportamiento humano y los estados emocionales. Ejemplifica cómo el diseño arquitectónico puede extenderse más allá de los aspectos estéticos y funcionales para convertirse en una fuerza impulsora para la interacción social, la exploración y el enriquecimiento emocional.

A medida que se profundiza la exploración de la interacción entre la arquitectura y la neurociencia, proyectos como el Pabellón Neumático abrirán el camino hacia diseños más innovadores y empáticos. Estos diseños futuros no sólo cautivarán visual y funcionalmente, sino que también resonarán con las necesidades cognitivas y emocionales de los individuos, influyendo positivamente en el comportamiento. El horizonte de la neuroarquitectura promete entornos que se alinean con nuestro marco neurológico, mejorando nuestras experiencias diarias y enriqueciendo nuestra calidad de vida⁷¹.

Limitaciones metodológicas de la investigación existente en Neuroarquitectura

Una revisión de Higuera-Trujillo *et al.* (2021) destacaron varias limitaciones en la investigación neuroarquitectónica actual. En particular, los estudios se centran predominantemente en la estética arquitectónica y descuidan aspectos como la ergonomía y la funcionalidad, lo que limita la comprensión integral de la dimensión cognitivo-emocional de la

arquitectura⁷². Además, la baja validez ecológica de los métodos establecidos de imágenes cerebrales restringe la movilidad durante la recopilación de datos, lo que reduce la relevancia ecológica de los hallazgos.

Para abordar estas limitaciones, existe un llamado a que la neuroarquitectura se alinee con la psicología ecológica, integrando enfoques de imágenes cerebrales móviles. La arquitectura implica inherentemente experiencias encarnadas, lo que enfatiza la necesidad de metodologías de investigación que reflejen estas propiedades⁷³.

Ampliación de la Pregunta de Investigación de la Estética a la Ergonomía Utilizando el Marco de la Psicología Ecológica

La psicología ecológica, iniciada por J. J. Gibson (1904-1979) y E. J. Gibson (1910-2002), presenta un enfoque encarnado y no representacionista de la cognición (Richardson *et al.*, 2008; Lobo *et al.*, 2018). Este marco desafía las dualidades tradicionales entre percepción y acción, tratándolas como procesos recíprocos y continuos. La percepción, desde este punto de vista, es una exploración activa de las posibilidades de acción ambiental, denominadas “capacidades”^{74, 75, 76}. Las posibilidades se refieren a oportunidades de acción que ofrece el entorno a un agente. Son relativos y específicos del contexto, y surgen de la relación organismo-ambiente⁷⁷. El estudio de Warren (1984) sobre escaleras escalables ejemplifica este enfoque, revelando cómo las posibilidades dependen de las proporciones de escala corporal y de las capacidades del perceptor⁷⁸. Esta perspectiva desafía la separación entre mente y cuerpo, enfatizando que la arquitectura da forma a la percepción ambiental a través de posibilidades de acción. La integración de las posibilidades con la ergonomía en la investigación de neuroarquitectura permite investigar cómo las propiedades arquitectónicas se alinean con las capacidades incorporadas de los usuarios. Por ejemplo, las variables de la investigación podrían abarcar tanto las dimensiones ambientales (alturas de escaleras, tamaños de aberturas) como las capacidades físicas de los participantes (longitud de las piernas, cambios corporales) para comprender su complementariedad a escala ecológica⁷⁹.

En esencia, la psicología ecológica amplía las investigaciones neuroarquitectónicas más allá de la estética, acercándolas hacia una ergonomía integral. Este marco ofrece una vía prometedora para investigar la interacción entre las propiedades arquitectónicas y las habilidades incorporadas de los usuarios dentro de un paradigma ecológico y cognitivo integral.

Exploración Activa y Posibilidades Arquitectónicas

Según la psicología ecológica, los individuos perciben posibilidades a través de la exploración activa de su entorno⁸⁰. Este proceso interactivo crea un bucle de percepción-acción dentro del entorno construido. Si bien la sección anterior abordó cómo las posibilidades influyen en la exploración, esta parte se centra en cómo la exploración da forma a las posibilidades. Los beneficios arquitectónicos se perciben directamente durante el movimiento dentro de entornos construidos. Cuando los observadores permanecen estacionarios o ven la arquitectura como imágenes estáticas, las posibilidades se limitan a esa perspectiva específica⁸¹. Heras-Escribano (2019) destaca que los organismos perciben posibilidades en condiciones de exploración irrestricta e información ambiental adecuada. La exploración

activa no sólo descubre nuevas posibilidades sino que también modifica las percepciones existentes. Por ejemplo, la ilusión de la Sala Ames disminuye a través de la exploración, desafiando las suposiciones iniciales y destacando el papel de la exploración activa⁸². Este énfasis en la actividad exploratoria es fundamental tanto para descubrir como para adaptarse a las posibilidades, lo que lo convierte en un aspecto fundamental de los enfoques ecológicos para percibir las posibilidades arquitectónicas.

Convergencia de Exploración y Posibilidades en el Diseño Arquitectónico

La psicología ecológica enmarca la percepción y la acción como entrelazadas, una perspectiva crucial para comprender la interacción entre las posibilidades arquitectónicas y la exploración activa. Los ejemplos de diseño arquitectónico de Carlo Scarpa y el dúo RAA-AF ilustran cómo el diseño intencional altera los ritmos y el comportamiento del cuerpo mediante la manipulación de posibilidades⁸³. Al alinear el diseño con la exploración activa y las posibilidades, estos arquitectos crean entornos que involucran a los usuarios de maneras específicas, impactando sus estados neuroconductuales.

Imágenes móviles de cerebro y cuerpo para la Neurociencia Arquitectónica

Mobile Brain/Body Imaging (MoBI) ofrece un enfoque prometedor en neurociencia arquitectónica al permitir a los participantes interactuar activamente con los entornos durante las imágenes cerebrales⁸⁴. Este método integra la dinámica cerebral, el comportamiento motor y las interacciones ambientales para comprender la cognición natural en entornos del mundo real⁸⁵. Los estudios que emplean MoBI, como los de Banaei *et al.* (2017) y Djebbara *et al.* (2019, 2021), revelan las respuestas neuronales y las experiencias emocionales de las personas que navegan por espacios arquitectónicos. Estas investigaciones aclaran cómo las posibilidades arquitectónicas influyen en la dinámica del cerebro y el comportamiento en tiempo real, vinculando la percepción, la acción y el procesamiento neuronal.

La neuroarquitectura es un campo floreciente, pero enfrenta dos limitaciones metodológicas⁸⁵. Las investigaciones existentes a menudo se centran en la estética, descuidando otros aspectos arquitectónicos críticos. Además, los métodos convencionales de imágenes cerebrales limitan a los participantes a posiciones estacionarias, lo que dificulta las interacciones naturales con su entorno.

Este artículo postuló que la integración de conceptos de psicología ecológica como la asequibilidad y la exploración activa podría ampliar el alcance de la neuroarquitectura para abarcar la ergonomía arquitectónica. Al hacerlo, amplía el marco teórico y empírico, profundizando tanto en la funcionalidad como en la belleza de la arquitectura mientras examina los mecanismos neuronales subyacentes. Esto requiere soluciones tecnológicas novedosas para capturar la dinámica del cerebro humano durante la interacción activa con entornos construidos.

Las técnicas emergentes de imágenes cerebrales, como Mobile Brain/Body Imaging (MoBI), que se alinean con los principios de exploración de la psicología ecológica, superan estas limitaciones y mejoran la validez ecológica de la investigación neurocientífica en arquitectura. Estos avances allanaron el camino para estudios experimentales más realistas en neuroarquitectura. Los estudios MoBI existentes ofrecen información sobre cómo el cerebro percibe el entorno, mejorando potencialmente el diseño arquitectónico para una mejor salud y bienestar humanos.

Conclusión

Si bien la neuroarquitectura es un campo floreciente, enfrenta ciertos desafíos metodológicos, como lo destacan Higuera-Trujillo *et al.* (2021). Una limitación significativa en la investigación actual en neurociencia arquitectónica es su enfoque predominantemente en la estética, descuidando otros elementos arquitectónicos vitales. Además, el uso predominante de técnicas de imágenes cerebrales a menudo requiere que los participantes permanezcan inmóviles, lo que dificulta la interacción natural con los entornos arquitectónicos. Pues, en este artículo, se propone que la integración de conceptos de la psicología ecológica, como la asequibilidad y la exploración activa, podría ampliar el alcance de la investigación neuroarquitectónica. Esta ampliación abarcaría aspectos como la ergonomía arquitectónica, enriqueciendo así las bases teóricas y empíricas del campo. Este enfoque aboga por un examen holístico de la arquitectura, considerando tanto su utilidad como su atractivo estético, y profundizando en los mecanismos neuronales subyacentes a estas facetas. Así, se sugiere que la definición operativa de variables relacionadas con la ergonomía arquitectónica podría basarse en la interacción entre las características ambientales y las capacidades físicas de los individuos, así como el ciclo percepción-acción durante la exploración arquitectónica. Sin embargo, este enfoque requiere avances tecnológicos innovadores en imágenes cerebrales para capturar la dinámica del cerebro humano durante la interacción activa con entornos construidos.

Las tecnologías emergentes de imágenes cerebrales, como Mobile Brain/Body Imaging (MoBI), ofrecen una solución. Al incorporar los principios de exploración de la psicología ecológica en diseños experimentales, MoBI trasciende las limitaciones de los métodos tradicionales de imágenes cerebrales estacionarias, mejorando la validez ecológica de la investigación neurocientífica. La aplicación de MoBI en la investigación de neuroarquitectura ya ha arrojado información sobre cómo el cerebro procesa los estímulos ambientales, proporcionando datos valiosos que pueden informar las prácticas y estándares de diseño arquitectónico para mejorar la salud y el bienestar humanos.

En conclusión, este artículo describe un marco metodológico integral que fusiona la psicología ecológica con técnicas avanzadas de neurociencia para la investigación empírica en neuroarquitectura. Este enfoque integrado tiene como objetivo ampliar la gama de preguntas de investigación dentro del campo y mejorar la validez ecológica de los estudios experimentales. La adopción de este marco es muy prometedora para avanzar en el campo de la neuroarquitectura.

Referencias Bibliográficas

1. Karakas, T., & Yildiz, D. (2020). Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: a systematic review. *Front. Archit. Res.*, 9, pp. 236-247. doi: 10.1016/j.foar.2019.10.005.
2. Eberhard, J.P. (2009b). *Brain Landscape the Coexistence of Neuroscience and Architecture*. Oxford: Oxford University Press.
3. Eberhard, J.P. (2009a). Applying neuroscience to architecture. *Neuron*, 62, pp. 753-756. doi: 10.1016/j.neuron.2009.06.001.
4. Ezzat Ahmed, D., & Kamel, S. (2021). Exploring the contribution of neuroarchitecture in learning environments design “a review”. *Int. J. Archit. Eng. Urban Res.*, 4, pp. 102-119. doi: 10.2478/dfl-2014-0018.
5. Fazio, M.W., Moffett, M., & Wodehouse, L. (2008). *A World History of Architecture*. Londres: Laurence King.
6. Pollio, V. (1914). *Vitruvius, the Ten Books on Architecture*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
7. Fazio, M.W., Moffett, M., & Wodehouse, L. (2008). *A World History of Architecture*. Londres: Laurence King.
8. Rutherford, I. (ed.) (2016). *Greco-Egyptian Interactions: Literature, Translation, and Culture, 500 BCE-300 CE*. Oxford: Oxford University Press.
9. Stendhal (2010). *Rome, Naples and Florence*. Alma Books.
10. Frascari, M. (1983). “The tell-the-tale detail”. En *Semiotics 1981*, J.N. Deely (ed.). Boston, Massachusetts: Springer, pp. 325-336. doi: 10.5840/cpsem198115.
11. Frampton, K. (1985). *Studies in Tectonic Culture*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Graduate School of Design Cambridge.
12. Charytonowicz, J. (2000). Architecture and ergonomics. En *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44 (33). Los Angeles: SAGE Publications, pp. 6-103. doi: 10.1177/154193120004403305.
13. Dodds, G.P. (2000). *Landscape and Garden in the Work of Carlo Scarpa*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
14. Ruiz-Arellano, M. (2015, Mayo). *Hawaiian Healing Center: A Weaving of Neuro-Architecture and Cultural Practices*. Honolulu: University of Hawaii at Manoa.
15. Gramann, K., Gwin, J.T., Ferris, D.P., Oie, K., Jung, T.P., Lin, C.T., et al. (2011). Cognition in action: imaging brain/body dynamics in mobile humans. *Rev. Neurosci.* 22, pp. 593-608. doi: 10.1515/RNS.2011.047.
16. Gramann, K., McKendrick, R., Baldwin, C., Roy, R.N., Jeunet, C., Mehta, R.K., et al. (2021). Grand field challenges for cognitive neuroergonomics in the coming decade. *Front. Neuroergonom.* 2(6). doi: 10.3389/fnrgo.2021.643969.
17. Oppenheim, I., Mühlmann, H., Blechinger, G., Mothersill, I.W., Hilfiker, P., Jokeit, H., et al. (2009). Brain electrical responses to high-and low-ranking buildings. *Clin. EEG Neurosci. Biobehav. Rev.* 40, pp. 157-161. doi: 10.1177/155005940904000307.
18. Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L.B., Gonzalez-Mora, J.L., Leder, H., et al. (2015). Architectural design and the brain: effects of ceiling height and perceived

- enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. *J. Environ. Psychol.* 41, pp. 10-18. doi: 10.1016/j.jenvp.2014.11.006.
19. Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L.B., Leder, H., Modroño, C., *et al.* (2013). Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 110 (Suppl. 2), pp. 10446-10453. doi: 10.1073/pnas.1301227110.
 20. Kirk, U., Skov, M., Hulme, O., Christensen, M.S., & Zeki, S. (2009b). Modulation of aesthetic value by semantic context: an fMRI study. *Neuroimage*, 44, pp. 1125-1132. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.10.009.
 21. Shemesh, A., Leisman, G., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2021). A neurocognitive study of the emotional impact of geometrical criteria of architectural space. *Archit. Sci. Rev.*, 64, pp. 394-407.
 22. Martínez-Soto, J., Gonzales-Santos, L., Pasaye, E., & Barrios, F.A. (2013). Exploration of neural correlates of restorative environment exposure through functional magnetic resonance. *Intell. Build. Int.*, 5, pp. 10-28. doi: 10.1080/17508975.2013.807765>.
 23. Fich, L.B., Jönsson, P., Kirkegaard, P.H., Wallergård, M., Garde, A.H., & Hansen, Å (2014). Can architectural design alter the physiological reaction to psychosocial stress? a virtual TSST experiment. *Physiol. Behav.*, 135, pp. 91-97. doi: 10.1016/j.physbeh.2014.05.034.
 24. Chen *et al.*, 2016.
 25. Chen, Z., Schulz, S., He, X., & Chen, Y. (2016). *A pilot experiment on affective multiple biosensory mapping for possible application to visual resource analysis and smart urban landscape design.* REAL CORP 2016, CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning.
 26. Andreassi, J.L. (2001). Psychophysiology: human behavior and physiological response. *J. Psychophysiol.*, 40(1), pp. 89-91.
 27. Erkan, İ. (2018). Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG). *Architect. Sci. Rev.*, 61, pp. 410-428
 28. Hollander J.B., & Foster, V. (2016a). Brain responses to architecture and planning: a preliminary neuro-assessment of the pedestrian experience in Boston, Massachusetts. *Architect. Sci. Rev.*, 59, pp. 474-481.
 29. Hollander, J.B., *et al.* (2019). Seeing the city: using eye-tracking technology to explore cognitive responses to the built environment. *J. Urban. Int. Res. Placemaking Urban Sustain.*, 12, pp. 156-171.
 30. Kambli, I., *et al.* (2018). Wellness by design: thoughts on reshaping Brussels' public realm. *J. Urban Des. Ment. Heal.*, 5, p. 13.
 31. Crick, F.H. (1979). Thinking about the brain. *Scientific American*, 241(3), pp. 219-232.
 32. Evans, G.W. (2003). The built environment and mental health. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 80(4), pp. 536-555.
 33. Fink, G. (2016). Stress, definitions, mechanisms, and effects outlined: Lessons from anxiety. En G. Fink (ed.), *Stress: Concepts, cognition, emotion, and behavior*, pp. 3-11. Elsevier Academic Press.
 34. Fox, P.T., & Friston, K.J. (2012). Distributed processing; distributed functions? *NeuroImage*, 61(2), pp. 407-426.

35. Kirsch, L.P., Urgesi, C., & Cross, E.S. (2016). Shaping and reshaping the aesthetic brain: Emerging perspectives on the neurobiology of embodied aesthetics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 62, pp. 56-68.
36. Lambert, G.W., Reid, C., Kaye, D.M., Jennings, G.L., & Esler, M.D. (2002).
37. Selye, H. (1936). A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*, 138(32).
38. Selye, H. (1974). *Stress without distress*. Philadelphia: J.B. Lippincott Co. Gibson, (1966).
39. Shan, Z.Y., Liu, J.Z., Sahgal, V., Wang, B., & Yue, G.H. (2005). Selective atrophy of left hemisphere and frontal lobe of the brain in old men. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(2), pp. 165-174.
40. Savic, I. (2015). Structural changes of the brain in relation to occupational stress. *Cerebral Cortex* (Nueva York: 1991), 25(6), pp. 1554-1564.
41. Strimbu, K., & Tavel, J.A. (2010). What are biomarkers?, 5(6), pp. 463-466.
42. <https://behnazfarahi.com/synapse/>.
43. Niezabitowska, E. (2018). *Research Methods and Techniques in Architecture*. Routledge.
44. Szabo, S., Tache, Y., & Somogyi, A. (2012). The legacy of Hans Selye and the origins of stress research: a retrospective 75 years after his landmark brief “letter” to the editor# of Nature. *Stress* (Amsterdam), 15(5), pp. 472-478.
45. Tan, S.Y., & Yip, A. (2018). Hans Selye (1907-1982): Founder of the stress theory. *Singapore Medical Journal*, 59(4), pp. 170-171
46. Vive, S., Af Geijerstam, J.L., Kuhn, H.G., & Bunketorp-Käll, L. (2020). Enriched, Task-Specific Therapy in the Chronic Phase After Stroke: An Exploratory Study. *Journal of Neurologic Physical Therapy: JNPT*, 44(2), pp. 145-155.
47. Aftanas, L., & Golocheikine, S. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neurosci. Lett.*, 310, pp. 57-60. doi:10.1016/S0304-3940(01)02094-8.
48. Barrett, L.F., Bar, M. (2009). See it with feeling: affective predictions during object perception. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 364, pp. 1325-1334. doi:10.1098/rstb.2008.0312.
49. Cela-Conde, C.J., et al. (2004). Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 101, pp. 6321-6325. doi:10.1073/pnas.0401427101.
50. Cela-Conde, C.J., et al. (2004). Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 101, pp. 6321-6325. doi:10.1073/pnas.0401427101.
51. Doppelmayr, M., et al. (1998). Individual differences in brain dynamics: important implications for the calculation of event-related band power. *Biol. Cybern.* 79, pp. 49-57. doi:10.1007/s004220050457.
52. Freedberg, D., & Gallese, V. (2007). Motion, emotion and empathy in esthetic experience. *Trends Cogn. Sci.*, 11, pp. 197-203. doi:10.1016/j.tics.2007.02.003.
53. Greene, C.M., Flannery, O., & Soto, D. (2014). Distinct parietal sites mediate the influences of mood, arousal, and their interaction on human recognition memory. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, 14, pp. 13271339. doi:10.3758/s13415-014-0266-y.

54. Jacobsen, T., *et al.* (2006). Brain correlates of aesthetic judgment of beauty. *Neuroimage*, 29, pp. 276-285. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.07.010.
55. Kawabata, H., & Zeki, S. (2004). Neural correlates of beauty. *Neurophysiology*, 91, pp. 1699-1705. doi:10.1152/jn.00696.2003.
56. Lacey, S., *et al.* (2011). Art for reward's sake: visual art recruits the ventral striatum. *Neuroimage*, 55, pp. 420-433. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.027.
57. Lindal, P.J., & Hartig, T. (2013). Architectural variation, building height, and the restorative quality of urban residential streetscapes. *J. Environ. Psychol.*, 33, pp. 26-36. doi:10.1016/j.jenvp.2012.09.003
58. Mallgrave, H.F., & Ikonomidou, E. (1994). *Empathy, form, and space: Problems in German aesthetics*, pp. 1873-1893. Santa Monica: Getty Center for the History of Art and the Humanities.
59. Salmi, J., *et al.* (2014). Posterior parietal cortex activity reflects the significance of others' actions during natural viewing. *Hum. Brain. Mapp.*, 35, pp. 4767-4776. doi:10.1002/hbm.22510.
60. Sanchez-Vives, M.V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nat. Rev. Neurosci.*, 6, pp. 332-339. doi:10.1038/nrn1651.
61. Sbriscia-Fioretti, B., *et al.* (2013). ERP Modulation during observation of abstract paintings by Franz Kline. *PLoS ONE*, 8(e75241). doi:10.1371/journal.pone.0075241.
62. Stamps, A.E. (1999). Physical determinants of preferences for residential facades. *Enviro. Behav.*, 31, pp. 723-751. doi:10.1177/00139169921972326.
63. Umilta, M.A., *et al.* (2012). Abstract art and cortical motor activation: an EEG study. *Front. Hum. Neurosci.*, 6(311). doi:10.3389/fnhum.2012.00311.
64. Vartanian, O., & Goel, V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *Neuroreport*, 15, pp. 893-897.
65. Vartanian, O., *et al.* (2013). Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 110, pp. 10446-10453. doi:10.1073/pnas.1301227110.
66. https://www.behance.net/gallery/18992053/Pneumatic-Pavilion?locale=es_ES.
67. Hinshaw, S.P., & Cicchetti, D. (2000). Stigma and mental disorder: Conceptions of illness, public attitudes, personal disclosure, and social policy. *Development and Psychopathology*, 12(4), pp. 555-598.
68. Koger, S.M., & Winter, D.D. (2018). *The Psychology of Environmental Problems: Psychology for Sustainability*. New York Psychology Press, 2011. United Nations, Population Division, World Urbanization Prospects. <https://www.esa.un.org/unpd/wup>.
69. (2015). Exploration of beneficial environmental effects. *Biomédica*, 35, pp. 46-57.
70. De Bloom, J., Kinnunen, U., & Korpela, K. (2014). Exposure to nature versus relaxation during lunch breaks and recovery from work: Development and design of an intervention study to improve workers' health, well-being, work performance and creativity. *BMC Public Health*, 14(1): 488.
71. Steel, Z., *et al.* (1980-2013: 2014). The global prevalence of common mental disorders: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Epidemiology*, 43, pp. 476-493.

72. Higuera-Trujillo, J. L., Llinares, C., & Macagno, E. (2021). The cognitive-emotional design and study of architectural space: a scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches. *Sensors*, 21(2193). doi: 10.3390/s21062193.
73. Pektaş, Ş.T. (2021). A scientometric analysis and review of spatial cognition studies within the framework of neuroscience and architecture. *Archit. Sci. Rev.*, 64, pp. 1-9.
74. Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
75. Gibson, J.J. (1977). The theory of affordances. En R. Shaw & J. Bransford (eds.), *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*, pp. 67-82, Mahwah: Lawrence Erlbaum.
76. Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
77. Chemero, A. (2003). An outline of a theory of affordances. *Ecol. Psychol.* 15, pp. 181-195. doi: 10.4324/9780203726655-5.
78. Warren, W.H. (2006). The dynamics of perception and action. *Psychol. Rev.* 113(358).
79. Warren, W.H.Jr., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 13(371). doi: 10.1037//0096-1523.13.3.371
80. Michaels, C.F., & Palatinus, Z. (2014). A ten commandments for ecological psychology, pp. 19-28. En L. Shapiro (ed.), *The Routledge Handbook of Embodied Cognition*. Abingdon: Routledge.
81. Heft, H. (2010). Affordances and the perception of landscape, pp.9-32. En C.W. Thompson & P. Aspinall (eds.), *Innovative Approaches to Research Landscape Health: Open Space: People Space 2*. Abingdon: Routledge.
82. Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
83. Dodds, G.P. (2000). *Landscape and Garden in the Work of Carlo Scarpa*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
84. Gramann, K., et al. (2011). Cognition in action: imaging brain/body dynamics in mobile humans. *Rev. Neurosci.*, 22, pp. 593-608. doi: 10.1515/RNS.2011.047.
85. Higuera-Trujillo, J.L., Llinares, C., & Macagno, E. (2021). The cognitive-emotional design and study of architectural space: a scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches. *Sensors*, 21(2193). doi: 10.3390/s21062193.

Abstract: In an increasingly fast-paced and urbanised world, the spaces we inhabit have a profound impact on our well-being and productivity. This article explores the fascinating field of neuroarchitecture, which focuses on how spatial design can influence our mental and emotional states. The choice of this topic is rooted in the pressing problem of declining well-being and productivity in contemporary built environments. As urbanisation continues to grow, it has become crucial to address the disconnect between our environment and our well-being. The main objective of this research is to investigate how the principles of neuroarchitecture can be applied to improve well-being and productivity in a variety

of environments, from homes and offices to public spaces and healthcare facilities. By understanding neurological and psychological responses to different design elements, the aim is to develop evidence-based guidelines for architects and designers to create spaces that promote positive outcomes. The methodology employed in this study involves a comprehensive literature review of existing research on neuroarchitecture, neurobiology and environmental psychology. In addition, case studies of real-world architectural projects will be analysed to illustrate the practical implementation of neuroarchitectural principles.

Keywords: Neuroarchitecture - Neuroscience - User experience - Emotional design - Spatial design - Spatial design

Resumo: Em um mundo cada vez mais acelerado e urbanizado, os espaços que habitamos têm um impacto profundo em nosso bem-estar e produtividade. Este artigo explora o fascinante campo da neuroarquitetura, que se concentra em como o design espacial pode influenciar nossos estados mentais e emocionais. A escolha desse tópico está enraizada no problema urgente do declínio do bem-estar e da produtividade nos ambientes construídos contemporâneos. Como a urbanização continua a crescer, tornou-se crucial abordar a desconexão entre nosso ambiente e nosso bem-estar. O principal objetivo desta pesquisa é investigar como os princípios da neuroarquitetura podem ser aplicados para melhorar o bem-estar e a produtividade em diversos ambientes, desde residências e escritórios até espaços públicos e instalações de saúde. Ao compreender as respostas neurológicas e psicológicas a diferentes elementos de design, o objetivo é desenvolver diretrizes baseadas em evidências para que arquitetos e designers criem espaços que promovam resultados positivos. A metodologia empregada neste estudo envolve uma revisão abrangente da literatura de pesquisas existentes sobre neuroarquitetura, neurobiologia e psicologia ambiental. Além disso, serão analisados estudos de caso de projetos arquitetônicos do mundo real para ilustrar a implementação prática dos princípios da neuroarquitetura.

Palavras-chave: Neuroarquitetura - Neurociência - Experiência do usuário - Design emocional - Design espacial - Experiência do usuário - Design espacial
