

# EXPLORACIÓN DE ENFOQUES SUSTENTABLES EN LA EXPO DE DUBÁI DE 2020: UNA MEZCLA DE DISEÑOS BIOFÍLICOS Y BIOMÍMESIS

Recibido 12/10/2023  
Aceptado 28/11/2023

## EXPLORING SUSTAINABLE APPROACHES AT DUBAI EXPO 2020: A BLEND OF BIOPHILIC AND BIOMIMICRY DESIGNS

## EXPLORANDO ABORDAGENS SUSTENTÁVEIS NA DUBAI EXPO 2020: UMA MISTURA DE DESIGNS BIOFÍLICOS E BIOMIMÉTICOS

### **Iman Ibrahim**

PhD Architectural Engineering  
Assistant Professor, Applied Design Department , College of Fine Arts & Design  
University of Sharjah  
Sharjah, United Arab Emirates  
<https://orcid.org/0000-0003-0374-3494>  
[iibrahim@sharjah.ac.ae](mailto:iibrahim@sharjah.ac.ae)

### **Balsam Munadhil Al-Chaderchi**

MSc in Environmental Engineering  
Architectural engineering, College of Engineering University of Sharjah  
Sharjah, United Arab Emirates  
<https://orcid.org/0009-0003-2179-0574>  
[u14121047@sharjah.ac.ae](mailto:u14121047@sharjah.ac.ae)



## ABSTRACT

Dubai Expo 2020 provides an international platform for advancing innovation through meticulously curated exhibits with themes such as sustainability and cultural exchange displayed in pavilions dedicated to individual countries. This research study uses biophilic or biomimetic design strategies to assess the sustainability practices employed in a group of pavilions at the Dubai Expo 2020 that employ biophilic and/or biomimetic design strategies. Biophilic philosophy emphasizes nature-based concepts to foster positive relationships between humans and living organisms, whereas biomimicry imitates natural processes/systems for building practices. Incorporating biophilic and/or biomimetic techniques into pavilion design provides visitors with a one-of-a-kind experience while displaying explicit sustainability principles that go beyond the event's existing architectural framework guidelines. The research evaluation process includes architectural structure designs, materials used during production/creation periods, energy efficiency measurements implemented, and sustainable water management plans based on natural ecological systems. It will also evaluate the adherence of each pavilion chosen to genuine sustainability values by analyzing the incorporation of nature-based concepts into its overall design for potential future reference applications. These techniques have significant potential to improve human health, reduce environmental impact, and encourage global resiliency when implemented beyond Dubai Expo 2020. In conclusion, the research aims to inspire sustainable designs well beyond the Dubai Expo 2020 by demonstrating how biophilic or biomimetic practices are crucial facilitators in constructing spaces that maximize human welfare without endangering the environment. It is also a foundational resource for architects and urban planners committed to advancing sustainable architectural practices through future development projects prioritizing human welfare and environmental protection.

### Palabras clave

Expo Dubai 2020, sustainability, biophilic, biomimicry, nature-based

## RESUMEN

La Expo de Dubái 2020 es una plataforma internacional para el avance de la innovación a través de exposiciones meticulosamente seleccionadas, con temas como la sostenibilidad y el intercambio cultural expuestos en pabellones dedicados a países individuales. Esta investigación usa estrategias de diseño biofílico o biomimético para evaluar las prácticas de sustentabilidad usadas en un grupo de pabellones en la Expo de Dubái de 2020, que usan estrategias de diseño biofílico y/o biomimético. La filosofía biofílica hace hincapié en conceptos basados en la naturaleza, con el objetivo de fomentar relaciones positivas entre los seres humanos y los organismos vivos, mientras que la biomimesis imita los procesos/sistemas naturales para las prácticas de construcción. La incorporación de técnicas biofílicas y/o biomiméticas en el diseño de los pabellones proporciona a los visitantes una experiencia única, al tiempo que muestra principios de sostenibilidad explícitos que van más allá de las directrices del marco arquitectónico del evento. El proceso de evaluación de la investigación incluye diseños de estructuras arquitectónicas, los materiales utilizados durante los periodos de producción/creación, las medidas de eficiencia energética aplicadas y los planes de gestión sostenible del agua basados en sistemas ecológicos naturales. También se evaluará la adhesión de cada pabellón seleccionado a auténticos valores de sostenibilidad analizando la incorporación de conceptos basados en la naturaleza en su diseño general para posibles aplicaciones futuras de referencia. Estas técnicas tienen un potencial significativo para mejorar la salud humana, reducir el impacto ambiental y fomentar la resiliencia global cuando se lleven más allá de la Expo de Dubái de 2020. En conclusión, la investigación apunta a inspirar diseños sostenibles mucho más allá de la Expo de Dubái de 2020, al demostrar cómo las prácticas biofílicas o biomiméticas sirven de facilitadores clave en la construcción de espacios que maximizan el bienestar humano, sin poner en peligro al medio ambiente. También sirve como recurso fundamental para arquitectos y urbanistas comprometidos con el avance de las prácticas arquitectónicas sostenibles a través de futuros proyectos de desarrollo, que den prioridad tanto al bienestar humano como a la protección del medio ambiente.

### Keywords

Expo de Dubái 2020, sustentabilidad, biofílica, biomimesis, basada en la naturaleza

## RESUMO

A Dubai Expo 2020 oferece uma plataforma internacional para o avanço da inovação por meio de exposições meticulosamente selecionadas com temas como sustentabilidade e intercâmbio cultural exibidos em pavilhões dedicados a países individuais. Este estudo de pesquisa utiliza estratégias de design biofílico ou biomimético para avaliar as práticas de sustentabilidade adotadas em um grupo de pavilhões da Dubai Expo 2020 que empregam estratégias de design biofílico e/ou biomimético. A filosofia biofílica enfatiza conceitos baseados na natureza para promover relações positivas entre humanos e organismos vivos, ao passo que a biomimética imita processos/sistemas naturais para práticas de construção. A incorporação de técnicas biofílicas e/ou biomiméticas no projeto do pavilhão proporciona aos visitantes uma experiência única, ao mesmo tempo em que exhibe princípios explícitos de sustentabilidade que vão além das diretrizes de estrutura arquitetônica propostas para o evento. O processo de avaliação da pesquisa inclui projetos de estruturas arquitetônicas, materiais utilizados durante os períodos de produção/criação, medidas de eficiência energética implementadas e planos de gerenciamento sustentável da água com base em sistemas ecológicos naturais. Ele também avaliará a adesão de cada pavilhão escolhido aos valores genuínos de sustentabilidade, analisando a incorporação de conceitos baseados na natureza em seu projeto geral para possíveis aplicações futuras de referência. Essas técnicas possuem um potencial significativo para melhorar a saúde humana, reduzir o impacto ambiental e incentivar a resiliência global se forem implementadas após a Dubai Expo 2020. Por fim, a pesquisa tem como objetivo inspirar projetos sustentáveis muito além da Dubai Expo 2020, demonstrando como as práticas biofílicas ou biomiméticas são facilitadoras cruciais na construção de espaços que maximizam o bem-estar humano sem colocar em risco o meio ambiente. É também um recurso fundamental para arquitetos e planejadores urbanos comprometidos com o avanço das práticas arquitetônicas sustentáveis por meio de futuros projetos de desenvolvimento que priorizem o bem-estar humano e a proteção ambiental.

### Palavras-chave:

Expo Dubai 2020, sustentabilidade, biofílico, biomimética, baseado na natureza.

## INTRODUCCIÓN

Emular la creatividad de la vida es esencial para la supervivencia humana y para un futuro sustentable. La naturaleza es una fuente de inspiración para el diseño del mundo construido, ya que esta entiende la construcción sustentable. La sustentabilidad es un factor importante en el diseño, y entender el valor de la naturaleza y su influencia en el diseño es esencial. Para los humanos, completar los ciclos de la naturaleza, como proveer alimento para los insectos y las frutas para obtener variedad, ha sido difícil desde el comienzo de la humanidad (Green, K, 2005; Karabetça, A.R., 2015).

La naturaleza es esencial para alcanzar la meta global de las emisiones cero netas para el 2050. Sin embargo, según el Secretario General de las Naciones Unidas, António Guterres, la naturaleza necesita ayuda. Podemos escapar de una catástrofe climatológica y recuperar a nuestro mundo al derrotar a la pandemia del COVID-19 (Abounaga y Helmy, 2022). La biofilia, la bioingeniería, la biónica y la biomímesis son términos biológicos que describen las leyes de la naturaleza, que han regido a 30 millones de especies por 3,85 mil millones de años (Isle y Leitch, 2023). Los bioconceptos, como la biofilia y la biomímesis, se usan para integrar a la naturaleza en las actividades humanas, enfocándose en los principios de la sustentabilidad de Janine Benyus. Este estudio explora estos conceptos en la arquitectura.

### DISEÑO BIOFÍLICO

La creación del diseño biofílico ha dado muchos pasos en la historia. Como se ve en la Figura 1, esto ha involucrado la consideración de pautas en la fase de diseño, que incorporan características naturales a los ambientes construidos y representan formas, como los motivos botánicos, animales y de conchas a través de arcos, bóvedas y domos, variando las experiencias sensoriales a través del tiempo, el cambio, las transiciones y los contrastes complementarios (Terrapin Bright Green, 2014). Este tipo de diseño evoca la importancia histórica, cultural, geográfica, espiritual y ecológica, transformando a los seres humanos y creando ambientes similares a la naturaleza (Biancardi y Cascini, 2023; Al-Rhodesly, 2019). El diseño biofílico se enfoca en reconectarse con la naturaleza, transformando la conciencia humana y promoviendo una nueva ética para el deber de cuidar al mundo (Van der Ryn y Cowan, 2013; Thampanichwat et al., 2013). La masa y el volumen se vinculan con el diseño biofílico, teniendo al material, al objeto, a la luz, al paisaje y a los miradores como referencia a elementos naturales sin examinar los detalles del color o el sonido.

### BIOMÍMESIS

Del griego "*bios*", que significa vida, y "*mímesis*", que significa mímica o imitar, la biomímesis se traduce como la "imitación de la vida". La ingeniería, el diseño de productos y la arquitectura usan la biomímesis, que se inspira en los mecanismos de la naturaleza y los aplica para sortear los obstáculos a los que se enfrentan los seres humanos

(Thampanichwat et al., 2013; Taylor Buck, 2017). La biomímesis en el diseño puede promover la acción climática, las construcciones verdes, las ciudades sustentables, lograr el desarrollo sustentable y cumplir con los ODS de las Naciones Unidas. Incorporar elementos naturales en el diseño puede inspirar la sustentabilidad y proteger a los ecosistemas de cara al cambio climático y al COVID-19, a la vez que combinar características arquitectónicas con la naturaleza y la tecnología puede ayudar a superar los desafíos a la resiliencia de las ciudades (Abounaga y Helmy, 2022).

Los diseñadores tienen cada vez más conciencia de las oportunidades de la naturaleza para mejorar la funcionalidad humana y del sistema. Esto ha aumentado el interés en la biomímesis para los ambientes construidos y la sustentabilidad (Oguntona y Aigbavboa, 2023; Jamei y Vrcelj, 2021). La arquitectura que usa la biomímesis se inspira en los métodos, herramientas e ideas usadas por otros organismos para satisfacer sus necesidades y garantizar su existencia sobre la Tierra. J. Benyus propone dos métodos clave para usar la biomímesis (Jamei y Vrcelj, 2021; Amer et al., 2020). La biología para diseñar apunta a resolver los desafíos del diseño al identificar funciones básicas y analizar principios naturales. Este enfoque permite tener edificios avanzados y sustentables con aspectos estéticos, físicos y mecánicos. Los diseñadores pueden crear esta técnica mediante la colaboración con la naturaleza, las prácticas existentes o la ciencia experimental del diseño (Fahmy, 2018). Los paralelos entre la naturaleza y la arquitectura, en este contexto, han motivado a muchos investigadores a usar sistemas biológicos para manejar las variables ambientales (Varshabi, Arslan Selçuk, y Mutlu Avinç, 2022; Perricone et al., 2021). Como resultado, el diseño basado en la biomímesis ha surgido como un movimiento arquitectónico transdisciplinario y revolucionario (Faragalla y Asadi, 2022).

Los pabellones sustentables en las Expos generalmente se enfocan en las prácticas amigables con el medio ambiente, la eficiencia energética y el uso de recursos renovables. Estos pabellones a menudo incorporan tecnologías de construcción verde, materiales sustentables y diseños innovadores que minimizan su impacto ambiental. Estos pabellones pueden exponer avances en las energías renovables, la reducción del consumo de agua, su preservación y prácticas de vida sustentables.

Las características de los pabellones sustentables se logran dentro de marcos de diseño biofílico y biomimético, y podrían incluir lo siguiente:

- Paneles solares para la generación de energía;
- Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias;
- Materiales de construcción sustentables y reciclables;
- Tecnologías inteligentes para el manejo de la energía.

### OBJETIVOS Y MÉTODOS

El objetivo es inspeccionar y analizar las características biofílicas y biomiméticas en los pabellones de la Expo

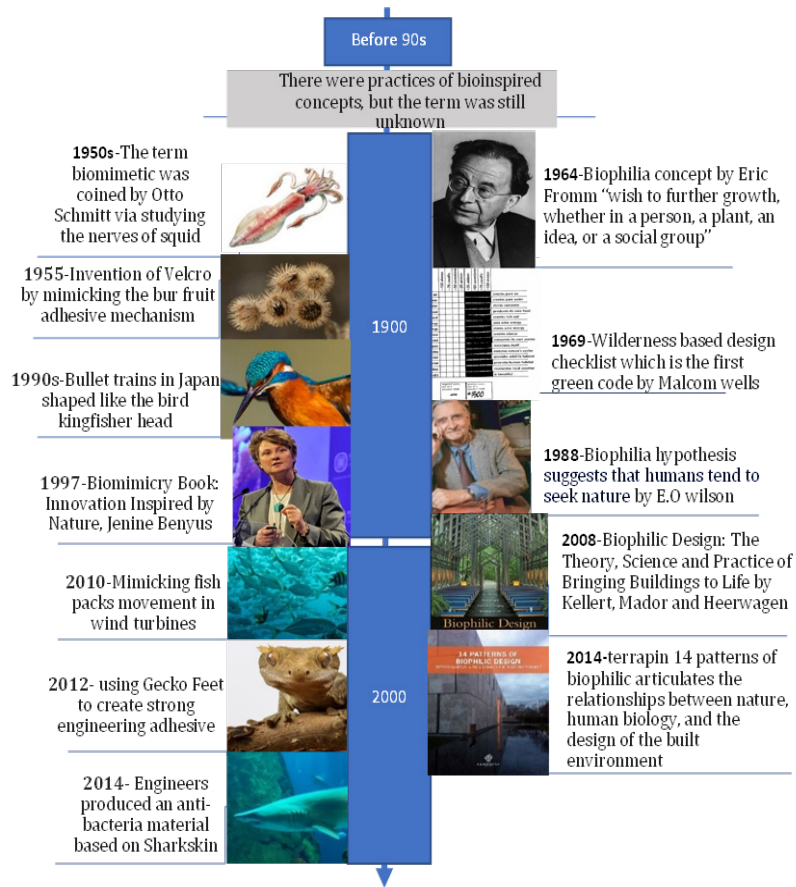


Figura 1. Resumen de la historia del diseño biofilico y biomimético. Fuente: Schreiner, (2018); Universidad de Minnesota, (2023); Zare et al., (2021).

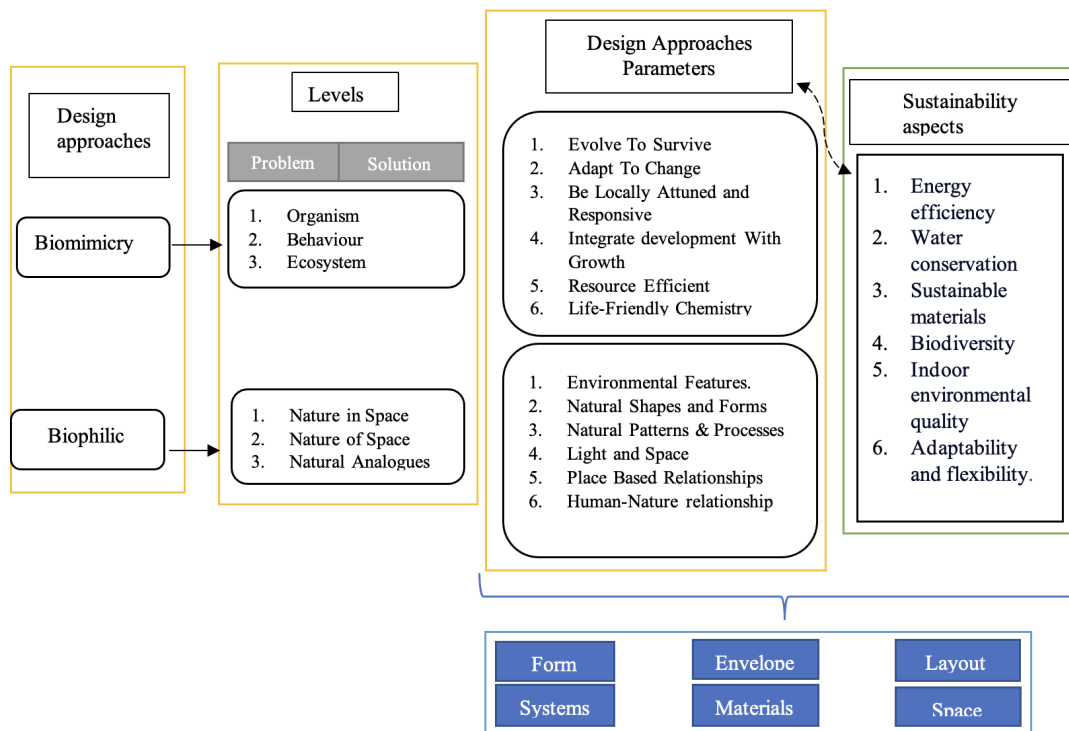


Figura 2. Diagrama de flujo del marco de análisis del estudio. Fuente: Creado por los autores.

de Dubái, a través de su arquitectura y la relación con los enfoques sustentables. Además, se ve lo siguiente:

1. Evaluar la integración de conceptos biofílicos y biomiméticos en la arquitectura de los pabellones.
2. Examinar cómo estas estrategias mejoran los principios explícitos de la sustentabilidad.
3. Analizar los elementos arquitectónicos, los materiales y su compatibilidad con estas estrategias.
4. Medir el menor impacto ambiental y las potenciales ganancias en cuanto a eficiencia energética.
5. Validar la aplicabilidad a largo plazo de estas técnicas, más allá de la expo.

La metodología evalúa las características biofílicas y biomiméticas en cuanto a la sustentabilidad:

1. Establecer una guía de identificación y categorización biofílica y biomimética.
2. Hacer referencia al diseño biofílico de los diseños verdes y de la biomímesis como ciencia para aprender estrategias de la naturaleza.
3. Identificar criterios y metas sustentables.

4. Analizar cada característica biofílica y biomimética en cuanto a los principios de diseño sustentable y los principios de diseño biofílicos.

## MARCO DE ANÁLISIS

La pauta para la identificación y la categorización de los cinco pabellones en la Expo de Dubái se enfoca en los conceptos de la biomímesis y la biofilia. Involucra la recolección y el reconocimiento de los elementos de construcción, como los sistemas de ventilación y el diseño arquitectónico, y su clasificación usando una pauta de cotejo (Figura 2). Los elementos exitosos se consideran bajo los conceptos del estudio, y la cantidad de parámetros agregados miden la fortaleza de la implementación de los conceptos.

Hay algunas características que se muestran en la Tabla 1, que ayudan a reconocer si es que un elemento construido responde a un parámetro en particular. De manera realista, los elementos del edificio se identifican desde los datos que se pueden analizar de formas diferentes, dependiendo del propósito del análisis. Sin embargo, las características son

Tabla 1. Características del diseño biomimético y biofílico. Fuente: Kellert, 2008

Parámetro biomimético	Características	Parámetro biofílico	Características
Evolucionar para sobrevivir	Replicar estrategias Integrar la información Repetir los enfoques exitosos Crear nuevas opciones	Características medioambientales.	Aire Agua Plantas Animales Materiales
Adaptarse para el cambio	Responder a contextos dinámicos Incorporar diversidad Auto renovación Integrar la resiliencia Satisfacer una necesidad funcional	Formas naturales	Motivos botánicos Conchas y espirales Curvas y arcos Formas fluidas Abstracción de la naturaleza
Estar sintonizado localmente y ser capaz de responder	Usar los recursos disponibles Integrarse dentro del entorno	Patrones y procesos naturales	Riqueza sensorial Área de énfasis Conjuntos con patrones Espacios limitados Series vinculadas y cadenas
Integrar el desarrollo con el crecimiento	Auto organizarse Comenzar de lo simple a lo complejo Permitir interacciones	Luz y espacio	Composición Comunicación Preferencia Involucramiento Pragmática Luz natural Luz filtrada Luz reflejada
Eficiente en cuanto a los recursos	Reciclar todos los materiales Ajustar la forma a la función Diseño multifuncional Una solución para múltiples necesidades Procesos de baja energía	Relaciones basadas en el lugar	Conexión geográfica Conexión histórica Conexión ecológica Conexión cultural
Química amigable con la vida	Uso del agua como solvente. Pequeño subconjunto de elementos Se apoyan los procesos de la vida	Relación entre el ser humano y la naturaleza	Prospecto/refugio Orden/complejidad Curiosidad/tentación Atracción/apego Exploración/descubrimiento

ejemplos de cómo se puede ver un elemento biofílico y/o biomimético, pero no necesariamente todo en lo que se puede convertir. Entender que los parámetros son fundamentales para emitir juicios es clave para el proceso de identificación; la pauta está ahí solo como guía, no para determinar hechos.

### ANÁLISIS DE LOS PABELLONES DE LA EXPO DE DUBÁI DE 2020

Este estudio se enfocará en cinco pabellones: Bélgica, Países Bajos, Singapur, Sustentabilidad y los EAU; dispuestos en diferentes partes del área de la Expo de Dubái. Es importante señalar que todos estos pabellones son estructuras altamente tecnológicas. Representan a países con un ingreso per cápita alto y vastos recursos que los apoyan. Cada pabellón se presentará en general y se analizará por elemento; cada elemento de construcción (forma, materiales, disposición, espacio, sistemas y envolvente) que posea parámetros biofílicos o biomiméticos se representará aquí. Los parámetros se codifican en referencia a lo dispuesto en la Tabla 2. Estos parámetros definen una parte vital del marco de análisis (Figura 2). Una vez que se reconoce el elemento de construcción, el autor puede relacionarlo a conceptos biofílicos o biomiméticos (Kellert, 2008).

Tabla 2. Códigos de referencia para los parámetros biofílicos y biomiméticos. Fuente: Creado por los autores.

Diseño biofílico	Código
Características medioambientales.	P1
Formas naturales	P2
Patrones y procesos naturales	P3
Luz y espacio	P4
Relaciones basadas en el lugar	P5
Relación entre el ser humano y la naturaleza	P6
Biomimesis	Código
Evolucionar para sobrevivir	M1
Adaptarse para el cambio	M2
Estar sintonizado localmente y ser capaz de responder	M3
Integrar el desarrollo con el crecimiento	M4
Eficiente en cuanto a los recursos	M5
Química amigable con la vida	M6

### PABELLÓN DE BÉLGICA

La información del pabellón belga se muestra en la Tabla 3. Se inspiró en la noción de un "arco verde" y forma una enorme estructura rectangular de cuatro pisos, envuelta en una vegetación exuberante. Consta de 500 m<sup>2</sup> de exhibiciones, que da una mirada hacia el futuro de las tecnologías e innovaciones de movilidad del país. También tiene un bar-restaurante y un quiosco de comida para llevar, que ofrecen

especialidades belgas en un entorno lujoso, pero acogedor. Además, cuenta con una terraza con un área de descanso, para que se disfrute la puesta de sol y el paisaje. Hay casi 100 bandas verticales de revestimiento de madera de color claro que cubren las fachadas más largas, elevándose para asemejarse a las cuerdas de un gran barco.

Tabla 3. Información de pabellón de Bélgica Fuente: Expo, 2020; Expo, 2021.

Arquitecto	Assar / Vincent Callebaut
Tema	Diversidad en armonía
Área	3.500 m <sup>2</sup>
Ubicación	Distrito de movilidad

### DOSEL SOLAR

El edificio-puente delgado que se ve en la Figura 3 es un monolito dinámico dedicado a las energías renovables, cubierto por un gran dosel de paneles fotovoltaicos y térmicos. Este elemento de construcción usa recursos naturales renovables, como la luz solar, para producir electricidad y agua caliente doméstica para el consumo mismo del pabellón. Liberar la presión de los recursos naturales limitados y usar aquello que es abundante en el entorno es uno de los comportamientos más naturales de los descomponedores, que usan los tejidos muertos disponibles en todas partes como fuente de alimento (M5).

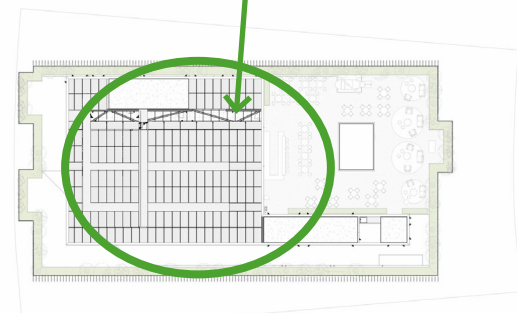


Figura 3: (A) Perspectiva del pabellón belga; y (B) plan del techo que indica el dosel solar. Fuente: Assar, 2020; Dey, 2021.

## EL PARABOLOIDE

El paraboloide que se muestra en la Figura 4 está construido con más de 5,5 kilómetros lineales de entramado de abeto, lo que genera una *mashrabiya* de madera gigante. Se considera como una conexión importante con los Emiratos Árabes Unidos, como parte de los elementos patrimoniales del diseño de construcciones (P5). La *mashrabiya* construida en CLT muestra un elemento giratorio en 180° para la protección solar, la eficiencia energética y la ventilación natural. Esto contribuye al (P1) porque es la integración de materiales naturales, pero contradice mucho al (M3). La madera que se usó en el edificio no es nativa y, probablemente, es importada, lo que reduce potencialmente los ahorros energéticos. La técnica de la envoltura crea misterio y sorpresa en la forma del edificio (P6). El elemento tiene un impacto significativo en la disposición del edificio, enfatizando el eje principal y creando una forma fluida, que conecta el entorno urbano con los espacios exteriores (P1) (P5). La exposición de la superficie al exterior aumenta la forma curva, lo que permite que más luz natural entre al edificio, contribuyendo al ahorro energético y a una mejor calidad del ambiente interior (M5) (P6).



A



B

Figura 4. (A) Indicaciones paraboloides del pabellón de Bélgica en el primer piso; y (B) un zoom de los entramados de abeto que representan el concepto de la mashrabiya. Fuente: Assar, 2020;

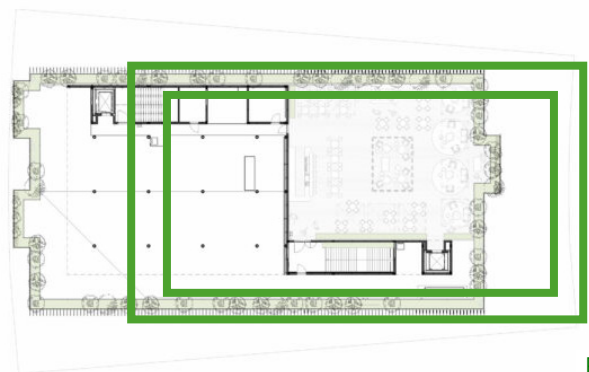
## FACHADA VERDE

El arco verde presenta balcones y un techo con más de 2.500 plantas, arbustos y árboles. Las fachadas, con riego por goteo, refrescan las terrazas exteriores, lo que promueve

una entrega sustentable del agua y la conservación de los recursos. La vegetación, alineada en diferentes niveles, ayuda al enfriamiento del edificio y a ahorros energéticos (Figura 5) (M5). El enfoque involucra el uso organismos vivos para resolver problemas, conectar la identidad y la forma natural con la naturaleza, y mejorar su rendimiento (P1).



A



B

Figura 5. (A) Fachada verde del pabellón de Bélgica; y (B) sus indicaciones en el plano. Fuente: Assar, 2020.

## LA ESCALERA MECÁNICA

La escalera mecánica futurística que se muestra y se indica en la Figura 6, y que está diseñada como un túnel espacio-temporal, impulsa a los visitantes hacia la Odisea 2050. Esta área induce al enriquecimiento sensorial debido a su diseño interior, que es único con respecto al resto del edificio (P3). Crear el diseño de un sistema con múltiples niveles lleva a una experiencia que involucra al misterio en el descubrimiento al final de recorrido, principalmente porque este en un edificio para un evento que no se encuentra regularmente para edificios residenciales o comerciales similares (P6).

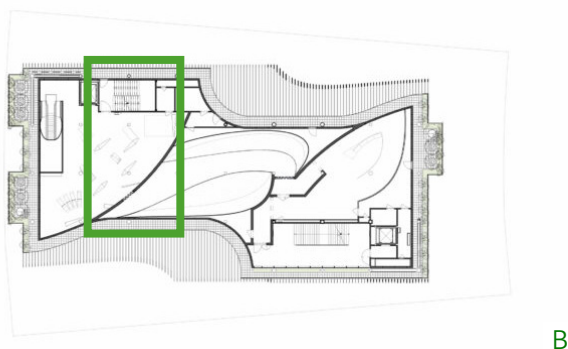
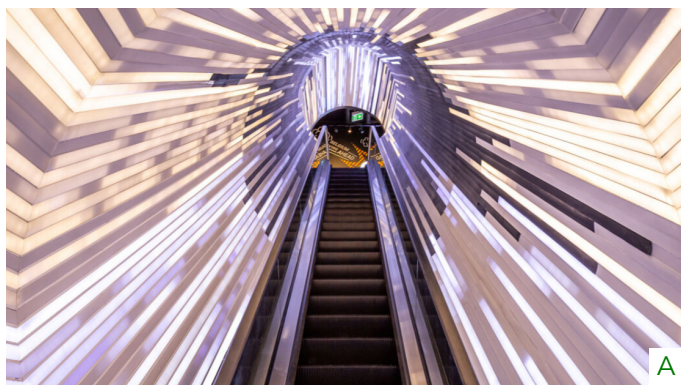


Figura 6. (A) Escalera mecánica con túnel espacio-temporal de Bélgica; y (B) su ubicación en el plano. Fuente: Assar, 2020; ArchDaily, 2021.

## PABELLÓN DE PAÍSES BAJOS

Como aporte de los Países Bajos a la Expo de Dubái de 2020, V8 (Tabla 4) Architects diseñaron su pabellón con su propia agua contenida, electricidad y sistema de alimentación, así como con una mentalidad de “no dejar huella”. El pabellón del biotipo neerlandés incluye, además del espacio principal de exhibición, un auditorio, un área de descanso VIP, un restaurante, una tienda y oficinas, con un área de plano total de 3.727 m<sup>2</sup>.

Tabla 4. Información del pabellón de Países Bajos. Fuente: The National UAE, (2020).

Arquitecto	V8 Architects
Tema	Soluciones sustentables a través de la creatividad de soluciones fuera de lo común
Área	3.727 m <sup>2</sup>
Ubicación	Distrito de la sustentabilidad

### Biotipo

Dentro del pabellón, un gran cono es el elemento principal de la exhibición: una granja vertical cubierta de plantas comestibles por fuera, y hongos por dentro, como se ve en la Figura 7. Entregar elementos interiores naturales, que también son útiles, es un concepto central al integrar el desarrollo con

el crecimiento (P5) (P1) y crear una conexión ecológica sólida, donde el elemento está posicionado y diseñado como una parte central del pabellón (M4). La estructura, similar a una chimenea, regula la temperatura y la humedad, obteniendo agua de la humedad ambiental para la irrigación de las plantas. Al obtener energía renovable de la luz, proveniente de celdas solares transparentes, el pabellón usa la abundante luz solar y la escasa agua para alimentar a 9.300 plantas (M3). El resultado de crear un elemento natural significativo como este es la capacidad de minimizar el uso del sistema activo y el uso de energía, al depender del proceso natural para regular la temperatura (M5). El proceso de condensación lleva a altos niveles de CO<sub>2</sub>, lo que hace que el cono sea ideal para cultivar otros tipos de alimentos. El espacio es húmedo, oscuro y frío; estas son condiciones perfectas para los hongos ostra comestibles. Se los puede oler a medida que crecen dentro del cono, lo que crea una experiencia sensorial enriquecedora (P3).

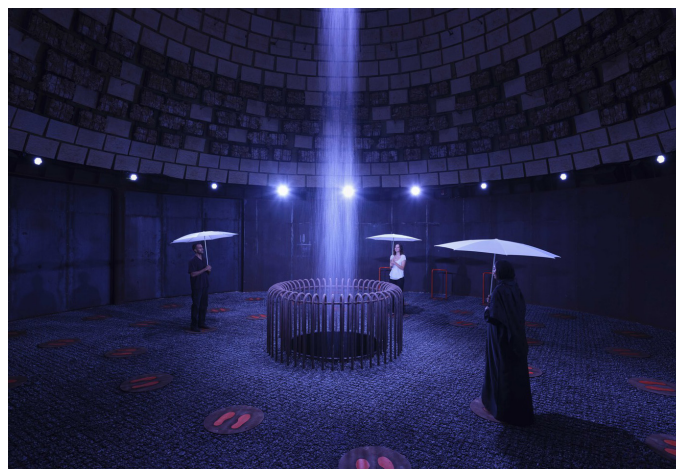


Figura 7. Biotipo del pabellón neerlandés, que exhibe una granja vertical como su centro. Fuente: Aouf, 2020.



## Entrada

Los visitantes bajan al pabellón por una rampa, como se ve en la Figura 7, y comienzan a experimentar el cambio en la temperatura, lo que crea una sensación de exploración y descubrimiento al comienzo de la experiencia. El contraste del orden y la complejidad refuerza la metáfora de la máquina en la sala de control, que lleva hacia adentro del cono central donde las innovaciones técnicas del pabellón se pueden proyectar sobre paraguas blancos (P6).

## Materiales

El pabellón de Países Bajos usa hierro reciclado, biopolímeros y baldosas de biomasa para un exterior amigable con el medio ambiente, lo que promueve principios de la economía circular (M5) (M6). V8 Architects construyeron el pabellón principalmente con acero obtenido de empresas locales. Se usó arena excavada desde el lugar para el relleno de la pila de doble lámina y como material de aislación temporal, y se usará para rellenar el espacio después de la Expo (M3). Los muros, que se ven en la Figura 8, están hechos de apilamientos de láminas de acero, mientras que el techo está hecho de tubos de acero, a la vez que se evitó el concreto en los cimientos del pabellón para evitar químicos perjudiciales (M6). Hay un dosel biodegradable de la firma Buro Belén, de Ámsterdam, y una cortina de biopolímero de maíz en la conexión ambiental mejorada del espacio y los elementos de construcción hechos por el ser humano (P1).

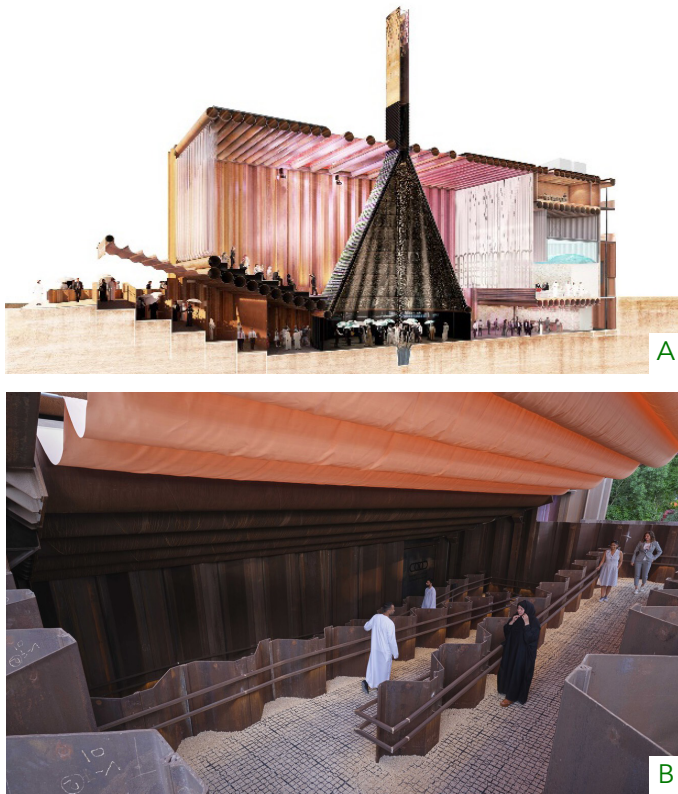


Figura 8: (A) Corte transversal tridimensional del pabellón de los Países Bajos, donde se ven los materiales, los niveles y el eje de movimiento, y (B) puerta de entrada con una proyección horizontal y nivelado. Fuente: Aouf, 2021; The National UAE, 2020.

## PABELLÓN DE SINGAPUR

El pabellón de Singapur en la Expo de Dubái de 2020 ejemplifica el deseo de la ciudad de tener un futuro sustentable, que integre la arquitectura, la naturaleza, la tecnología y la cultura (Tabla 5). El pabellón fue diseñado por WOHA Architects y la firma de diseño de paisajes Salad Dressing, para presentar una muestra del ambiente urbano de Singapur que ejemplifica la meta de la ciudad-estado de tener una Ciudad en la Naturaleza. A través de la unión de la tecnología y la naturaleza, el espacio verde de múltiples niveles genera un ecosistema autosuficiente que destaca nociones de sustentabilidad y resiliencia.

Tabla 5. Información del pabellón de Singapur. Fuente: Expo de 2020 – Singapore Pavilion, 2023.

Arquitecto	WOHA
Tema	Naturaleza Crianza. Futuro.
Área	1.500 m <sup>2</sup>
Ubicación	Distrito de la sustentabilidad

## Los jardines a ras de piso

El espacio verde multinivel de Singapur (Figura 9) destaca la sustentabilidad y la resiliencia al integrar la tecnología con la naturaleza. Con más de 170 especies vegetales, los visitantes pueden experimentar las selvas tropicales, los manglares y los

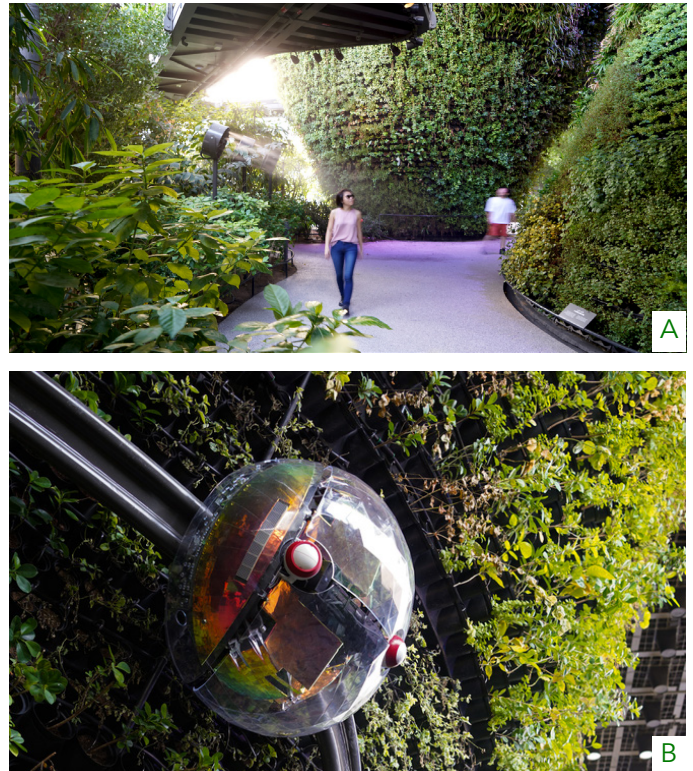


Figura 9. Primer piso del pabellón de Singapur, con jardín vertical y (b) robots escaladores que actúan como sistema de mantenimiento. Fuente: Transsolar Klima Engineering, 2021.

ríos selváticos, lo que crea un bioambiente rico (M4) (P3) (P1) (P6). Con más de 80.000 plantas de más de 170 variedades vegetales y un sistema integrado de vegetación, energía y manejo del agua dentro de un sitio de 1.500 m<sup>2</sup>, diseñado eficientemente, se crea un nuevo ambiente autosuficiente que imita la suficiencia de la naturaleza como sistema (M1).

Oceania Robotics desarrolló tres prototipos de robots escaladores para jardines verticales y "skyrise", usando sistemas de comunicación que recuerdan a organismos vivos para mantener la vegetación y supervisar la salud vegetal (M4).

### Conos temáticos

El diseño biofílico y la arquitectura del pabellón destacan a la naturaleza como una solución urbana, rodeada por 3 conos modulares, vegetación vertical y jardines colgantes. Muestra árboles tropicales, arbustos, orquídeas y plantas etnobotánicas. Soluciones innovadoras, como la bruma seca y las tuberías solares, permiten que las plantas tropicales se desarrollen exitosamente, lo que crea un solaz sensorial (P1) (M4). La forma del cono puede ser más considerada porque la naturaleza es desordenada y no perfectamente curva y geométrica (P2).

Se experimenta un viaje sensorial a través del pabellón, que destaca un jardín a ras de suelo, jardines cónicos y un jardín colgante, que muestran el patrimonio natural de Singapur, las soluciones urbanas innovadoras y las especies de orquídeas (P3).

El pabellón de Singapur ofrece caminatas cómodas y que se pueden disfrutar, con sombra, enfriamiento gracias a la vegetación y ventiladores de bruma fina, lo que ahorra recursos y reduce la carga de enfriamiento en el desierto (M5).

### Mercado en el cielo

Aunque el mercado en el cielo de la Figura 10A está aislado de la vegetación densa de los primeros dos pisos, este representa un gran elemento de perspectiva, misterio y descubrimiento. Por otro lado, el exterior, en la Figura 10B, lo define claramente como un lugar final para el viaje por la naturaleza, al crear un ambiente completamente opuesto con muros vacíos, bordes limpios y un destino central (P6).



Figura 10. (A) Mercado en el cielo, interior y exótico, del pabellón de Singapur y (B) su énfasis en el exterior. Fuente: desde Transsolar Klima Engineering, 2021.

### Dosel solar

El pabellón, que obtiene su energía de 517 paneles solares, entrega 161 MWh de potencia durante la Expo. Es autosustentable y está en el duro ambiente desértico, usando recursos locales e irrigación para la amplia vegetación. El diseño del pabellón imita el poder de la naturaleza, reduciendo la temperatura ambiente en 6° a 10°C (M5) (M3).

### PABELLÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

El pabellón de Grimshaw (Tabla 6) es una de las tres estructuras importantes de la Expo de Dubái de 2020, que abrió a principios de este mes, un año después de lo planificado debido a la pandemia. Contiene 6.000 m<sup>2</sup> de espacio de exhibición y se ubica en el centro del Distrito de Sustentabilidad de la Expo. Promete mostrar a los visitantes "la forma en la que podemos cambiar nuestras elecciones diarias para reducir nuestra huella de carbono y nuestro impacto ambiental".

Tabla 6. Información del Pabellón de la Sustentabilidad. Fuente: Expo 2020 - Terra 2023.

Arquitecto	Grimshaw Architects
Tema	Naturaleza. Crianza. Futuro.
Área	1.500 m <sup>2</sup>
Ubicación	Distrito de la sustentabilidad

### Sistema de energía y de agua

El diseño del pabellón combina procesos naturales, como la fotosíntesis, optimizando la luz natural y recolectando la humedad, con un techo de 130 metros, paneles fotovoltaicos y 18 "árboles energéticos" para la sombra (M1). El sistema de manejo de aguas del pabellón usa la condensación, el filtrado y la desinfección, mezclado con agua desalinizada, y genera energía a través de paneles fotovoltaicos ubicados en el techo. Genera agua limpia desde el agua de desecho, la



A

condensación y el agua superficial salobre; el uso combinado de muchos recursos sustentables logra muchas de las metas sustentables de la región (M5).

### Materiales

El pabellón de la sustentabilidad en la Expo Dubái de 2020 tiene una huella de carbono integrada de casi 18.000 toneladas, una cifra que es el doble del nivel recomendado para un edificio de su tamaño. Su espectacular dosel de acero, que se ve en la Figura 11, es responsable por emisiones importantes, innecesarias y dañinas, que contribuyen al calentamiento global y contaminan a la naturaleza (M6).



Figura 11. Dosel exterior del pabellón de sustentabilidad hecho de acero y de árboles fotovoltaicos (B), que se basan en la naturaleza en forma y en función. Fuente: Fairs, 2021; Prisco, 2021.

### Forma

La forma de embudo que se ve en la Figura 12 estimula la ventilación natural y entrega luz natural dentro del pabellón. La forma curva es un patrón biofílico, y su aporte a la ventilación ayuda a minimizar las cargas de enfriamiento y a ahorrar energía. La luz natural actúa como un elemento natural dentro del pabellón, y contribuye a los ahorros de energía mediante la reducción de la necesidad de tener luz artificial (M5) (M4) (P2).

### PABELLÓN DE LOS EAU

El diseño del pabellón de los EAU evoca a un halcón en vuelo, haciendo referencia al arte tradicional de la cetrería

de los Emiratos. El edificio principal se parece a un óvalo titánico, con una entrada grandiosa de cuatro pisos dispuesta en la punta. Hay más de 25 paneles parecidos a plumas, dispuestos en el domo del pabellón, cada uno curvado hacia la entrada de la estructura (Tabla 7).

Tabla 7. Información del pabellón de los EAU. Fuente: Expo de 2022 – UAE Pavilion, 2023.

Arquitecto	Santiago Calatrava
Tema	Presentación de la rica cultura y brillante futuro de los EAU
Área	15.000 m2
Ubicación	Distrito de la oportunidad

### Diseño del techo

El pabellón de cuatro pisos se basa en un “halcón en vuelo” y está adornado con una serie de “alas”, lo que crea una forma natural al edificio completo. Para llevar a la vida el tema central del pabellón, del “halcón en vuelo”, el techo se diseñó en la forma de alas, que representan el flujo de movimiento (P2). La geometría inclinada del techo y las alas flotantes crean conexiones visuales y externas, que dan la bienvenida a los visitantes que se acercan al pabellón de los EAU de todas direcciones, aumentando su accesibilidad (P5).

Hay 28 alas hechas de fibra de carbono y cubiertas de paneles FV, como se ve en la Figura 12. Los accionadores hidráulicos generan el movimiento de las alas (M5). El techo completo se puede abrir en tres minutos expandiendo las alas, lo que le da la capacidad de adaptarse al cambio y de crear nuevas opciones (M1) (M2). La estructura protege a los paneles de la lluvia y las tormentas de arena, mientras que procesos locales de obtención y formado en frío minimizan los impactos ambientales, preservando los recursos y mejorando las oportunidades locales de empleo (M2) (M5).



Figura 12. Forma similar a alas del pabellón de los EAU. Fuente: Ravenscroft, 2021.

### Centro esférico

Al centro del pabellón de 15.000 m<sup>2</sup> hay un vacío esférico, como se ve en la Figura 13, que sirve como un auditorio. Está rodeado por un espacio de reunión multinivel, con un tragaluz circular que incorpora el logo de la Expo de 2020 (P2). La plataforma, que acoge a los asientos, puede mover y transportar a la audiencia entre los diferentes pisos, lo que crea una sensación de descubrimiento dinámico a la vez que se satisfacen las necesidades funcionales (M2) (P6). El tragaluz "Oculos" está diseñado de la forma del logo de la Expo 2020 y se ubica a 27,8 metros. Entrega luz natural dentro del espacio del pabellón, lo que reduce la necesidad de tener luz artificial usando una fuente sustentable de luz (P4).

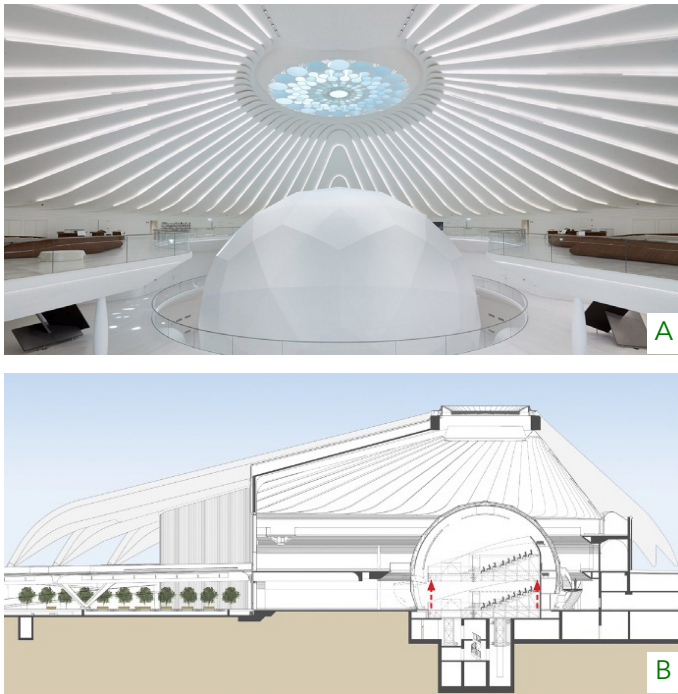


Figura 13 (A) Centro esférico del pabellón de los EAU y (B) su corte transversal. Fuente: Ravenscroft, 2021.

### Paisaje

Además, el paisaje circundante que se ve en la Figura 13 contiene 80 árboles y más de 5.600 plantas, para garantizar que se mantenga un ambiente biofílico y que se mejore la biodiversidad (P1). El diseño incorpora especies vegetales usadas comúnmente en espacios públicos, yuxtaponiéndolas con el *falaj*, un sistema de riego antiguo de los EAU. Este enfoque geográfico, cultural y ecológicamente sustentable destaca la innovadora importancia cultural del *falaj* (P5).

El enfriamiento pasivo, la ventilación y las estrategias de sombreado reducen el consumo de energía del edificio, lo que crea ambientes exteriores cómodos con jardines sombreados y grandes piscinas (M3). Las galerías sombreadas, protegidas por la forma de las alas flotantes, permiten tener ambientes exteriores que acogen a las especies de árboles y plantas nativas y adaptadas a la región, siendo altamente funcionales y

dando respuesta al clima cálido de la región. Estas estrategias pasivas reducen el uso de energía, especialmente para las necesidades de enfriamiento prevaletientes (P5).

## DISCUSIÓN

Las características biofílicas y biomiméticas pueden servir a la agenda sustentable; los cinco casos discutidos contienen 60 características, cada una logrando 1 a 2 aspectos sustentables, como se ve en la Tabla 8. Esto demuestra cómo la integración de la naturaleza en el ambiente humano construido puede beneficiar a los ocupantes y al ambiente natural. Las aplicaciones futuras pueden intentar cubrir más aspectos en una estrategia que promueva los beneficios de las estrategias de diseño inspirado en la vida en los edificios. Esto se puede lograr mediante investigación exclusiva sobre la integración de las necesidades de la naturaleza y las del ser humano. Se puede beneficiar al mundo y a la especie humana al entender en mayor profundidad a la naturaleza y a cómo esta funciona.

Tabla 8. Resumen de los patrones y sus aspectos de sustentabilidad. Fuente: Creado por los autores.

Diseño biofílico	Código	Nº de aplicaciones	Direcciones de aspectos de sustentabilidad.
Características medioambientales.	P1	8	Eficiencia energética Calidad ambiental interior
Formas naturales	P2	4	Eficiencia energética Adaptabilidad y flexibilidad
Patrones y procesos naturales	P3	4	Biodiversidad Calidad ambiental interior
Luz y espacio	P4	1	Eficiencia energética
Relaciones basadas en el lugar	P5	6	Biodiversidad Calidad ambiental interior
Relación entre el ser humano y la naturaleza	P6	7	Calidad ambiental interior Adaptabilidad y flexibilidad

Biomimesis	Código	Nº de aplicaciones	Direcciones de aspectos de sustentabilidad.
Evolucionar para sobrevivir	M1	3	Biodiversidad
Adaptarse para el cambio	M2	2	Adaptabilidad y flexibilidad
Estar sintonizado localmente y ser capaz de responder	M3	6	Eficiencia energética Preservación del agua
Integrar el desarrollo con el crecimiento	M4	5	Eficiencia energética Biodiversidad
Eficiente en cuanto a los recursos	M5	11	Eficiencia energética Calidad ambiental interior
Química amigable con la vida	M6	3	Materiales sustentables

## CONCLUSIÓN

La combinación de la biofilia y la biomímesis en el diseño representa un cambio en el paradigma hacia una integración pacífica entre el ser humano y los ecosistemas naturales. La reverencia por la vida se revela en el diseño biofílico, que incorpora suavemente a la naturaleza a la composición estructural de numerosos edificios. Integrar conceptos de sustentabilidad desde el comienzo de un proyecto muestra un compromiso con las relaciones armónicas entre los entornos construidos y los sistemas ecológicos. Esta dedicación apoya a la sustentabilidad.

Los pabellones de la Expo de Dubái de 2020 muestran diseños inspirados en la naturaleza, para promover la sustentabilidad y la armonía con las bellezas de la naturaleza. El diseño biomimético aborda temas interdisciplinarios de sustentabilidad, promoviendo la preservación de la energía y una conexión profunda con el mundo natural. La biomímesis demuestra la sustentabilidad económica y ambiental, mostrando la sabiduría de la naturaleza y la inventiva humana al interactuar con la naturaleza.

El estudio examinó la aplicación de la biomímesis en los pabellones de la Expo de Dubái de 2020. Estos ejemplos mostraron cómo estas técnicas podrían transformar al diseño a través de la sustentabilidad. Estos pabellones ofrecieron lugares físicos y experiencias inmersivas que reflejaron la dinámica y la armonía de la naturaleza, al incorporar conceptos e ideas naturales.

La naturaleza, la biofilia y la biomímesis son conceptos fundamentales que crean armonía en las estructuras. Como arquitectos, la creatividad abarca las conexiones humanas, la sustentabilidad ambiental y un futuro donde la arquitectura se vuelva parte de la sinfonía de la vida, en vez de ser solo un refugio.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, I.I. y B.A.; Conservación de datos, B.A. y I.I.; Análisis formal, B.A.; Investigación, B.A.; Obtención de fondos, I.I.; Investigación, I.I. y B.A.; Metodología, B.A. y I.I.; Gestión de proyectos, I.I.; Recursos; Software; Supervisión, I.I.; Validación, I.I.; Visualización, I.I.; Redacción - borrador original, B.A.; Redacción - revisión y edición, I.I. y arquitectura pasa a formar parte de la sinfonía de la vida en lugar de ser un mero refugio.

## REFERENCIAS

Aamer, H.S., Hamza, A. F., Khairy, M., & Ghonimi, I. (2020). Biomimicry as a Sustainable Design Methodology for Building Behaviour. *Engineering Research Journal-Faculty of Engineering (Shoubra)*, 46(1), 191-201.

Aboulnaga, M. and Helmy, S.E. (2022). Biomimicry in Criticism: Argument, Defense, and the Direction Toward Sustainability. In:

*Biomimetic Architecture and Its Role in Developing Sustainable, Regenerative, and Livable Cities: Global Perspectives and Approaches in the Age of COVID-19* (pp. 411-454). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08292-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08292-4_6)

Aboulnaga, M. and Helmy, S. E. (2022). Can Nature and Biomimicry Be the Solution for Net-Zero Cities? Discussions and Recommendations for the Future of Biomimetic Architecture. In: *Biomimetic Architecture and Its Role in Developing Sustainable, Regenerative, and Livable Cities: Global Perspectives and Approaches in the Age of COVID-19* (pp. 507-549). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08292-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08292-4_8)

Al-Rhodesly, A., (2019). Biophilic Approach to Architecture: Case of the Alhambra. Al-Andalus [Thesis for the degree of Master of Science in Architectural Engineering]. Alexandria University.  
 Bianciardi, A., Becattini, N., Cascini, G. (2023). How would nature design and implement nature-based solutions? *Nature-Based Solutions*, 3, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100047>

Aouf, R.S. (2021). V8 Architects' Dutch Biotope pavilion generates water and food at Dubai Expo. Available from: <https://www.dezeen.com/2021/10/06/v8-architects-dutch-biotope-pavilion-dubai-expo-2020-architecture/>.

ArchDaily, (2021). The Green Arch Belgian Pavilion Expo 2020 Dubai / Vincent Callebaut Architectures + Assar Architects. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/971259/the-green-arch-belgian-pavilion-expo-2020-dubai-vincent-callebaut-architectures-plus-assar-architects>

Assar. (2020). The Green Arch Belgian Pavilion Expo Dubai. Assar. <https://www.assar.com/project/the-green-arch-belgian-pavilion-dubai/>

Dey, K. (2021). Dubai Expo- The Belgium Pavilion- Country's 2050 Mobility Vision. BIOREV. <https://biorev.com/blog/2020-dubai-expo-the-belgium-pavilion-countrys-2050-mobility-vision/>

Expo2020. (2021). Belgium Pavilion. EXPO2020 DUBAI UAE. <https://www.expo2020dubai.com/en/understanding-expo/participants/country-pavilions/belgium>

Expo2020. (2023). Singapore Pavilion. EXPO2020 DUBAI UAE. <https://www.expo2020dubai.com/en/understanding-expo/participants/country-pavilions/singapore>

Expo2020. (2023) Terra - The Sustainability Pavilion. EXPO2020 DUBAI UAE. <https://www.expo2020dubai.com/en/understanding-expo/participants/special-pavilions/sustainability>

Expo2020. (2023). UAE pavilion. EXPO2020 DUBAI UAE. <https://www.expo2020dubai.com/en/understanding-expo/participants/country-pavilions/uae>

Fahmy, S.F.A. (2018). Biomimicry as an innovation in modern Architecture Design. In: 3rd International Conference for Arab Civilization and the Islamic Arts "The Civilization and Building Creative Characters" Fourth core: Architecture, art, technology and building creative characters Second element: Innovation, creation and development in art, design and architecture, Hurghada, Egypt. <https://doi.org/10.12816/0044834>

Fairs, M. (2021). Grimshaw's "completely OTT" Sustainability Pavilion at Expo 2020 Dubai caused "significant unnecessary emissions". *dezeen*. <https://www.dezeen.com/2021/10/15/grimshaw-sustainability-pavilion-expo-2020-dubai-significant-unnecessary-emissions/>

Faragalla, A.M., & Asadi, S. (2022). Biomimetic Design for Adaptive Building Façades: A Paradigm Shift towards Environmentally Conscious Architecture. *Energies*, 15(15), 5390. <https://doi.org/10.3390/en15155390>

Green, K. (2005). The 'Bio-logic' of Architecture," Proceedings for the 2005 ACSA National Conference, Chicago, 522-530. <https://www.acsa-arch.org/proceedings/Annual%20Meeting%20Proceedings/ACSA.AM.93/ACSA.AM.93.62.pdf>

Isle, N. & E. Leitch. (s.f.). Biomimicry—Life's Principles: Applying the Laws of Nature. [cited 2023]. Oregon State Bar Sustainable Future Section. <https://sustainablefuture.osbar.org/section-new-sletter/20101spring6isleleitch/#NIELReturn>

Jamei, E., & Vrcelj, Z. (2021). Biomimicry and the built environment, learning from nature's solutions. *Applied sciences*, 11(16), 7514. <https://doi.org/10.3390/app11167514>

Karabetça, A.R. (2015, 24-28 March). Nature Inspired Architectural Designs: Using Biomimicry as a Design Strategy. [Proceeding Book]. International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design. Grand Excelsior Hotel, Sharjah/Dubai. <https://icntadconference.com/wp-content/uploads/2023/03/1st-ICNTAD-2015-PROCEEDING-BOOK.pdf>

Kellert, SR (2008). Dimensiones, elementos y atributos del diseño biofílico. *Diseño biofílico: teoría, ciencia y práctica de dar vida a los edificios*, 3-19.

Oguntona, O. A., & Aigbavboa, C. (2023). Nature Inspiration, Imitation, and Emulation: Biomimicry Thinking Path to Sustainability in the Construction industry. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1085979>

Perricone, V., Santulli, C., Rendina, F., & Langella, C. (2021). Organismal Design and Biomimetics: a problem of scale. *Biomimetics*, 6(4), 56. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6040056>

Prisco, J. (2021). This Expo pavilion makes its own water and energy. *CNN*. <https://edition.cnn.com/travel/article/sustainability-pavilion-expo-2020-water-energy-dubai-spc-intl/index.html>

Ravenscroft, T. (2021). Santiago Calatrava tops UAE Pavilion at Dubai Expo with 28 opening wings. *dezeen*. <https://www.dezeen.com/2021/10/01/uae-pavilion-dubai-expo-2020-santiago-calatrava/>

Schreiner, W. (2018). Biomimicry: A History. The Ohio State University. *Ehistory*. <https://ehistory.osu.edu/exhibitions/biomimicry-a-history>

Taylor Buck, N. (2017). The Art of imitating life: The potential contribution of biomimicry in shaping the future of our cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(1), 120-140. <https://doi.org/10.1177/0265813515611417>

Terrapin Bright Green (2014). 14 PATTERNS OF BIOPHILIC DESIGN. Improving Health & Well-Being in the Built Environment. TERRAPIN. <https://www.terrabinbrightgreen.com/reports/14-patterns/>

Thampanichwat, C., Moorapun, Ch., Bunyarittikit, S., Suphavarophas, Ph., & Phaibulputhipong P. (2023). A Systematic Literature Review of Architecture Fostering Green Mindfulness. *Sustainability*, 15(4), 3823. <https://doi.org/10.3390/su15043823>

The National UAE. (2020). Dutch Pavilion Expo 2020. <https://www.thenationalnews.com/2021/06/26/dutch-pavilion-expo-2020/>

Transsolar Klima Engineering. (2021). Singapore Pavilion Expo 2020, Dubai, United Arab Emirates. <https://transsolar.com/projects/singapore-pavilion-at-expo-2021>

University of Minnesota. (2023). Biophilic Net-Positive Design Project. <https://biophilicdesign.umn.edu/>

Van der Ryn, S. and Cowan, S. (2013). *Ecological design*. Island Press.

Varshabi, N., Selçuk, S. A., & Avinç, G. M. (2022). Biomimicry for Energy-Efficient Building Design: A Bibliometric analysis. *Biomimetics*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7010021>

Zare, G., Faizi, M., Baharvand, M., & Masnavi, M. (2021). A review of Biophilic Design Conception Implementation in Architecture. *Journal of Design and the Built Environment*, 21(3), 16-36. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol21no3.2>