

Museos del Futuro: Integrando Diseño, Biología y Tecnología Digital para un Bio-aprendizaje Sostenible

Diana Paola Angarita Niño ⁽¹⁾, Victoria Eugenia Rivas ⁽²⁾
y Andrea Carolina Camacho ⁽³⁾

Resumen: El artículo reflexiona sobre la necesidad de innovación y adaptabilidad en los museos contemporáneos, resaltando la importancia de un enfoque multidisciplinario que combine diseño, biología y tecnología para responder a los desafíos de un mundo en constante transformación. Se exploran conceptos como el diseño paramétrico y generativo, inspirados en estructuras biológicas, que pueden transformar la arquitectura y la experiencia del visitante en el museo. Estas metodologías, al replicar procesos de la naturaleza, permiten crear espacios más sostenibles y adaptativos, optimizando recursos y brindando una estética conectada con el entorno natural. Asimismo, se aborda el papel de la tecnología digital, incluyendo realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV), en la creación de un organicismo digital que favorezca la inmersión y la interacción del público. Por último el concepto de bio-aprendizaje se presenta como una estrategia clave para involucrar a los visitantes en temas de sostenibilidad y biodiversidad, a través de experiencias educativas interactivas. A través de una revisión bibliográfica y el análisis de casos exitosos, el artículo también discute la tensión entre tradición y contemporaneidad, reconociendo casos de éxito en los que los museos han sabido combinar elementos históricos con innovaciones tecnológicas. Finalmente, se enfatiza la importancia de la investigación multidisciplinar para desarrollar exposiciones eficientes y sostenibles que respondan a los desafíos actuales y futuros, posicionando a los museos como vehículos de conocimiento y reflexión cultural en un mundo en constante cambio.

Palabras clave: Arquitectura - Diseño paramétrico - Biomímesis - Realidad aumentada - Realidad virtual - Bioaprendizaje - Sostenibilidad - Museos - Experiencia del visitante

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 293]

⁽¹⁾ **Diana Paola Angarita Niño** es Magíster en Diseño de Experiencia de Usuario, Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Artista Plástica, Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Especialista en Arte Terapia, Instituto Universitario Nacional del Arte (IUNA). Docente investigadora en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) y docente de artes visuales en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) en la ciudad de Santa Marta, Colombia. Miembro activo del grupo de investigación CODIM y líder del semillero de investigación AINCOM. Su trabajo se centra en líneas como Gestión y Tecnología, Innovación Pedagógica y Responsabilidad Social. Ha desarrollado proyectos relacionados con diseño, experiencia de usuario e investigación-

creación en contextos multidisciplinares. Su enfoque pedagógico incluye la integración de arte, diseño y tecnología para potenciar el aprendizaje y la creatividad en sus estudiantes. CVLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001646939.  ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6775-9981>. paola.angarita@gmail.com

⁽²⁾ **Victoria Eugenia Rivas** es Arquitecta egresada de la Universidad de San Buenaventura de Cali-Colombia. Magister en Entornos Virtuales de Aprendizaje de la Universidad de Panamá. Jefe de la Unidad de Investigación y líder investigadora del programa Técnico Profesional en Producción en Diseño de Interiores de la Fundación Academia de Dibujo Profesional. Miembro activo del grupo de investigación EIDON y líder del semillero de investigación HABITAR. Su trabajo abarca investigaciones enfocadas hacia la valoración del patrimonio arquitectónico y reflexiones conceptuales y metodológicas en torno a la aplicación de principios de la Economía Circular y del Diseño Universal para la generación de soluciones espaciales, paisajísticas y/u objetuales. CVLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001465079.  ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-4368-0598>. victoriarivas22@gmail.com

⁽³⁾ **Andrea Carolina Camacho Yáñez** es Magíster en Diseño y Creación Interactiva, Universidad de Caldas (UCALDAS). Especialista en Pedagogía del Diseño, Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Profesional en Medios Audiovisuales con Énfasis en Diseño Gráfico, Politécnico Grancolombiano (Poligran). Docente investigadora en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) y experta en comunicación audiovisual, diseño y creación interactiva con fortaleza en el análisis, planeación, seguimiento y evaluación de proyectos para las Industrias Creativas y de Contenidos Digitales. Docente investigadora en nuevos espacios colaborativos makerlabs, contenidos transmedia, archivos audiovisuales e imagen-memoria. CVLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001660420.  ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-9231-7712>. acamachoyanez@gmail.com

Introducción

Los museos, tradicionalmente concebidos como santuarios del pasado, se encuentran hoy en la encrucijada de una transformación radical. En un mundo cada vez más digitalizado y consciente de su impacto ambiental, estos espacios culturales deben evolucionar para seguir siendo relevantes y atractivos. La pregunta que surge es: *¿Cómo pueden los museos adaptarse a las demandas de una sociedad en constante cambio y, al mismo tiempo, mantener su papel como guardianes del patrimonio cultural?* La respuesta a esta interrogante radica en la innovación y en la adopción de enfoques multidisciplinares. La integración de principios de diseño biomimético, tecnología digital y pedagogías innovadoras como el bio-aprendizaje ofrece un camino prometedor para reimaginar los espacios museísticos.

Al inspirarse en la naturaleza, aprovechar las posibilidades de la realidad virtual y aumentada, y fomentar la conexión con el entorno natural, los museos pueden convertirse en plataformas dinámicas para la educación, la reflexión y la inspiración. Este estudio se propone explorar cómo la convergencia de estas disciplinas puede transformar la experiencia del visitante en los museos del futuro. Nos preguntamos: *¿Cómo pueden los museos, al integrar el diseño biomimético, la tecnología digital y el bioaprendizaje, crear espacios más sostenibles, inmersivos y educativos?*. Para responder a esta pregunta, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y un análisis de casos de estudio que ilustran cómo museos de vanguardia están implementando estas innovaciones. A través de este artículo, se busca analizar cómo los principios del diseño biomimético pueden aplicarse en la arquitectura y el diseño de exposiciones museográficas para crear espacios más sostenibles y eficientes. Además, se reflexionará sobre el potencial de las tecnologías digitales, como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), para enriquecer la experiencia del visitante en museos y facilitar el acceso a la información. También se explorará el concepto de bio aprendizaje y su aplicación en contextos museísticos para fomentar la conexión entre los visitantes y el mundo natural. Finalmente, se identificarán los desafíos y oportunidades que plantea la integración de estas disciplinas en el diseño de museos, proporcionando recomendaciones para futuras investigaciones y desarrollos en el campo.

Metodología

Para llevar a cabo este estudio, se implementó una metodología que combinó una revisión sistemática de la literatura y un análisis exhaustivo de casos de estudio. La revisión bibliográfica se centró en artículos científicos recientes, capítulos de libros y tesis doctorales indexados en bases de datos como Scopus y Web of Science, utilizando palabras clave relacionadas con biomímesis, diseño paramétrico, tecnología digital y experiencias museísticas. Los casos de estudio seleccionados fueron analizados a profundidad, considerando aspectos como el diseño arquitectónico, la tecnología empleada y el impacto en la experiencia del visitante. A través de la codificación y análisis de los datos obtenidos, se identificaron patrones y tendencias en la relación entre diseño biomimético, tecnología digital y experiencias museísticas. Esta metodología permitió comprender cómo estos elementos se integran en la creación de espacios museísticos innovadores y sostenibles, así como identificar las oportunidades y desafíos asociados a esta tendencia. La investigación también consideró las limitaciones inherentes a este tipo de estudios, como el sesgo de selección en la elección de los casos de estudio y la subjetividad en el análisis de los datos cualitativos. Sin embargo, los resultados obtenidos proporcionan una visión general de las tendencias actuales en el campo y contribuyen a sentar las bases para futuras investigaciones más detalladas. Esta metodología, al combinar la revisión sistemática de la literatura con el análisis de casos de estudio, ofrece una perspectiva integral y rigurosa sobre la temática abordada.

Fundamento teórico

Diseño y Biología en Museos

La relación entre arquitectura y biología es un vínculo de larga tradición en este campo disciplinar, especialmente el del diseño; de esta relación se han derivado una serie de conceptos que empiezan a emerger en el lenguaje arquitectónico: biomímesis, arquitectura evolutiva, genética arquitectónica, diseño generativo, diseño morfogenético, morfoecologías, arquitectura de protocélulas, arquitectura generativa (Giménez, Mirás y Valentino, 2021). La biología y la arquitectura son interdependientes y se complementan mutuamente. La biología, con sus sistemas eficientes y adaptativos, ofrece un modelo de inspiración para crear soluciones arquitectónicas que respondan de manera sostenible a las necesidades humanas y medioambientales. Al mismo tiempo, la arquitectura se nutre de los principios biológicos para diseñar espacios que no solo sean funcionales, sino también respetuosos con el entorno, promoviendo un equilibrio entre lo natural y lo construido. De esta manera, el estudio de la naturaleza y su integración en la arquitectura abren nuevas posibilidades para el diseño ecológico y la innovación.

La biomímesis, derivado de “bios” (vida) y “mimesis” (imitación), se entiende como una disciplina emergente que se enfoca en estudiar las soluciones más eficientes de la naturaleza para luego replicar sus diseños y procesos con el fin de abordar desafíos humanos (Rao, 2014). La naturaleza, con su creatividad inherente, ya ha encontrado soluciones para muchos de los problemas que enfrenta el hombre; animales, plantas y microbios actúan como ingenieros expertos. En el campo de la arquitectura, la biomímesis se inspira en la naturaleza para crear entornos construidos sostenibles y eficientes. Este enfoque ha ganado cada vez más atención a medida que los diseñadores reconocen el potencial de las soluciones naturales (Jamei y Vrcelj, 2021). El concepto se extiende más allá de la mera imitación de formas, ahondando en los principios profundos de los sistemas biológicos para lograr la sostenibilidad a través de la autoorganización, la adaptación y la eficiencia (Hussein y Abbood, 2024). Al adoptar estrategias biomiméticas, los arquitectos pueden mejorar la capacidad de respuesta de los edificios a las condiciones ambientales y mejorar su rendimiento general. Este enfoque se considera una dirección prometedora para la arquitectura contemporánea y futura, que ofrece soluciones innovadoras al cambio climático y los desafíos de sostenibilidad, al tiempo que alinea los principios arquitectónicos con los que se encuentran en la naturaleza (Hussein y Abbood, 2024; Jamei y Vrcelj, 2021). Por esta razón, un proyecto de diseño que colabore con la biología puede hacer una valiosa contribución al desarrollo de la cultura del diseño sostenible, el ecodiseño y la conciencia ambiental. La biomímesis proporciona herramientas conceptuales innovadoras y originales, basadas en la naturaleza y su capacidad de resiliencia (Edwards, 2010 en Arruda y Langella, 2021).

En relación a los diferentes acercamientos que se realizan alrededor de la aplicación de principios de la biomímesis en el diseño arquitectónico, cabe ahondar en el modelo propuesto por *Biomimicry Institute* y *Janine Benyus*, quien popularizó el concepto de biomímesis en 1997 con su libro “*Biomimicry: Innovation inspired by nature*” (Dash, 2018). Este modelo propone dos miradas; una primera mirada desde el **Diseño hacia la Biología** (*Top-Down approach*) parte de identificar el problema de diseño y analizar sus funciones y el contexto en donde se desenvuelve para buscar el modelo natural que atienda dichas

funciones y contextos identificados para brindar la solución, resultado de un proceso de abstracción, emulación y evaluación (Ver Figura 1).



Figura 1.
Diseño a Biología
(Top-Down approach)
(Fuente: Nature-
Inspired Design
Processes, Lofti
2014).

Como segunda alternativa, se identifica una función particular o el comportamiento de un organismo o ecosistema y luego se transforma en diseño humano; este modelo se denomina **Biología al Diseño** (Bottom-Top approach). En este contexto, el conocimiento biológico impacta directamente en el diseño humano, el cual se caracteriza por ser un proceso colaborativo. El desarrollo del diseño se apoya, en gran medida, en los hallazgos provenientes de investigaciones biológicas pertinentes (Dash, 2018) (Ver Figura 2).

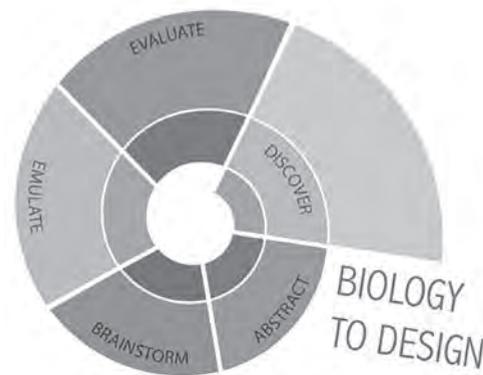


Figura 2.
Biología a Diseño
(Bottom-Top
approach) (Fuente:
Nature-Inspired
Design Processes,
Lofti 2014).

En definitiva, el diálogo entre biología y arquitectura abre un amplio campo de posibilidades para el diseño sostenible y la innovación. A través de la biomímesis, la naturaleza se convierte en una fuente inagotable de inspiración, proporcionando soluciones eficientes y resilientes que pueden ser aplicadas al entorno construido. Este enfoque no solo permite desarrollar estrategias arquitectónicas más responsables con el medio ambiente, sino que también impulsa una nueva cultura de diseño que prioriza la armonía entre lo natural y lo artificial. Al integrar el conocimiento biológico en el proceso creativo, los diseñadores no solo resuelven problemas actuales, sino que también contribuyen a una transformación profunda en la manera en que concebimos y habitamos nuestro mundo.

Dentro del contexto museográfico, la bioinspiración en el diseño y los museos ha evolucionado como un enfoque transdisciplinario, recurriendo a la naturaleza para encontrar soluciones tanto formales como funcionales a problemas de diseño complejos (Arruda y Langella, 2021); dicho enfoque abre posibilidades de intervención, no solo impactando el objeto construido, pero también en el diseño de las exhibiciones. Este proceso implica una abstracción creativa, pasando de la observación biológica a la implementación tecnológica a través del diseño iterativo y el modelado físico (Rossi, 2022).

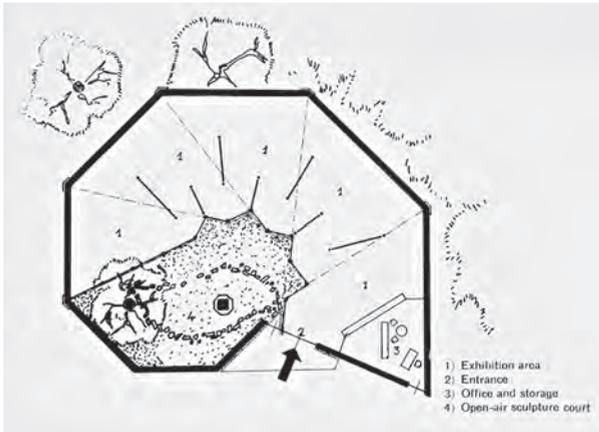
A continuación algunos museos que acogieron la bioinspiración y la biomímesis para su desarrollo arquitectónico:

- **Pabellón permanente canadiense de la Bienal de Arquitectura de Venecia**

El Pabellón Canadiense, diseñado por Enrico Peressutti en los años cincuenta, se destaca como un ejemplo de arquitectura bioinspirada. Su diseño curvilíneo, interpretado como una representación de la concha de un nautilo o una espiral de Arquímedes, refleja la búsqueda de armonía entre lo construido y lo natural. La integración de un árbol en el diseño y la abundancia de ventanas que conectan el interior con el entorno refuerzan esta intención, alineándose con principios de biomímesis que buscan replicar estructuras y formas naturales en la arquitectura.

Sin embargo, este enfoque, aunque visualmente atractivo y simbólicamente poderoso, ha sido criticado por su poca funcionalidad como espacio expositivo. La idea inicial de crear un pabellón que armonizara con su entorno natural se ha interpretado, a lo largo de los años, como una visión algo anticuada de la relación entre naturaleza y cultura, especialmente en el contexto de un espacio pensado para albergar exhibiciones. El propio tamaño reducido del pabellón y su integración con el paisaje han sido señalados como limitaciones prácticas, en contraste con los pabellones de otras naciones, que parecen expresar un poder más evidente y tangible.

A pesar de estas críticas, el Pabellón Canadiense sigue siendo un artefacto arquitectónico que refleja los intentos de fusionar arquitectura y naturaleza. Representa no sólo una interpretación estética de la naturaleza, sino también un esfuerzo por proyectar una identidad nacional que privilegia la conexión con el entorno natural, en contraste con las narrativas más imponentes de otras potencias. En este sentido, el pabellón continúa siendo un ejemplo relevante de cómo la bioinspiración puede influir en la arquitectura, aunque no siempre sin controversia en su aplicación práctica (*Ver Figuras 3 y 4*).



3

Figura 3. Plano del Pabellón Canadiense (Fuente: Herrera Hugo, 2019. Disponible en: <https://www.inuitartfoundation.org/lite/iaq-online/vantage-point-the-canada-pavilion-in-venice>).



4

Figura 4. Vista del Pabellón Canadiense (Fuente: Michon David, 2017. Disponible en: <https://canadianart.ca/features/our-pavilion/>).

- **Galería Winton en el Museo de Ciencias de Londres**

La Galería Winton del Museo de Ciencias de Londres, diseñada por Zaha Hadid en 2016, es un destacado ejemplo de diseño paramétrico, que ilustra cómo este enfoque resulta fundamental en el proceso creativo. La parametrización del modelo permite ajustar y modificar las formas de manera flexible, reconfigurando el diseño global tras cada cambio, y facilitando su construcción mediante técnicas de control numérico.

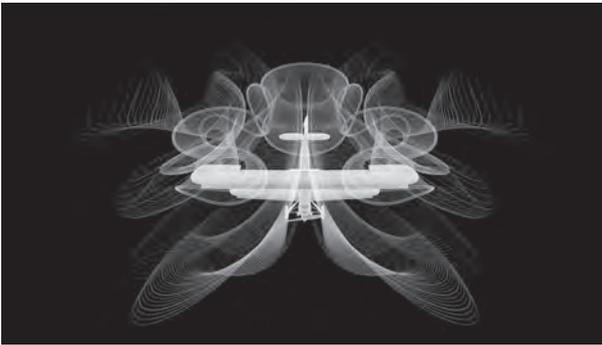
Según lo describe Escoda, *et al.* (2024), esta galería alberga una exposición permanente que muestra cómo las matemáticas han impulsado algunos de los mayores avances de la humanidad. Una de las piezas centrales es el avión experimental Handley Page Gugnunc, diseñado en 1929 para un concurso de aviones seguros. Zaha Hadid se inspiró en el ala

de esta aeronave para dar forma a la galería, lo que convierte al avión en el protagonista del espacio. El diseño toma como base las ecuaciones que describen los flujos de aire en la aviación, y el proyecto busca representar el movimiento del aire alrededor del avión en vuelo. La iluminación, estratégicamente utilizada, permite visualizar estos flujos de viento alrededor de las alas (Ver Figuras 5 y 6).



5

Figura 5.
Vista general de la galería (Fuente: Hayes, Luke (s.f.). Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/802053/matematicas-la-galeria-winton-zaha-hadid-architects>)



6

Figura 6.
Diseño conceptual de la galería (Fuente: Hayes, Luke (s.f.). Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/802053/matematicas-la-galeria-winton-zaha-hadid-architects>).

El uso del diseño paramétrico en este proyecto permite una integración armoniosa entre diferentes disciplinas, como los criterios estructurales, sociales y simulaciones de flujos, creando una simbiosis efectiva que potencia tanto la estética como la funcionalidad del espacio.

- **Zoológico de Cali**

El Zoológico de Cali, ubicado en un entorno natural privilegiado al lado del río Cali, es un excelente ejemplo de un “museo vivo” que ha adoptado principios de biomimesis y bioinspiración en su diseño y gestión. Su enfoque en la preservación de la biodiversidad colombiana, así como en la educación ambiental, se inspira en los sistemas naturales, replicando los hábitats y comportamientos de las especies que alberga. El diseño de los recintos refleja esta intención al crear espacios que no solo imitan el entorno natural de los animales, sino que también fomentan comportamientos naturales y estimulan sus instintos, lo que se alinea con los principios bioinspirados.

Esta sinergia entre biología y diseño no solo mejora la experiencia de los animales y los visitantes, sino que también educa a la sociedad sobre la importancia de respetar y aprender de la naturaleza, ejemplificando el poder de la bioinspiración en la creación de entornos más sostenibles y en armonía con el medio ambiente (Ver Figuras 7 y 8).



7

Figura 7.
Exhibición de Leones,
Zoológico de Cali
(Fuente: Herrera Hugo,
2020. Disponible en:
https://unsplash.com/es/fotos/leon-marron-y-leona-en-la-roca-5h1_OwBxLNI?utm_content=creditShareLink&utm_medium=referral&utm_source=unsplash).



8

Figura 8.
Preparación Exhibición
Asia Fantástica,
Zoológico de Cali
(Fuente: El País.
Alvarez Aymer A. 2024.
Disponible en: <https://www.elpais.com.co/cali/el-zoologico-de-cali-tendra-un-espacio-que-albergara-la-historia-cultura-y-tradicion-del-sudeste-asiatico-2529.html>).

Estos tres ejemplos muestran cómo la biomímesis y la bioinspiración en la arquitectura de museos pueden adoptar formas variadas y adaptarse a diferentes contextos. El Zoológico de Cali se enfoca en la recreación de entornos naturales, respetando los comportamientos instintivos de los animales y educando al público sobre la biodiversidad. Por otro lado, el Pabellón Canadiense en la Bienal de Venecia, aunque con una funcionalidad cuestionada, integra un diseño inspirado en las formas naturales para armonizar con su entorno. Finalmente, la Galería Winton del Museo de Ciencias de Londres utiliza el diseño paramétrico para abstraer los flujos de aire en torno a un ala de avión, logrando una representación simbólica de las matemáticas y la aerodinámica.

Cada museo demuestra un enfoque único hacia la bioinspiración: desde la simulación directa de la naturaleza hasta la abstracción de principios científicos. Esto no solo resalta la capacidad de la naturaleza para inspirar soluciones innovadoras, sino también la flexibilidad del diseño bioinspirado para adaptarse a diversos retos arquitectónicos y conceptuales. La biomímesis, por lo tanto, se consolida como una poderosa herramienta creativa que contribuye tanto a la funcionalidad como a la estética en la arquitectura museística.

Tecnología Digital, Organicismo Digital y experiencia de usuario en museos

La tecnología digital y el concepto del organicismo digital en los museos se han vuelto cada vez más importantes en los últimos años, transformando la manera en que los visitantes interactúan con las exhibiciones y mejorando la experiencia general en los museos. Los museos están incorporando tecnologías digitales para crear experiencias más inmersivas e interactivas. Esto se alinea con el concepto de organicismo digital, que busca integrar la tecnología de manera fluida en el entorno natural. El concepto de organicismo digital en los museos se refiere a la integración fluida y armoniosa de tecnologías digitales en el entorno museístico, de manera que estas tecnologías se conviertan en una extensión natural del espacio físico y de la experiencia del visitante. Este enfoque busca romper con el binarismo entre lo virtual y lo presencial, creando una experiencia híbrida y transversal que enriquece la interacción del público con las exhibiciones y el contenido del museo (Rodà, 2023).

Por ejemplo, el campo de la Arquitectura Biodigital y la Genética explora la intersección entre la biología, las herramientas digitales y la arquitectura, aplicando estos principios para crear espacios innovadores (Estévez y Navarro, 2017). Este enfoque podría adaptarse al diseño de museos, creando exhibiciones que respondan de manera orgánica a las interacciones de los usuarios. Curiosamente, mientras las tecnologías digitales avanzan rápidamente, también hay un énfasis creciente en el diseño sostenible y con inspiración en la naturaleza. El concepto de forma “ambiental-orgánica”, que amplía la definición de arquitectura orgánica, tiene como objetivo crear espacios que se abran al mundo natural y que sostienen tanto la vida humana como la naturaleza (Tran *et al.*, 2018). Esta filosofía podría aplicarse al diseño de museos, equilibrando las innovaciones digitales con enfoques

a la integración de la tecnología digital y el organicismo en los museos ofreciendo emocionantes posibilidades para crear exhibiciones atractivas, interactivas y sostenibles.

- **El Pabellón Nacional de la Biodiversidad** en Ciudad de México, es un ejemplo destacado de arquitectura biomimética e integración con el entorno natural. Inspirado en la estructura del árbol de la vida, el edificio cuenta con una planta radial que conecta distintos espacios dedicados a la investigación, exhibición y conservación de la biodiversidad mexicana. Su fachada, compuesta por módulos de aluminio que imitan el movimiento de las hojas, responde a las condiciones climáticas y simboliza la adaptación de los seres vivos. El interior alberga colecciones biológicas, laboratorios, salas de exhibición y espacios públicos, creando un centro de aprendizaje y divulgación científica. La elección de materiales locales y sostenibles, junto con la integración del edificio con el paisaje circundante, lo convierten en un referente en arquitectura sostenible y biomimética. El Pabellón demuestra cómo la arquitectura puede ser utilizada para crear espacios que no sólo son estéticamente atractivos, sino también educativos y sostenibles. Al integrar elementos de la naturaleza y la tecnología, este tipo de edificios pueden inspirar a las personas a valorar y proteger el medio ambiente (*Ver Figura 9*).



Figura 9.

Pabellón Nacional de la Biodiversidad / Fernanda Ahumada + FREE (Disponible en: ArchDaily Colombia, Noviembre 2024 <https://www.archdaily.co/1005018/pabellon-nacional-de-la-biodiversidad-fernanda-ahumada-plus-free>. ISSN 0719-8914).

- Otro ejemplo, es el **Proyecto Edén**, un hito en la arquitectura biomimética, es un jardín botánico ubicado en Cornwall, Inglaterra. Este complejo de invernaderos geodésicos, diseñados por Nicholas Grimshaw, recrea diversos ecosistemas del planeta, desde selvas tropicales hasta climas templados. La estructura de los invernaderos, inspirada en las formas orgánicas de la naturaleza, se integra perfectamente con el paisaje circundante. Además de su belleza arquitectónica, el Proyecto Edén destaca por su enfoque en la sostenibilidad, utilizando materiales reciclados y energías renovables. Este espacio no solo es un lugar para admirar la diversidad de la flora mundial, sino también un centro educativo que promueve la conciencia ambiental y la importancia de preservar nuestro planeta.

Al combinar herramientas digitales de vanguardia con principios de diseño orgánico, los museos pueden brindar a los visitantes experiencias únicas que unan la brecha entre la tecnología y la naturaleza, mientras abordan también las preocupaciones ambientales. En este sentido la tecnología digital está transformando la experiencia del usuario en los museos, facilitando un diseño más orgánico y dinámico que promueve una mayor interacción y compromiso de los visitantes (Ver Figura 10).



Figura 10. Eden Project (Fuente: <https://www.edenproject.com>).

Museos, tecnologías y experiencia del visitante

Los museos están incorporando cada vez más tecnologías digitales para mejorar la experiencia del visitante. Por ejemplo, el uso de showcases holográficos permite crear un vínculo más fuerte entre los contenidos reales y virtuales, haciendo que los objetos exhibidos cobren “vida” en la percepción de los visitantes (Pagano *et al.*, 2021). Esto crea una experiencia de realidad mixta más inmersiva y atractiva. Asimismo, el uso de aplicaciones móviles y tours virtuales está enriqueciendo la visita presencial y captando nuevas au-

diencias (Palumbo, 2023). Sin embargo, es importante evaluar cuidadosamente el impacto de estas tecnologías. Algunos estudios han encontrado que las tecnologías disponibles en museos, como audioguías y quioscos interactivos, contribuyen positivamente a la experiencia del pasado (Pallud y Monod, 2010). No obstante, otros advierten sobre posibles efectos adversos en el patrimonio cultural que deben manejarse con cuidado (Palumbo, 2023). Es crucial encontrar un equilibrio entre innovación tecnológica y preservación de la autenticidad. La tecnología digital ofrece oportunidades sin precedentes para crear experiencias de usuario más orgánicas y dinámicas en los museos. Herramientas como la realidad aumentada, los gemelos digitales y los sistemas de recomendación personalizados permiten extender la conexión entre visitantes y colecciones (Li y Liew, 2015). Sin embargo, es fundamental evaluar cuidadosamente su implementación para garantizar que realmente mejoren la experiencia del visitante y no comprometan la autenticidad del patrimonio cultural.

La convergencia de educación y entretenimiento, conocida como “*edutainment*”, ha llevado a los museos a adoptar tecnologías digitales para ofrecer experiencias interactivas e inmersivas (Xu & Fagan, 2023). Estas tecnologías, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), permiten crear entornos virtuales seguros, manipulables y repetibles que enriquecen las visitas físicas y fomentan el aprendizaje experiencial (Jadán-Guerrero *et al.*, 2023; Kee y Zhang, 2022). La integración de la narración digital y los juegos serios en el diseño de exposiciones puede fortalecer la creatividad de los diseñadores, mejorar la dinámica de interpretación y crear experiencias museísticas memorables (Georgiou *et al.*, 2021; Sylaiou y Dafiotis, 2020). Es interesante notar que estas tecnologías no solo mejoran la experiencia del visitante, sino que también pueden tener un impacto significativo en las emociones. La realidad virtual, por ejemplo, puede ser emocionalmente atractiva y potencialmente inducir cambios emocionales en los usuarios (Guazzaroni, 2019). Además, la inteligencia artificial (IA) está emergiendo como una herramienta poderosa para preservar el patrimonio cultural intangible, creando experiencias personalizadas e inmersivas que involucran emocionalmente a los usuarios y ayudan a revitalizar y sostener las prácticas culturales tradicionales (Bi y Nasir, 2024). Agregando a lo anterior, la integración de tecnologías de IA generativa y Realidad Mixta (MR) en los procesos de diseño de museos ofrecen posibilidades para transformar las experiencias de los visitantes. Estas tecnologías permiten la interacción en tiempo real entre espacios virtuales y físicos, lo que permite modificaciones rápidas en los diseños de las exposiciones y una mayor participación del usuario (Chen *et al.*, 2024). Este enfoque puede llevar a entornos museísticos más dinámicos y responsivos que se adapten al comportamiento y las preferencias de los visitantes. En ese sentido, la IA es utilizada en los museos para mejorar la experiencia del visitante, hacer que los museos sean más accesibles y ayudar a los museos a operar de manera más eficiente. Algunos ejemplos de cómo se utiliza la IA en los museos incluyen: el uso de *chatbots* para responder preguntas de los visitantes, el uso de reconocimiento facial para identificar a los visitantes y el uso de aprendizaje automático para analizar datos de los visitantes. Ejemplo de esto lo podemos observar en el Museo del Louvre en París que está utilizando inteligencia artificial para analizar grandes cantidades de datos sobre sus visitantes y sus obras de arte. Esto les permite personalizar las experiencias de cada individuo y optimizar la gestión de sus colecciones, mejorando así la interacción y satisfacción del

público. Este enfoque también se apoya en la digitalización y manejo de su extensa base de datos, que incluye más del 60% de sus colecciones, así mismo la irrupción de la inteligencia artificial en el ámbito museístico está redefiniendo la interacción entre el público y las obras de arte. En este sentido ejemplos como la guía del museo Ai Wenwen representa un hito en la fusión entre la tecnología y la cultura. Como la primera guía virtual del Museo Nacional de Pekín, esta inteligencia artificial ofrece una experiencia única a los visitantes. Con su capacidad para comprender y responder a preguntas complejas sobre la vasta colección del museo, Ai Wenwen democratiza el acceso al conocimiento y permite a cada individuo explorar las piezas milenarias a su propio ritmo. Este innovador proyecto demuestra cómo la inteligencia artificial puede enriquecer la experiencia museística, convirtiendo los museos en espacios más interactivos y accesibles para todos (Yan, 2024) (Ver Figura 11).



Figura 11.

Ai Wenwen, la primera guía generada por IA en el Museo Nacional de Pekín (Fuente <https://www.rtve.es/play/videos/telediario-1/guia-museo-inteligencia-artificial/7052461/>).

En esa misma línea, la implementación de simulación de ‘seres humanos digitales’, como el icónico Van Gogh del Museo de Orsay, ha permitido establecer un diálogo virtual con figuras históricas, enriqueciendo significativamente la experiencia del visitante. Estas entidades digitales, capaces de simular emociones y expresiones humanas, fomentan una conexión más profunda y personal con el patrimonio cultural, trascendiendo la mera transmisión de información. Al humanizar la experiencia museística, se logra captar la atención de las nuevas generaciones, habituadas a las interfaces digitales, y se democratiza el acceso al conocimiento de manera innovadora (Ver Figura 12).



Figura 12. Innovación en la experiencia del visitante: El Museo de Orsay y la Inteligencia Artificial Generativa. A través de un modelo de lenguaje entrenado con las cartas de Van Gogh, el museo ofrece una interacción inmersiva con el artista, permitiendo a los visitantes formular preguntas y recibir respuestas generadas por una inteligencia artificial diseñada para imitar el estilo y el conocimiento del pintor (Fuente: <https://www.musee-orsay.fr/en/articles/digital-technology-hello-vincent-275618>).

Por otra parte, se observa como tecnologías como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) están transformando significativamente la experiencia del visitante en los museos, enriqueciendo la interacción y facilitando el acceso a la información de diversas maneras: La AR y VR permiten crear exhibiciones interactivas y envolventes que mejoran el compromiso del visitante. Por ejemplo, la AR puede superponer información digital sobre objetos reales, proporcionando detalles históricos, traducciones en tiempo real y mapas interactivos (Jiman & Kulal, 2023). Esto permite a los visitantes obtener información adicional de manera intuitiva y atractiva. Por su parte, la VR ofrece experiencias inmersivas que transportan a los usuarios a entornos simulados, permitiéndoles explorar lugares inaccesibles o reconstrucciones históricas (Bordegoni *et al.*, 2020; Kentros *et al.*, 2019). Estas tecnologías también están redefiniendo la relación entre la identidad, la tecnología y el cuerpo, creando nuevas formas de hibridación entre lo físico y lo virtual (Guazzaroni, 2019). Esto puede tener un fuerte impacto en las emociones de los visitantes, mejorando la experiencia emocional y potencialmente induciendo cambios emocionales (Guazzaroni, 2019). Además, la gamificación a través de AR y VR está convirtiendo los museos en espacios de juego y creatividad, motivando el interés de los visitantes y mejorando sus habilidades de aprendizaje (Camps-Ortueta *et al.*, 2021). Ejemplo de esta integración se puede observar en el Museo de Ciencias Naturales de Londres, Reino Unido que ha creado una experiencia de realidad virtual que permite a los visitantes sumergirse en la selva amazónica y explorar la biodiversidad de este ecosistema. La experiencia utiliza sonido envolvente y gráficos realistas para crear una sensación de inmersión total (Barker, 2024) (Ver Figura 13).



Figura 13. Visiones de la Naturaleza. Museo de Ciencias Naturales de Londres (Fuente: Barker, S. 2024, octubre 23). *El Museo de Historia Natural lanza una experiencia inmersiva de realidad mixta que muestra a los visitantes el futuro del mundo natural.* Disponible en: Secret London. <https://secretldn.com/es/visiones-de-la-naturaleza-realidad-mixta-es/>.

En este sentido, la AR y VR están revolucionando la forma en que los museos presentan sus colecciones y se relacionan con sus visitantes. Estas tecnologías no solo mejoran el acceso a la información, sino que también crean experiencias más inmersivas, interactivas y emocionalmente impactantes. Al combinar el mundo real con elementos virtuales, los museos pueden ofrecer experiencias únicas que atraen a diversas audiencias, especialmente a las generaciones más jóvenes y tecnológicamente alfabetizadas (Kizi, 2024). Esto no solo enriquece la experiencia del visitante, sino que también tiene el potencial de aumentar el interés en las visitas tradicionales y fomentar una mayor apreciación global del patrimonio cultural. La tecnología digital ha transformado significativamente la experiencia en los museos, ofreciendo nuevas formas de involucrar a los visitantes y presentar el patrimonio cultural. Los museos digitales brindan experiencias multidimensionales que diferencian de los museos tradicionales, incorporando señales visuales y auditivas para mejorar el compromiso del visitante (Guo *et al.*, 2021). Esta transformación digital ha llevado a un desarrollo simbiótico de los aspectos humanos y técnicos, creando nuevas vías para las experiencias de los usuarios y las conexiones culturales.

El impacto de la tecnología digital en la experiencia del visitante en los museos ha mostrado resultados prometedores. Los estudios han encontrado que los museos digitales a menudo brindan experiencias más satisfactorias en términos de recuerdos e intenciones de comportamiento en comparación con los museos tradicionales (Ferretti *et al.*, 2020). El uso de vitrinas holográficas, por ejemplo, ha mejorado el vínculo entre el contenido real y virtual, haciendo que los objetos exhibidos “cobren vida” para los visitantes (Pagano *et al.*, 2021). Sin embargo, es importante señalar que la introducción de tecnología digital por sí sola puede no ser suficiente para aumentar la lealtad y el crecimiento del público. Los museos deben abordar cuestiones fundamentales como la accesibilidad, el financiamiento y la

competencia con otras atracciones para beneficiarse verdaderamente de las innovaciones digitales (Chiwara y Chipangura, 2018).

En conclusión, la tecnología digital en los museos ofrece un potencial significativo para mejorar las experiencias de los usuarios y preservar el patrimonio cultural. El desarrollo de sistemas de recomendación personalizados (Li y Liew, 2015) y la integración de un diseño multisensorial (Tong *et al.*, 2018) demuestran la naturaleza evolutiva de la curaduría digital en los museos. A medida que los museos continúen adaptándose a la era digital, centrados en enfoques orientados al usuario y estrategias holísticas será crucial para el éxito en la participación de los visitantes y la relevancia cultural (Guo, 2019; Ilisevic *et al.*, 2020).

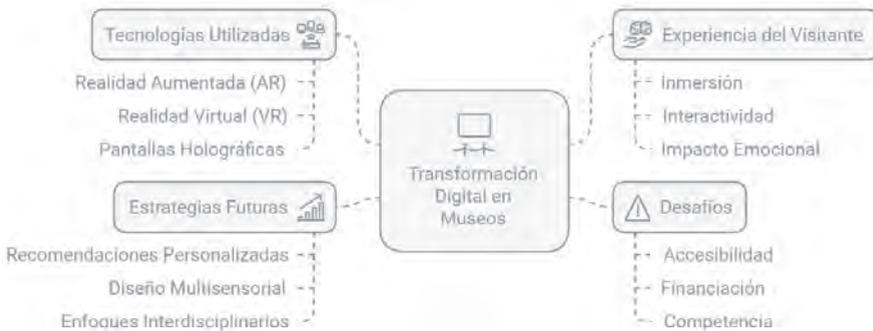
Un enfoque multidisciplinario que combine diseño, biología, tecnología y educación es crucial para desarrollar exposiciones eficientes y sostenibles en museos por varias razones. Por una parte, el diseño y la tecnología juegan un papel fundamental en la creación de experiencias interactivas y atractivas para los visitantes. La integración de tecnologías como realidad virtual, realidad aumentada e inteligencia artificial permite crear exhibiciones más inmersivas y personalizadas (Rao, 2024; Xu *et al.*, 2024). Por ejemplo, el uso de aplicaciones móviles con reconocimiento visual puede mejorar significativamente la experiencia del visitante al proporcionar información contextual y recomendaciones personalizadas (Li y Liew, 2015; Tung, 2021). Por otra parte, la combinación de disciplinas como la biología y la educación con el diseño y la tecnología permite crear exhibiciones que no solo son visualmente atractivas, sino también educativas y científicamente precisas. Este enfoque interdisciplinario, conocido como STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas), ha generado resultados emocionantes en los campos del arte, la tecnología y la educación (Bianchi, 2016). Además, la incorporación de principios biológicos puede inspirar diseños más sostenibles y ecológicos en las exhibiciones. En conclusión, un enfoque multidisciplinario permite crear exposiciones más eficientes, sostenibles y atractivas al aprovechar las fortalezas de diferentes campos. Esto no solo mejora la experiencia del visitante, sino que también promueve la preservación y apreciación del patrimonio cultural (Di Leo, 2024; Li *et al.*, 2024). Al combinar diseño, biología, tecnología y educación, los museos pueden crear exhibiciones que sean educativas, interactivas y relevantes para una amplia gama de visitantes, fomentando así un mayor compromiso y lealtad del público.

Bioaprendizaje

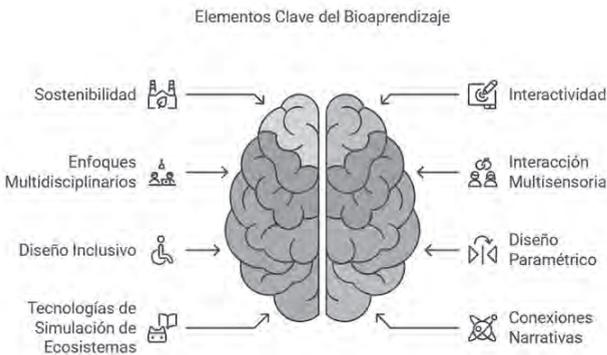
En un mundo cada vez más interconectado y consciente de la crisis ambiental, los museos se encuentran ante una encrucijada: evolucionar más allá de ser simples repositorios de objetos o convertirse en espacios dinámicos de aprendizaje y reflexión. Este enfoque busca transformar los museos en laboratorios vivos donde los visitantes no solo observen, sino que interactúen activamente con conceptos biológicos, fomentando un aprendizaje significativo y una mayor conciencia ambiental (Estévez y Warang, 2023). El bio-aprendizaje emerge así, como una innovadora estrategia pedagógica que trasciende los límites tradicionales del aprendizaje, integrando principios biológicos, diseño paramétrico y tecnologías digitales en espacios museísticos. De acuerdo con Parra Bernal (2019), el bio-

aprendizaje representa una estrategia clave para involucrar a los visitantes de los museos en la comprensión de la sostenibilidad y la biodiversidad, ya que permite aprender a través de la observación y la interacción directa con procesos biológicos, pues la esencia del bio-aprendizaje sostenible radica en su capacidad para generar experiencias educativas que imitan los principios de los sistemas naturales: flexibilidad, resiliencia e interconexión.

Como se aprecia en las Figuras 14 y 15 el enfoque del Bio-aprendizaje redefine la experiencia museística, posicionándose como un espacio donde convergen innovación, ciencia y creatividad; y llevado al espacio de los museos ayuda a trascender de la simple exposición de objetos o especímenes, presentación de datos científicos a la posibilidad innovadora de crear experiencias inmersivas que estimulen la curiosidad, el pensamiento crítico y, sobre todo la creatividad. Al inspirarse en los principios de la naturaleza, los museos pueden diseñar espacios y actividades que promuevan la sostenibilidad, la resiliencia y la conexión con el entorno, alineándose con las tendencias actuales en museología, que buscan experiencias más participativas y significativas para los visitantes (Morales Carmona y Freitag, 2014).



14



15

Figura 14. Transformación digital en museos (Elaboración propia. Napkin, 2024).

Figura 15. Elementos conceptos clave del Bio-aprendizaje (Elaboración propia. Napkin, 2024).

Del mismo modo, la integración de diseño paramétrico y generativo en el contexto del bio-aprendizaje presenta oportunidades innovadoras, pues permite crear entornos educativos adaptativos que responden a las necesidades e intereses de los visitantes. Por ejemplo, mediante algoritmos generativos, se pueden diseñar exposiciones que cambian dinámicamente según la interacción del público, facilitando una experiencia personalizada y enriquecedora (Estévez y Warang, 2023). Esta capacidad para adaptar el espacio expositivo no solo mejora la experiencia del visitante, sino que también refuerza la comprensión de conceptos biológicos complejos al hacerlos más accesibles.

En definitiva, el bio-aprendizaje sostenible en los museos del futuro integra de manera armónica diseño paramétrico, biología y tecnologías digitales para generar experiencias transformadoras. Esta estrategia educativa invita a los visitantes no solo a aprender, sino a reflexionar y actuar frente a los desafíos ambientales contemporáneos:

- **Propuestas de Talleres y Actividades Interactivas**

Para implementar el bio-aprendizaje en museos, es crucial diseñar talleres y actividades interactivas que integren biología, diseño y tecnología; y que, a su vez, involucren a los visitantes en experiencias prácticas. Frente a esta iniciativa algunas propuestas innovadoras incluyen:

- **Talleres de Observación de Ecosistemas**

Los visitantes participan en sesiones prácticas donde se les enseña a identificar y registrar biodiversidad en ecosistemas locales utilizando herramientas como lupas, microscopios y aplicaciones móviles. Esta actividad, además de fomentar la curiosidad científica, destaca la importancia de preservar la biodiversidad. Por ejemplo, un recorrido guiado en un jardín bioinspirado dentro del museo podría culminar en la creación de mapas de biodiversidad por parte de los participantes (UNESCO, 2014).

- **Simulaciones de Ecosistemas con RA y RV**

Mediante tecnologías de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV), los museos pueden recrear hábitats naturales donde los visitantes interactúen con flora y fauna virtuales. Estas experiencias inmersivas permiten explorar dinámicas complejas, como las interacciones entre depredadores y presas o los efectos del cambio climático, en un entorno controlado. Estas simulaciones también pueden incluir elementos de gamificación para motivar el aprendizaje activo (Ruiz Torres, 2011).

- **Talleres de Biodiseño y Fabricación Sostenible**

Estas actividades invitan a los participantes a experimentar con materiales sostenibles, como bioplásticos o tejidos vivos, para crear modelos inspirados en la naturaleza. Por ejemplo, los visitantes podrían diseñar prototipos de estructuras paramétricas basadas en patrones biológicos. Este tipo de talleres fomenta la creatividad mientras promueve una comprensión profunda de los principios del diseño biomimético (Facca *et al.*, 2023)

- **Jardines Interactivos y Laboratorios Vivos**

Los museos pueden integrar jardines dentro de sus instalaciones donde los visitantes participen activamente en el cuidado de plantas y aprendan sobre sus ciclos de vida. Estas actividades podrían incluir sensores que proporcionen datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales del jardín, permitiendo a los participantes analizar su impacto y proponer soluciones para optimizar los recursos naturales (Morales Carmona & Freitag, 2014).

- **Recorridos Sensibles e Inclusivos**

Diseñar recorridos sensoriales que combinen elementos visuales, táctiles y olfativos, brindando a los visitantes una experiencia integral. Por ejemplo, las exhibiciones podrían incluir reproducciones táctiles de patrones naturales o estaciones olfativas que evoquen aromas asociados a diversos ecosistemas. Este enfoque es especialmente útil para hacer las exposiciones accesibles a audiencias con discapacidades visuales o auditivas (Estévez & Warang, 2023).

- **Actividades Basadas en Algoritmos Generativos**

Exhibiciones paramétricas interactivas, donde algoritmos de diseño generativo respondan a los datos introducidos por los visitantes, permiten una co-creación de experiencias. Por ejemplo, los datos ambientales locales (como la calidad del aire o la humedad) podrían influir en tiempo real en la forma o el comportamiento de una instalación artística dentro del museo (Estévez & Warang, 2023).

- **Narrativas Digitales Personalizadas**

El uso de aplicaciones móviles o sistemas de recomendación que guíen a los visitantes según sus intereses permite crear experiencias personalizadas. Estas plataformas podrían incluir juegos interactivos, videos explicativos y herramientas para compartir los descubrimientos en redes sociales, ampliando el alcance del museo y promoviendo un aprendizaje continuo (UNESCO, 2014) (Ver Figura 16).



Figura 16. Propuesta de talleres y actividades interactivas bioaprendizaje (Elaboración propia. Napkin, 2024)

Estas dinámicas no solo enriquecen el aprendizaje, sino que lo hacen memorable y accesible para públicos diversos. Además, se pueden incorporar tecnologías digitales, como aplicaciones de realidad aumentada, que ofrezcan información adicional sobre las piezas expuestas y su contexto biológico. En este orden de ideas, cabe concluir que, Ruiz Torres (2011) también sugiere que, la realidad aumentada puede ser un medio particularmente efectivo para crear estas experiencias inmersivas que desdibujan los límites entre observación y participación.

Aplicación del Bio-aprendizaje en Contextos Museísticos

El concepto de bio-aprendizaje se aplica en contextos museísticos para fomentar una conexión más profunda entre los visitantes y el mundo natural. Al integrar actividades prácticas y tecnologías interactivas, los museos pueden ofrecer experiencias educativas que van más allá de la simple observación pasiva. La UNESCO (2014) argumenta que el bio-aprendizaje no solo representa una estrategia pedagógica, sino un paradigma emergente para la educación sostenible. Facca *et al.* (2023) complementan esta visión, enfatizando que el bioaprendizaje establece un diálogo profundo con sistemas naturales complejos, permitiendo que los museos se conviertan en verdaderos laboratorios vivos de conocimiento. Así, este modelo no solo democratiza el aprendizaje, sino que prepara a las nuevas generaciones para comprender la interconexión de los sistemas globales, fomentando una conciencia más holística y adaptativa frente a los desafíos contemporáneos, a continuación, se presentan ejemplos destacados en Iberoamérica y el mundo que revelan cómo estas innovaciones pueden integrarse de manera efectiva.

- **En Panamá, el Biomuseo** representa un modelo de referencia en sostenibilidad y diseño bioinspirado. Diseñado por Frank Gehry, su estructura arquitectónica simula ecosistemas locales y utiliza materiales que minimizan el impacto ambiental. Además de su enfoque en la biodiversidad regional, el museo combina exhibiciones interactivas con un jardín botánico que conecta a los visitantes con el entorno natural. Este enfoque integral destaca cómo la arquitectura biomimética y las experiencias multisensoriales pueden educar e inspirar conciencia ambiental (*Ver Figura 17*).



Figura 17.
 Biomuseo Panamá
 (Fuente: Wikimedia
 Commons 2018,
 February 25.
 Disponible en:
[https://commons.
 wikimedia.org/wiki/
 File:Biomuseo_rear_
 stereo_pair_R.agr_
 %28cropped%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biomuseo_rear_stereo_pair_R.agr_%28cropped%29.jpg)).

- Por su parte, el **Museo del Oro** es un referente en Colombia por su enfoque museográfico renovado que integra narrativas interactivas, conectando a los visitantes con los valores ecológicos y culturales de los metales preciosos. Su museografía actual incluye actividades educativas que fomentan la reflexión sobre el impacto humano en el medio ambiente y la importancia de la conservación de los recursos naturales (Riaño Lesmes, 2004). Este enfoque se alinea con el bio-aprendizaje, ya que permite al visitante comprender cómo las prácticas ancestrales de extracción y uso del oro están profundamente vinculadas con la sostenibilidad ecológica y cultural (Ver Figura 18).

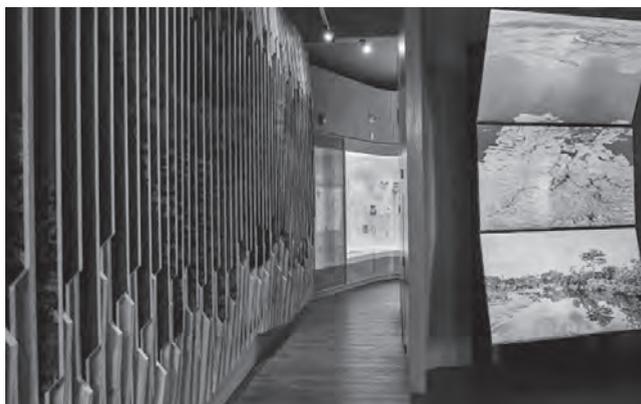


Figura 18.
 Museo del Oro
 (Bogotá Colombia),
 Narrativas inmersivas
 (Fuente: Cloudfront.
 net. 2024. Disponible
 en: [https://
 d3nmwx7scpuzgc.
 cloudfront.net/sites/
 default/files/media/
 image/narrativas-
 transmedia-MOZ-
 zenu-cartagena-
 museo-2023-
 640-x400.jpg](https://d3nmwx7scpuzgc.cloudfront.net/sites/default/files/media/image/narrativas-transmedia-MOZ-zenu-cartagena-museo-2023-640-x400.jpg)).

- **Maloka**, también en Bogotá (Colombia) en cambio, se distingue por ser un museo interactivo dedicado a la ciencia y la tecnología, promoviendo diálogos entre los visitantes y conceptos biológicos complejos. Sus talleres sensoriales y actividades interactivas fomentan el aprendizaje práctico, y su integración de tecnologías avanzadas como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) ofrece una experiencia educativa inmersiva y dinámica. Esto no solo facilita la comprensión de conceptos científicos, sino que también promueve la curiosidad y el pensamiento crítico (Facca *et al.*, 2023). En el contexto del bio-aprendizaje, Maloka destaca por sus talleres de simulación de ecosistemas y sus laboratorios vivos, donde los visitantes pueden explorar interacciones biológicas mediante herramientas tecnológicas (Ver Figura 19).



Figura 19.
Maloka Museo
Interactivo - Bogotá
Colombia **Fuente:**
(2024). Cloudfront.
net. [https://
d3nmwx7scpuzgc.
cloudfront.net/sites/
default/files/media/
image/narravitas-
transmedia-MOZ-
zenu-cartagena-
museo-2023-
640-x400.jpg](https://d3nmwx7scpuzgc.cloudfront.net/sites/default/files/media/image/narravitas-transmedia-MOZ-zenu-cartagena-museo-2023-640-x400.jpg)

- Finalmente, el **CosmoCaixa de Barcelona** (España) ha revolucionado el concepto de interactividad museística. Este espacio incorpora tecnologías digitales como la realidad aumentada para ofrecer talleres de “Creativity,” donde los visitantes exploran fenómenos naturales a través de manipulaciones tangibles y virtuales. Estas actividades, diseñadas para fomentar la curiosidad y la innovación, han establecido un estándar para la educación museística en el siglo XXI (Ver Figura 20).



Figura 20.
Creativity Cosmo
Caixa Barcelona
Fuente: Behance.net
(2024). https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/project_modules/1400/d83fa637110485.5734ae88890a5.jpg

En resumen, el bio-aprendizaje no solo enriquece la experiencia educativa en los museos, sino que también promueve una mayor conciencia y acción hacia la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad. Al involucrar a los visitantes en actividades interactivas y prácticas, los museos pueden desempeñar un papel crucial en la educación ambiental y el desarrollo de una ciudadanía más consciente y comprometida (Parra Bernal, 2019; UNESCO, 2014; Ruiz Torres, 2011). En este sentido, los museos del futuro deben posicionarse como laboratorios vivos que trascienden el modelo tradicional expositivo, integrando el bio-aprendizaje como una estrategia clave para inspirar y educar. El bio-aprendizaje sostenible no es solo una tendencia, sino una necesidad ineludible para transformar la relación entre las personas, la ciencia y la naturaleza. La clave para el éxito radica en adoptar un enfoque multidisciplinario que integre diferentes perspectivas y técnicas educativas para enriquecer el aprendizaje y fortalecer la conexión entre los individuos y su entorno natural (Morales Carmona y Freitag, 2014; UNESCO, 2014).

Reflexión

Tradición y contemporaneidad: un equilibrio necesario

Los museos contemporáneos enfrentan un desafío crucial: equilibrar la preservación de la tradición cultural con la necesidad de innovar para seguir siendo relevantes en un mundo digitalizado y en constante cambio. Esta dualidad, que Kuhn describe como una tensión esencial entre tradición e innovación, se refleja en el diseño de espacios museísticos que deben honrar el pasado mientras adoptan herramientas y metodologías del presente (Andersen, 2012).

Por un lado, los elementos tradicionales permiten que los museos mantengan su papel como guardianes del patrimonio cultural. Del otro, la incorporación de tecnologías digitales y diseños biomiméticos redefine cómo los visitantes interactúan con el contenido, generando experiencias más dinámicas y envolventes (Maleckas, 2024). Frente a este aspecto, ejemplos como el Museo del Oro en Bogotá Colombia, ilustran cómo es posible integrar narrativas interactivas dentro de un contexto histórico sin comprometer la autenticidad cultural.

Para abordar esta tensión, los museos podrían considerar estrategias como la integración industria-educación para fomentar la innovación mientras preservan la herencia cultural (Yan, 2024). También podrían explorar formas de incorporar la tecnología digital y nuevas formas de participación del público, sin perder de vista su misión fundamental de conservación y educación. El desafío radica en encontrar un equilibrio que permita a los museos evolucionar y mantenerse relevantes, sin sacrificar su papel como guardianes de la tradición y el patrimonio cultural.

Impacto de la tecnología digital

El uso de herramientas como la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV) y los sistemas de recomendación personalizada han transformado la relación entre los museos y sus visitantes. Estas tecnologías no solo amplían las posibilidades narrativas, sino que también facilitan la accesibilidad para audiencias diversas. Sin embargo, la adopción tecnológica presenta retos significativos, como el financiamiento inicial, la capacitación del personal y la exclusión digital de ciertos grupos. Además, es necesario abordar preocupaciones sobre la autenticidad y el equilibrio entre innovación y contenido. La integración de vitrinas holográficas y recorridos virtuales, a modo de ejemplos, pueden mejorar la experiencia del visitante, pero también pueden generar la percepción de que la tecnología eclipsa los objetos culturales, desviando la atención de su significado histórico.

En este sentido, el uso de aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) móviles puede enriquecer la experiencia del visitante al proporcionar información adicional y elementos interactivos relacionados con los artefactos exhibidos (Md Nor y Abdul Razak, 2021). También, los conceptos de diseño paramétrico y generativo inspirados en estructuras biológicas tienen el potencial de revolucionar la arquitectura de los museos y las experiencias de los visitantes, al crear espacios más orgánicos, fluidos e interactivos, estos enfoques pueden mejorar el compromiso, el aprendizaje y la apreciación cultural. Sin embargo, se debe prestar cuidadosa atención al equilibrio entre el diseño innovador y la necesidad de crear contextos apropiados para los artefactos culturales y garantizar que la arquitectura complemente en lugar de eclipsar las obras exhibidas. Finalmente, la adopción de tecnologías innovadoras puede atraer a un público más joven y diverso, aumentando la relevancia y el alcance de los museos en la sociedad contemporánea (Morales Carmona y Freitag, 2014; Soares, 2020; Smeds, 2019). En este sentido, aunque la integración de la tradición museológica con la innovación presenta desafíos, también ofrece oportunidades significativas para mejorar la educación, la sostenibilidad y la participación del público en los museos.

Diseño biomimético: sostenibilidad e innovación

El diseño biomimético ofrece un camino prometedor para desarrollar museos sostenibles que armonicen con su entorno. Este enfoque, inspirado en la eficiencia de los sistemas naturales, permite reducir el impacto ambiental al tiempo que ofrece una estética única y conectada con la naturaleza. No obstante, su implementación requiere una inversión inicial significativa y una planificación interdisciplinaria que combina arquitectura, biología y tecnología.

La biomímesis aplicada en museos como el Biomuseo en Panamá o la Galería Winton del Museo de Ciencias de Londres (Smeds, 2019) demuestra cómo estos principios pueden transformar tanto la arquitectura como la experiencia del visitante. Sin embargo, se debe garantizar que estos diseños sirvan al propósito de facilitar el acceso al conocimiento y no se conviertan en obstáculos por su complejidad visual o funcional.

El rol del bioaprendizaje en la educación museística

El bio-aprendizaje, como enfoque pedagógico innovador, sitúa a los museos en una posición estratégica para fomentar la sostenibilidad y la conciencia ambiental, pues al combinar actividades prácticas con tecnologías inmersivas, el bioaprendizaje permite a los visitantes comprender temas complejos como la biodiversidad y el cambio climático de manera participativa y emocionalmente impactante.

Además, el bio aprendizaje, que se basa en la observación y el estudio de procesos biológicos para desarrollar nuevas tecnologías y métodos educativos, se está integrando en las exposiciones interactivas de los museos. Esto permite a los visitantes aprender de manera más profunda y significativa, fomentando una conexión más fuerte con los contenidos presentados. Por ejemplo, algunas exposiciones utilizan simulaciones de ecosistemas naturales para enseñar sobre biodiversidad y conservación, lo que enriquece la experiencia educativa (Carmona y Freitag, 2014).

Este enfoque enfrenta desafíos como la resistencia institucional al cambio y la necesidad de adaptar los contenidos educativos a diferentes niveles de audiencia. A pesar de estas dificultades, iniciativas como los talleres de biodiseño en Maloka (Colombia) y las simulaciones de ecosistemas en CosmoCaixa (España) demuestran que es posible superar estas barreras mediante una implementación estratégica y colaborativa.

Oportunidades futuras

La convergencia de diseño biomimético, tecnología digital y bioaprendizaje representa una oportunidad única para reimaginar los museos como agentes de cambio cultural, social y ambiental. Esta visión no solo amplía el alcance educativo de los museos, sino que también fortalece su capacidad para generar impacto en la sostenibilidad global.

No obstante, para maximizar estas oportunidades, los museos deben adoptar un enfoque multidisciplinario que integre diseño, tecnología y pedagogía de manera equilibrada. Ade-

más, será esencial garantizar la accesibilidad y la inclusión para que estas innovaciones beneficien a una amplia gama de audiencias, incluyendo comunidades subrepresentadas y tecnológicamente marginadas. Al adoptar estas innovaciones, los museos pueden transformarse en espacios de aprendizaje dinámicos y atractivos que fomentan la apreciación cultural y la sostenibilidad ambiental (Kee y Zhang, 2022; Silva y Teixeira, 2020).

Uno de los principales retos es la necesidad de equilibrar la preservación del patrimonio cultural con la innovación tecnológica. Los museos deben asegurarse de que las nuevas tecnologías no comprometan la integridad de las colecciones y que las innovaciones sean sostenibles a largo plazo (Brulon-Soares, 2020). Además, la accesibilidad y la exclusión digital son preocupaciones importantes, ya que la implementación de tecnologías avanzadas puede crear barreras para ciertos grupos de visitantes, especialmente aquellos que no están familiarizados con las nuevas tecnologías. El financiamiento y los recursos también representan un desafío significativo. La integración de tecnologías avanzadas y enfoques innovadores requiere una inversión considerable, lo que puede ser un obstáculo para museos con recursos limitados (Brulon-Soares, 2027).

La integración del diseño biomimético, la tecnología digital y el bio-aprendizaje en los museos puede crear espacios más sostenibles, inmersivos y educativos al ofrecer experiencias multisensoriales y personalizadas. Estas tecnologías no solo permiten a los visitantes interactuar con el contenido de manera más significativa, sino que también abren nuevas posibilidades para la preservación y difusión del patrimonio cultural.

Conclusiones

La convergencia de diseño biomimético, tecnología digital y bioaprendizaje redefine el papel de los museos contemporáneos, transformándolos en espacios de aprendizaje, sostenibilidad y creatividad. Este enfoque multidisciplinario ofrece soluciones innovadoras a los desafíos actuales, posicionando a los museos como agentes activos de cambio cultural y ambiental.

La integración de diseño, biología y tecnología digital en los museos contemporáneos es esencial para responder a los desafíos de un mundo en constante transformación. Este enfoque multidisciplinario no solo permite la creación de espacios más sostenibles y adaptativos, sino que también optimiza los recursos y conecta estéticamente con el entorno natural. Al adoptar metodologías como el diseño paramétrico y generativo, inspiradas en estructuras biológicas, los museos pueden transformar tanto su arquitectura como la experiencia del visitante, creando entornos que reflejan los procesos naturales y promueven la sostenibilidad (Giménez, Mirás, y Valentino, 2021; Rao, 2014).

El diseño biomimético, inspirado en los principios de la naturaleza, permite desarrollar arquitecturas sostenibles que optimizan recursos y conectan estéticamente con el entorno. Su implementación, demuestra cómo las formas y procesos naturales pueden integrarse en los espacios museísticos para promover la sostenibilidad y la educación. A su vez, la incorporación de tecnologías digitales como la realidad aumentada y virtual amplifica la experiencia del visitante, permitiendo interacciones más dinámicas y personalizadas. Sin

embargo, es esencial equilibrar estas innovaciones con la autenticidad y la accesibilidad de las exposiciones. La incorporación de tecnologías digitales, como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), facilita la creación de un organicismo digital que mejora la inmersión y la interacción del público. Estas tecnologías permiten a los visitantes experimentar las exhibiciones de manera más dinámica y envolvente, enriqueciendo su comprensión y apreciación del patrimonio cultural (Pagano *et al.*, 2021; Palumbo, 2023). Además, el concepto de bio-aprendizaje se presenta como una estrategia clave para involucrar a los visitantes en temas de sostenibilidad y biodiversidad. A través de experiencias educativas interactivas, los museos pueden fomentar una conexión más profunda entre los visitantes y el mundo natural, promoviendo una mayor conciencia y responsabilidad ambiental (Camps-Ortueta *et al.*, 2021; Guazzaroni, 2019).

El bio-aprendizaje, por su parte, se presenta como una herramienta pedagógica clave, capaz de conectar a los visitantes con la sostenibilidad y la biodiversidad a través de experiencias prácticas e inmersivas. Actividades como talleres de observación de ecosistemas, simulaciones de hábitats y narrativas interactivas ejemplifican cómo los museos pueden ir más allá de la simple exhibición de objetos, ofreciendo experiencias transformadoras que educan e inspiran a la acción. La revisión bibliográfica y el análisis de casos exitosos demuestran que es posible combinar elementos históricos con innovaciones tecnológicas, superando la tensión entre tradición y contemporaneidad. La investigación multidisciplinaria es fundamental para desarrollar exposiciones eficientes y sostenibles que respondan a los desafíos actuales y futuros. Los museos del futuro deben ser vistos no sólo como instituciones culturales, sino también como centros de aprendizaje dinámico que fomenten la adaptabilidad, la innovación y la sostenibilidad (Estévez & Navarro, 2017; Ali-Hussein & Abbas-Abbood, 2024).

A través de casos emblemáticos en museos en el mundo y Colombia este artículo ha evidenciado el potencial de los museos para convertirse en laboratorios vivos de conocimiento. No obstante, la implementación de estas estrategias exige superar desafíos relacionados con financiamiento, formación técnica y accesibilidad. Al abordar estas barreras, los museos pueden no solo adaptarse a las demandas de un mundo en constante cambio, sino también liderar el camino hacia un futuro más sostenible.

Por último, la adopción de un enfoque integral que incorpore diseño biomimético, tecnología digital y bioaprendizaje es crucial para la evolución de los museos como espacios educativos y culturales. Este enfoque no solo permite reflexionar sobre cada uno de los términos clave, sino también sobre su interconexión y su relevancia en la creación de museos que sean capaces de responder a los desafíos del presente y del futuro, posicionándose como vehículos de conocimiento y reflexión cultural en un mundo en constante cambio (Li y Liew, 2015; Silva & Teixeira, 2020). Los museos del futuro deben ser entendidos como espacios dinámicos y multidisciplinarios, no solo porque refuerza su relevancia cultural y educativa, sino porque también los posiciona como pilares fundamentales en la promoción de la sostenibilidad y la innovación en un mundo que lo necesita urgentemente.

Referencias bibliográficas

- Ali Hussein, E., & Abbas Abbood, O. (2024). Biomimicry as a sustainable solution in Architecture: Analytical study. *BIO Web of Conferences*, 97, 00015. (DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202409715>).
- Andersen, H. (2012). La segunda tensión esencial: sobre tradición e innovación en la investigación interdisciplinaria. *Topoi*, 32(1), 3–8. <https://doi.org/10.1007/s11245-012-9133-z>
- Arruda, A. y Langella, C. (2021). Prólogo Biodiseño, Innovación y Transdisciplinariedad. En: Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación N°140. Coordinadores: Arruda, A. y Langella, C. y Di Bella D. V. Argentina: Universidad de Palermo. Instituto de Investigación en Diseño. (DOI: <https://doi.org/10.18682/cdc.vi140>)
- Barker, S. (2024, octubre 23). *El Museo de Historia Natural lanza una experiencia inmersiva de realidad mixta que muestra a los visitantes el futuro del mundo natural*. Secret London. <https://secretldn.com/es/visiones-de-la-naturaleza-realidad-mixta-es/>
- Bianchi, J. (2016). STEAM Power: Integración del arte y la tecnología a través de alianzas entre museos y patrimonio cultural. *The International Journal of the Inclusive Museum*, 9(2), 59–77. (DOI: <https://doi.org/10.18848/1835-2014/cgp/v09i02/59-77>).
- Bi, H., & Nasir, N. B. M. (2024). Enfoques innovadores para preservar el patrimonio cultural inmaterial a través de experiencias interactivas impulsadas por IA. *Revista académica de ciencia y tecnología*, 12(2), 81–84. (DOI: <https://doi.org/10.54097/98nre954>).
- Bordegoni, M., Carulli, M., & Spadoni, E. (2020, agosto 17). Realidad virtual para mejorar la experiencia de usuario de los museos tradicionales. (DOI: <https://doi.org/10.1115/detc2020-22413>).
- Brito, M. C. (2024). Espai lúdic/espai educatiu: l'apropiació del museu per mitjà de la creativitat i la imaginació. *Mnèmòsine: revista catalana de museologia*, (14), 4.
- Brulon Soares, B. (2020). Definir el museo: retos y compromisos del siglo XXI. *ICOFOM Study Series*, 48(2), 51–68.
- Camps-Ortueta, I., Blasco-López, M.-F., & Deltell-Escolar, L. (2021). Nuevas tecnologías en los museos: llegan los videojuegos de realidad aumentada y realidad virtual. *Comunicación y Sociedad*, 193–210. (DOI: <https://doi.org/10.15581/003.34.2.193-210>).
- Carmona, I. M., & Freitag, V. (2014). Los Museos en el Siglo XXI: nuevos retos, nuevas oportunidades. *Revista digital do LAV*, 7(1), 30–49.
- Chen, X., Gao, W., Chu, Y., & Song, Y. (2024). Mejora de la interacción en entornos arquitectónicos virtuales-reales: un análisis comparativo de enfoques de realidad generativa impulsados por IA. *Building and Environment*, 266, 112113. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112113>).
- Chiwara, D., & Chipangura, N. (2018). Tecnología digital: ¿la panacea para mejorar la experiencia de los visitantes y el crecimiento de la audiencia? *Museum International*, 70(1–2), 114–123. (DOI: <https://doi.org/10.1111/muse.12197>).
- Dash, S. P. (2018). Application of biomimicry in building design. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 9(2), 644–660.
- Di Leo, A. (2024). Innovación impulsada por la tecnología en el patrimonio cultural: una perspectiva desde la experiencia de los museos. *Turistica - Revista italiana de turismo*, 32(3), 16–30. (DOI: <https://doi.org/10.70732/tijt.v32i3.26>).

- Escoda Pastor, C., Botero Márquez, N. D. P., Arévalo Rodríguez, F. M., & Amado Lorenzo, A. (2024). La genética como inspiración en el proceso de diseño de la arquitectura. Eisenman y Zaha Hadid. *EGA*, 29, 244-257.
- Estévez, A. T. y Navarro, D. (2017). Biofabricación del futuro: arquitectura biodigital y genética. *Procedia Manufacturing*, 12, 7-16. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.08.002>).
- Estévez, A. T. y Warang, A. (2023). Sistemas de diseño procedimental Implementando el bioaprendizaje. En: Aprendizaje Bioinspirado: El Diseño como disciplina y como proceso. Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación N°178. Coordinadores: Estevez A. y Di Bella D. V. Argentina: Universidad de Palermo, Instituto de Investigación en Diseño (DOI: <https://doi.org/10.18682/cdc.vi178>)
- Facca, C. A., de Carvalho, A. R., de Moraes, V. T., y Rocha, C. (2023). Biodiseño y Bioaprendizaje: Diálogo con sistemas naturales y complejos. En: Aprendizaje Bioinspirado: El Diseño como disciplina y como proceso. Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación N°178 (pp. 169-185). Coordinadores: Estevez A. y Di Bella D. V. Argentina: Universidad de Palermo, Instituto de Investigación en Diseño (DOI: <https://doi.org/10.18682/cdc.vi178>).
- Ferretti, M., Sorrentino, A., Risitano, M., & Elgammal, I. (2020). ¿La tecnología digital mejora la experiencia del visitante? Un estudio comparativo en el contexto de los museos. *Revista Internacional de Política Turística*, 10(1), 47. (DOI: <https://doi.org/10.1504/ijtp.2020.10029192>).
- Georgiou, G., Nikolopoulos, S., Kompatsiaris, I., & Anastasovitis, E. (2021). EPANASTASIS-1821: Diseño de un museo virtual inmersivo para la recuperación de los acontecimientos históricos de la revolución griega (pp. 334-345). Springer Science Business Media. (DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73043-7_28).
- Giménez, C. G., Mirás, M., & Valentino, J. (2021). Analogía biológica: ¿Es posible una arquitectura “viva”? *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 133, 63-81. (DOI: <https://doi.org/10.18682/cdc.vi133>).
- Guazzaroni, G. (2019). Papel de las emociones en los museos interactivos (pp. 174-193). IGI Global. (DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1796-3.ch010>).
- Guo, K. (2019). Comprensión de la experiencia de los visitantes de museos digitales basada en señales multisensoriales [escuela de posgrado de la Universidad de Purdue]. (DOI: <https://doi.org/10.25394/pgs.9033857.v1>).
- Guo, K., Lehto, X., Fan, A., & Day, J. (2021). Turismo digital inmersivo: el papel de las señales multisensoriales en las experiencias de los museos digitales. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 47(6), 1017-1039. <https://doi.org/10.1177/10963480211030319>
- Ilisevic, D., Vujkovic, S., & Banovic-Curguz, N. (2020, septiembre 28). Creación de vida digital en museos de arte. (DOI: <https://doi.org/10.23919/mipro48935.2020.9245418>).
- Jadán-Guerrero, J., Mendoza, M., & Alvites-Huamani, C. (2023). Redefiniendo las experiencias museísticas en la era virtual (pp. 459-469). Springer Nature Singapore. (DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-7660-5_39).
- Jamei, E., & Vrcelj, Z. (2021). Biomimicry and the built environment, learning from nature's solutions. *Applied sciences*, 11(16), 7514.
- Jiman, J., & Kulal, S. (2023). Aplicaciones de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) en el turismo: adopción de tecnologías emergentes para mejorar las experiencias

- turísticas en la industria turística de Malasia. *Conferencia Internacional sobre Tecnología, Gestión y Turismo Digital*, 1(2), 188–199. (DOI: <https://doi.org/10.56910/ictmt.v1i2.34>).
- Kee, T., & Zhang, H. (2022). Aprendizaje experiencial digital para la educación en horticultura sostenible y gestión del paisaje. *Sustainability*, 14(15), 9116. (DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159116>).
- Kentros, M., Papagiannakis, G., Zikas, P., Lydatakis, N., Georgiou, S., Geronikolakis, E., & Kateros, S. (2019). Una verdadera herramienta de creación de RA para museos virtuales interactivos. (DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.1909.09429>).
- Kizi, T. M. I. (2024). Realidad virtual en los museos de la Ruta de la Seda de Samarcanda. *Journal of Digital Sociohumanities*, 1(2), 111–118. (DOI: <https://doi.org/10.25077/jds.1.2.111-118.2024>).
- Li, C., Chen, M., Wang, J., Sitaram, S., & Xie, X. (2024). CultureLLM: Incorporating cultural differences into large language models. *arXiv preprint arXiv:2402.10946*.
- Li, R. Y.-C., & Liew, A. W.-C. (2015). Diseño de un prototipo de interfaz de usuario interactiva para mejorar la experiencia en museos y galerías de arte a través de la tecnología digital. *Gestión y curaduría de museos*, 30(3), 208–229. (DOI: <https://doi.org/10.1080/09647775.2015.1042509>).
- Lotfi, N. G. (2014). *Nature-Inspired Design Processes* (Doctoral dissertation, German University in Cairo).
- Maleckas, V. (2024). Modelado teórico y métodos dedicados a la arquitectura paramétrica basados en códigos de identidad del patrimonio cultural. *Revista Europea de Arquitectura y Planificación Urbana*, 3(2), 13–20. (DOI: <https://doi.org/10.24018/ejarch.2024.3.2.39>).
- Md Nor, R., & Abdul Razak, M. H. (2021). Diseño interactivo para mejorar la experiencia del usuario en un museo. *Journal of Computing Research and Innovation*, 6(3), 86–91. (DOI: <https://doi.org/10.24191/jcrinn.v6i3.249>).
- Morales Carmona, I., & Freitag, V. (2014). Los Museos en el Siglo XXI: nuevos retos, nuevas oportunidades. *Revista Digital do LAV*, 7(1), 30–49.
- Pagano, A., D'Annibale, E., Pietroni, E., & Ferdani, D. (2021). Evaluación de la experiencia del usuario (UX) para aplicaciones culturales de realidad aumentada: las vitrinas holográficas CEMEC en museos europeos. *Applied System Innovation*, 4(4), 92. (DOI: <https://doi.org/10.3390/asi4040092>).
- Palumbo, R. (2023). Aprovechar la digitalización y la atención centrada en las personas: una investigación sobre el atractivo de los museos e instituciones culturales italianos. *Revista de gestión del patrimonio cultural y desarrollo sostenible*. (DOI: <https://doi.org/10.1108/jchmsd-06-2023-0072>).
- Pallud, J., & Monod, E. (2010). Experiencia de usuario de las tecnologías de los museos: las escalas fenomenológicas. *Revista Europea de Sistemas de Información*, 19(5), 562–580. (DOI: <https://doi.org/10.1057/ejis.2010.37>).
- Parra Bernal, L. R. (2019). El bioaprendizaje: Posibilidad para desplegar la condición de humanidad en los escenarios educativos. *Intersticios. Revista sociológica de pensamiento crítico*, 13(1), 185–200.
- Rao, R. (2014). Biomimicry in architecture. *International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing*, 1(3), 101–107.

- Rao, S. (2024). Enfoques innovadores para la preservación cultural: integración de la tecnología AR/VR en el Museo Kempegowda: un caso de Bengaluru. *Revista internacional de investigación multidisciplinaria*, 6(2). (DOI: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.16059>).
- Riaño Lesmes, E. (2004). La renovación museográfica del Museo del Oro. *Boletín Museo del Oro*, (52)
- Rodà, C. (2023). Estrategia digital en los museos: importancia y claves para trabajarla. *Arts i Humanitats*.
- Rossi, L. (2022). Diseño bio-inspirado un proceso de abstracción creativa. *Arquitecno*, (19), 15-24.
- Ruiz Torres, D. (2011). Realidad aumentada, educación y museos. *Revista ICONO 14*, 9(2), 212-226.
- Silva, M., & Teixeira, L. (2020, noviembre). Developing an extended reality platform for immersive and interactive experiences for cultural heritage: Serralves museum and Coa archeologic park. *2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)* (pp. 300–302). IEEE. (DOI: <https://doi.org/10.1109/ismar-adjunct51615.2020.00084>).
- Smeds, K. (2019). The Future of Tradition in Museology: Materials for a discussion. In *ICOFOM42 2nd symposium, Kyoto, Japan, September 1-7, 2019*. ICOFOM. ICOM International Committee for Museology.
- Sylaiou, S., & Dafiotis, P. (2020). Narrativa en museos virtuales: involucrar a una multitud de voces (pp. 369–388). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37191-3_19
- Tong, Y., Cui, B., & Chen, Y. (2018, agosto 1). Investigación sobre el diseño visual de la interfaz de usuario de un museo digital de patrimonio cultural inmaterial basado en la experiencia del usuario. (DOI <https://doi.org/10.1109/iccse.2018.8468809>).
- Tran, D., Mottaeva, A., & Melović, B. (2018). Organicismo y una forma ambientalmente orgánica que se integra al entorno construido. *MATEC Web of Conferences*, 193, 04008. (DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819304008>).
- Tung, F. W. (2021). Rediscovering herb lane: Application of design thinking to enhance visitor experience in a traditional market. *Sustainability*, 13(7), 4033.
- UNESCO. (2014). Aprender sobre biodiversidad: aplicando múltiples perspectivas. *Educación para el desarrollo sostenible en acción: instrumentos de aprendizaje y formación*, 6, 1-33.
- Xu, C., & Fagan, T. (2023). Empoderar a los estudiantes mediante la integración de experiencias en museos y tecnologías digitales. *Museum Worlds*, 11(1), 181–191. (DOI: <https://doi.org/10.3167/armw.2023.110115>).
- Xu, J., Meng, H., & Yang, L. (2024). El impacto del escapismo percibido en la experiencia y el compromiso de los visitantes en las exposiciones digitales: evidencia de investigación empírica de Sanxingdui. *Leisure Sciences*, en versión preliminar (ahead-of-print). (DOI: <https://doi.org/10.1080/01490400.2024.2398775>)
- Yan, T. (2024). Research and Application of AI-Based Interactive Exhibits in Wuhan Museum of Science and Technology. *Journal of Electronic Research and Application*, 8(2), 95–102.
- Yan, Z. (2024). Estrategias para el desarrollo de industrias creativas y culturales en museos a través de la integración de la industria y la educación. *Revista científica de humanidades y ciencias sociales*, 6(8), 140–146. (DOI: <https://doi.org/10.54691/njmhqf47>).

Abstract: The article reflects on the need for innovation and adaptability in contemporary museums, highlighting the importance of a multidisciplinary approach that combines design, biology and technology to respond to the challenges of a changing world. It explores concepts such as parametric and generative design, inspired by biological structures, which can transform the architecture and visitor experience in the museum. These methodologies, by replicating processes in nature, allow for the creation of more sustainable and adaptive spaces, optimising resources and providing an aesthetic connected to the natural environment. It also addresses the role of digital technology, including augmented reality (AR) and virtual reality (VR), in the creation of a digital organicism that favours immersion and public interaction. Finally, the concept of bio-learning is presented as a key strategy to engage visitors in sustainability and biodiversity issues through interactive educational experiences. Through a literature review and the analysis of successful cases, the article also discusses the tension between tradition and contemporaneity, recognising successful cases in which museums have been able to combine historical elements with technological innovations. Finally, it emphasises the importance of multidisciplinary research to develop efficient and sustainable exhibitions that respond to current and future challenges, positioning museums as vehicles of knowledge and cultural reflection in a constantly changing world.

Keywords: Architecture - Parametric design - Biomimicry - Augmented reality - Virtual reality - Biolearning - Sustainability - Museums - Visitor experience

Resumo: O artigo reflete sobre a necessidade de inovação e adaptabilidade nos museus contemporâneos, destacando a importância de uma abordagem multidisciplinar que combine design, biologia e tecnologia para responder aos desafios de um mundo em transformação. Ele explora conceitos como o design paramétrico e generativo, inspirado em estruturas biológicas, que podem transformar a arquitetura e a experiência do visitante no museu. Essas metodologias, ao replicar processos da natureza, permitem a criação de espaços mais sustentáveis e adaptáveis, otimizando recursos e proporcionando uma estética conectada ao ambiente natural. Também aborda o papel da tecnologia digital, incluindo a realidade aumentada (AR) e a realidade virtual (VR), na criação de um organicismo digital que favorece a imersão e a interação do público. Por fim, o conceito de bioaprendizagem é apresentado como uma estratégia fundamental para envolver os visitantes em questões de sustentabilidade e biodiversidade por meio de experiências educacionais interativas. Por meio de uma revisão da literatura e da análise de casos bem-sucedidos, o artigo também discute a tensão entre tradição e contemporaneidade, reconhecendo casos bem-sucedidos em que os museus conseguiram combinar elementos históricos com inovações tecnológicas. Por fim, enfatiza a importância da pesquisa multidisciplinar para desenvolver exposições eficientes e sustentáveis que respondam aos desafios atuais e futuros, posicionando os museus como veículos de conhecimento e reflexão cultural em um mundo em constante mudança.

Palavras-chave: Arquitetura - Design paramétrico - Biomimética - Realidade aumentada - Realidade virtual - Bioaprendizagem - Sustentabilidade - Museus - Experiência do visitante
