
Principios teóricos de permacultura y arquitectura *off-grid*, aplicados en *earthships* ubicadas en el norte de México y sur de Estados Unidos

Theoretical Principles of Permaculture and Off-Grid Architecture Applied to Earthships in Northern Mexico and the Southern United States

Revista Latinoamericana de Investigación Social, vol. 8, no.3

Jorge Arturo Zárate Cisneros
Universidad La Salle Victoria
jorgezarate.84@ulsavictoria.edu.mx

Cecilia Martha Elizondo Cárdenas
Universidad La Salle Victoria
ceciliaelizondo.1308@ulsavictoria.edu.mx

Anais Estefanía González Peña
Universidad La Salle Victoria
anais.gonzalez@ulsavictoria.edu.mx

(correspondencia)
Patricia Mayela Báez Mansur
Universidad La Salle Victoria
patriciaabaez.1864@ulsavictoria.edu.mx

Artículo de investigación

Recibido: 07/04/2025

Aceptado: 20/08/2025

Fecha de publicación: 26/09/2025

Resumen

La permacultura surge en la década de los 70's con la intención de diseñar ecosistemas humanos sostenibles y de este modo conciliar al hombre y todas sus prácticas con el planeta y el medio ambiente. Hoy casi 55 años después ante deforestaciones masivas por cultivos o desarrollos inmobiliarios, el desplazamiento de especies nativas, la sobreexplotación de los recursos naturales, el uso de materiales altamente industrializados o con una gran huella de carbono ha puesto la mirada en las prácticas del diseño arquitectónico y la construcción.

Bajo este contexto, la arquitectura *off-grid* busca ser una propuesta radical planteando una

autosuficiencia energética, adaptándose al contexto usando y reutilizando recursos y materiales, defendiendo un estilo de vida de bajo impacto ambiental; si bien es cierto que la relación entre naturaleza-hombre-construcción se ha caracterizado por no ser respetuosa o armoniosa, vivimos una época donde no podemos seguir con estas prácticas donde la escasez de recursos ya es una realidad y los efectos del calentamiento global empiezan a impactar a nuestras sociedades.

En este contexto, retomar los principios de la permacultura, la arquitectura *off-grid* y la sustentabilidad como una práctica habitual en diseño y construcción de nuestros espacios se hacen urgentes y necesarios, a fin de preservar los recursos naturales y dar respuestas arquitectónicas responsables con el planeta. En este artículo, se investigan los principios teóricos de la permacultura y la arquitectura *off-grid* y su aplicación directa en proyectos de *earthships* ubicados en el norte de México y en el sur de Estados Unidos.

Palabras clave: Arquitectura *off-grid*; diseño arquitectónico; *earthship*; nave tierra; habitabilidad; permacultura; sustentabilidad; uso responsable de recursos naturales.

Abstract

Permaculture emerged in the 1970s with the aim of designing sustainable human ecosystems, fostering a harmonious relationship between humanity, its practices, and the planet. Nearly 55 years later, the pressing challenges of massive deforestation for agriculture or real estate development, the displacement of native species, the overexploitation of natural resources, and the use of highly industrialized materials with significant carbon footprints have shifted attention to architectural design and construction practices.

In this context, off-grid architecture emerges as a radical proposal, advocating for energy self-sufficiency, adapting to the local context by using and reusing resources and materials, and promoting a low environmental impact lifestyle. While the relationship between nature, humanity, and construction has historically been characterized by a lack of respect and harmony, we now face a time when such practices are no longer viable. Resource scarcity is already a reality, and the effects of global warming are beginning to profoundly impact our societies.

Against this backdrop, revisiting the principles of permaculture, off-grid architecture, and sustainability as standard practices in the design and construction of our spaces becomes both urgent and necessary. Such an approach aims to preserve natural resources and provide architectural responses that are responsible to the planet. This article investigates the theoretical principles of permaculture and off-grid architecture, exploring their direct application in earthship projects located in northern Mexico and the southern United States.

Keywords: *Off-grid architecture; architectural design; earthship; nave tierra; habitability; permaculture; sustainability; responsible use of natural resources.*

Introducción

El aumento de la sobreexplotación y la falta de recursos, así como los efectos del cambio climático ha motivado a muchas disciplinas a reconsiderar sus métodos y estrategias. En el ámbito de la arquitectura y el urbanismo, el diseño sustentable ha cobrado importancia en las últimas décadas como un método para abordar los desafíos ecológicos y sociales que conlleva el crecimiento de la población, el cambio climático y la escasez de recursos (García & Arnanz 2019). La permacultura es una de las teorías más sobresalientes que buscan esta integración completa con el medio ambiente, cuyo enfoque integral de planificación y diseño se basa en la comprensión de los sistemas naturales y de la comunidad. La permacultura se ha consolidado como una metodología teórica y aplicada que incorpora principios ecológicos, diseño sustentable y participación comunitaria para crear proyectos sustentables a largo plazo (Fundación Aquae, 2021). Esta filosofía no sólo incluye la generación de alimentos, sino también la creación de espacios habitables en los que se utilicen los recursos de manera responsable y eficaz, fomentando la renovación de los ecosistemas.

El término permacultura fue concebido por los investigadores australianos Bill Mollison y David Holmgren a comienzos de la década de 1970, en un periodo marcado por transformaciones sociales y avances científicos de gran relevancia. Según Bellver (2000), estos sucesos incluyeron eventos como la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972; la primera conmemoración masiva del Día de la Tierra en Estados Unidos en 1970; y la publicación del informe Los límites del crecimiento del Club de Roma en 1972. No obstante, el historiador estadounidense Daniel Worster sostiene que el inicio de la "era de la ecología" puede rastrearse hasta el 16 de julio de 1945, en el desierto de Nuevo México, con la detonación de la primera bomba nuclear, evento que evidenció el poder destructivo del ser humano sobre sí mismo y su entorno.

Ante este panorama, la propuesta de Mollison y Holmgren respondió a la crisis ambiental que se enfrentaba en ese momento por el desarrollo desmedido, la contaminación industrial y urbana, así como la deforestación para cultivos y ganadería; su trabajo consistió en el estudio y observación de sistemas naturales para diseñar ambientes ecológicamente equilibrados y socialmente justos; teniendo sus raíces en las culturas ancestrales. El término "permacultura" es una contracción de "agricultura permanente", que posteriormente evolucionó al concepto de "cultura permanente", esto implica que su aplicabilidad es diversa, pudiendo adaptar sus principios para diseñar una vivienda, un huerto, una comunidad sustentable o una bio-región sustentable. Las estrategias de la permacultura varían de una región a otra, pero sus principios éticos y de diseño son universales, lo que facilita la planeación, el desarrollo, la organización y el mantenimiento de sistemas sostenibles. (Kruger, 2015).

Como se ha visto, el concepto de permacultura se aplica a diversos espacios buscando el menor impacto posible en el medio ambiente, utilizando los recursos disponibles de manera eficiente como el agua o la luz, pudiendo a largo plazo alcanzar la autonomía. En el ámbito urbano busca que a través de los espacios públicos y/o parques se incentive la interacción social, el intercambio cultural y la generación de un sentido de comunidad colectiva. (Iñiguez, 2024).

Holmgren (2011) propuso doce principios de diseño que se consideran el núcleo de la permacultura, estos principios, aunque originalmente concebidos para el manejo de la tierra y la producción de alimentos, son aplicables a otras disciplinas, estos son:

- a) Observar e interactuar: Conocer el sitio y su dinámica ecológica antes de intervenir.
- b) Capturar y almacenar energía: Asegurar fuentes de energía renovable (solar, eólica) y la optimización de su uso.
- c) Obtener un rendimiento: Diseñar para que el sistema ofrezca beneficios tangibles en plazos razonables.
- d) Aplicar la autorregulación y aceptar la retroalimentación: Ajustar el diseño a partir de la experiencia y los cambios en el entorno.
- e) Usar y valorar los servicios y recursos renovables: Priorizar materiales y procesos que sean renovables o de bajo impacto.
- f) No producir desperdicios: Incorporar principios de economía circular en la edificación y operación.
- g) Diseñar desde patrones hacia los detalles: Enfocarse en la planificación macro antes de resolver aspectos específicos.
- h) Integrar en lugar de segregar: Fomentar la sinergia entre elementos del sistema.
- i) Usar soluciones lentas y pequeñas: Adaptar el proyecto gradualmente y con escalas manejables.
- j) Usar y valorar la diversidad: Emplear materiales y técnicas diversas para robustecer la resiliencia.
- k) Usar los bordes y valorar lo marginal: Explorar las zonas de transición donde a menudo hay mayor diversidad y oportunidades.
- l) Usar creativamente y responder al cambio: Mantener la flexibilidad ante los cambios ambientales, sociales y económicos.

De acuerdo a Marques et al., (2023) la permacultura:

Busca incorporar métodos, soluciones ecológicas y económicas que satisfagan las necesidades básicas de las personas, utilizando mano de obra local, sin dañar el medio ambiente y promoviendo autosuficiencia a largo plazo. Algunos principios de la permacultura para arquitectura incluyen:

- a) Integración: la creación de sistemas que funcionen en armonía con el medio ambiente y las personas que los utilizan.
- b) Zonas: la organización de áreas según la frecuencia de uso e intensidad de mantenimiento.
- c) Eficiencia energética: el uso de técnicas y tecnologías que minimicen el consumo de energía
- d) Uso de recursos locales: el uso de materiales y mano de obra disponibles en la región
- e) Ciclo de nutrientes: la creación de sistemas que permitan el reciclaje de nutrientes, como el compostaje.
- f) Resiliencia: la creación de sistemas capaces de adaptarse a los cambios y a los desafíos futuros.

Estos principios tienen efectos socioambientales esenciales y pueden aplicarse en ciudades para hacerlas inteligentes y sostenibles.

Por otra parte, el concepto de arquitectura *off-grid* ha ganado importancia al proponer soluciones de construcción que se desvinculen de manera parcial o completa de las redes tradicionales de abastecimiento de agua, luz y drenaje (Souza, 2021). Al integrar los principios de la permacultura con la arquitectura *off-grid*, se crea una estrategia que busca reducir la huella ecológica y fomentar la capacidad de resiliencia de las comunidades.

El término *off-grid* hace referencia a un sistema que está fuera de la red, que es aislado o autónomo, se refiere a no estar conectados a una red, utilizándose este término principalmente para hacer referencia a no estar conectado a la red eléctrica (Vázquez, 2022).

En términos de vivienda, el término *off-grid* hace referencia a una construcción que no está conectada a la infraestructura de servicios públicos, como la red eléctrica, el suministro de agua o el sistema de alcantarillado. Tiene la capacidad de generar su propia energía, recolectar y tratar su propia agua, así como gestionar sus propios residuos. Las viviendas *off-grid* pueden utilizar una variedad de fuentes de energía renovable, como paneles solares, aerogeneradores, sistemas hidroeléctricos o generadores de biomasa; están adaptadas para recolectar y almacenar agua de lluvia y contar con pozos para suministrar agua, en cuanto a la gestión de residuos utilizan sistemas de baños composteros o fosas sépticas. (Ferreira, 2024)

Las *earthships* fueron ideadas y desarrolladas por el arquitecto Michael Reynolds en 1978, quien tomó la iniciativa de emplear materiales reciclados para edificar viviendas totalmente autosuficientes y sostenibles. Con ese propósito, se mudó con su familia a Taos, en el estado de Nuevo México. Estas viviendas están diseñadas para operar de forma independiente y se construyen comúnmente con elementos como botellas de vidrio, latas, tierra, paja, adobe y neumáticos usados rellenos de tierra. Además, aprovechan la masa térmica para mantener una temperatura interior estable sin necesidad de sistemas convencionales de climatización (Vergara et al., 2022).

Los *earthships* son edificios solares pasivos que se alimentan de energía renovable y disponen de sistemas de recolección de agua, por las características de los materiales con los que están construidos este tipo de espacios requieren de un casi nulo uso de energía en la extracción, transporte y uso de los mismos, razón por la cual no generan un impacto ambiental, aplicando la regla “3R”: reducir, reutilizar y reciclar. (Juez, 2020)

El objetivo de esta investigación es conocer cómo los principios de la permacultura y la arquitectura sustentable *off-grid* pueden ser aplicados al diseño arquitectónico a fin de que éste sea más resiliente y responda tanto a las necesidades de la población como a las del contexto en el que se erijan, promoviendo la sustentabilidad y la participación comunitaria. Estas prácticas son compromisos éticos, sociales y medioambientales del arquitecto donde contribuye a través de su ejercicio, a la valoración, preservación, mantenimiento, mejoramiento y desarrollo sustentable del medio natural y construido, considerando el impacto de la obra en el contexto. (Subsecretaría de Educación Superior & FAUV Orizaba, 2017)

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo el presente trabajo se aplicó un modelo de revisión cualitativa descriptiva ya que este tipo de revisión permite observar y describir detalladamente una realidad logrando caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, (Narváez & Villegas, 2014), en este caso la permacultura y la arquitectura sustentable *off-grid* aplicada en el diseño de *earthships* en el norte de México y el sur de Estados Unidos.

El procedimiento metodológico consistió en:

Formulación del problema de investigación: Se estableció la relación de estudiar la integración de los principios de la permacultura y la arquitectura sustentable *off-grid* en contextos del norte de México y sur de Estados Unidos.

Fuentes de información: Se realizaron consultas en bases de datos académicas como ScienceDirect, Google Scholar, ResearchGate y DOAJ, así como repositorios de libre acceso (SciELO, Redalyc) y se incluyeron libros fundamentales de permacultura.

Selección de fuentes: Se establecieron criterios de inclusión y exclusión basados en la relevancia temática (permacultura, arquitectura sustentable, *earthships*, construcción *off-grid*), año de publicación (posteriores a 2000), pero incluyendo obras clásicas de permacultura de la década de 1970 y 1980.

Análisis y síntesis de la información: De la información analizada se extrajeron conceptos clave, principios y ejemplos de proyectos, organizando la misma en categorías (permacultura, la arquitectura *off-grid* y *earthships*).

Selección y análisis de casos de estudio: Los documentos analizados fueron examinados por título y contenido, aplicando criterios de elegibilidad. Este criterio permitió identificar los principios de permacultura abordados, el enfoque de diseño *off-grid* propuesto y el grado de aplicación práctica de ambos principios en la construcción de *earthships*.

Extracción de datos: La revisión de cada artículo seleccionado, así como la extracción de datos y su posterior verificación, fue realizada por los investigadores.

Estadística: Por tratarse de una revisión cualitativa, no se aplicaron herramientas estadísticas.

Resultados

Al sur de Estados Unidos, en Taos; Nuevo México se encontró la comunidad *Earthship Biotecture*, con un total de 70 *earthships* construidas hasta marzo de 2024. En el norte de México, solo se encontró un caso documentado, la *earthship* de Todos Santos en Baja California Sur. A fin de homologar el presente estudio, se tomó una *earthship* de Taos, Nuevo México y la *earthship* de Todos Santos, BCS. para analizar la aplicación de los principios de permacultura y la arquitectura *off-grid* y cuidando que ambas construcciones fueran similares en tamaño (m^2).

Ambos espacios cumplen con los 12 doce principios de diseño de permacultura propuestos por David Holmgren y citados anteriormente y con los 6 principios que Michel Reynolds planteó desde el origen de las *earthships*: uso de materiales naturales y reciclados, calefacción y refrigeración pasivas, producción de energía eólica, producción de alimentos. (hortaliza), recolección de agua y tratamiento de aguas residuales. (Reynolds, 2005).

Ambos modelos utilizan el proyecto arquitectónico adaptativo *Global Model Earthship* diseñado por Reynolds y *Earthship Biotecture*, que el propietario selecciona según sus requerimientos, adaptándola a las características propias de la ubicación geográfica para ser desarrollado o construido idealmente por él mismo y con el apoyo comunitario.

Los criterios para el análisis de cada caso incluyeron:

- 1) Distribución espacial.
- 2) Materiales empleados.
- 3) Sistemas de recolección de agua.
- 4) Tratamiento de residuos.
- 5) Gestión energética.
- 6) Principales desafíos a los que se enfrentó cada proyecto; y
- 7) Dimensión social y económica;

Para términos de identificación, se referirá a la *earthship* de Taos, Nuevo México como Esmeralda y la *earthship* de Todos los Santos como Terracota, ambas por el color exterior de sus muros.

Earthship Esmeralda, Taos, Nuevo México

Ubicación:

Construcción ubicada en *Earthship Biotecture Community* en Taos, pueblo localizado en el condado de Taos en el estado estadounidense de Nuevo México. Se encuentra sobre un brazo del Río Bravo en la Sierra de la Sangre de Cristo y está compuesto de tres villas: Don Fernando de Taos, la localidad indígena de San Gerónimo y los Ranchos de Taos. (Visit Taos, 2024)

Contexto climático y geográfico:

Taos se encuentra en una región montañosa con clima semidesértico y una altitud promedio de 2,124 metros sobre el nivel del mar. Los inviernos pueden ser fríos con

nevadas moderadas, mientras que los veranos son relativamente cálidos y secos. La radiación solar es alta durante buena parte del año, lo que facilita la implementación de tecnologías solares pasivas y activas. (Reynolds, 2005).

Distribución espacial y diseño:

La *earthship* Esmeralda está diseñada con una orientación al sur para maximizar la ganancia solar pasiva. Esto implica que el muro frontal, generalmente acristalado, recibe luz solar directa durante el invierno, acumulando calor en la masa térmica de los muros hechos de llantas usadas rellenas de tierra. Dichos muros funcionan como un almacén de calor que se libera de manera paulatina en el interior. El techo está inclinado hacia el sur para colocar paneles fotovoltaicos y calentadores solares de agua caliente. (Reynolds, 2005)

Figura 1.

Vistas exteriores 1 de Earthship Esmeralda.



Nota: Elaboración propia con base en (*Earthship biotecture*, 2024)

Este espacio construido en 2011 sigue el patrón de diseño habitual de las *earthships*, en la distribución interior, se emplea invernadero o corredor verde en la parte delantera, que sirve para el crecimiento de plantas comestibles y ornamentales. Este invernadero también coadyuva en el tratamiento primario de aguas grises y en la humidificación del aire al encontrarse en un clima desértico. La zona sala-comedor y la cocina se suelen ubicar junto a la pared acristalada interior, aprovechando la iluminación natural y la ganancia solar. Las habitaciones se sitúan más hacia la parte posterior, aprovechando la inercia térmica de los muros de neumáticos para mantener temperaturas estables. (Reynolds, 2005)

Figura 2.

Vistas interiores de Earthship Esmeralda 1.



Nota: Elaboración propia con base en (*Earthship biotecture*,2024)

Figura 3.

Vistas interiores de Earthship Esmeralda 1



Nota: Elaboración propia con base en (*Earthship biotecture*,2024)

Materiales utilizados:

Llantas usadas: Rellenos con tierra compactada para elaborar muros de carga con grandes cualidades térmicas.

Botellas y latas: Incrustadas en las paredes de adobe o mezcla de cemento para permitir la entrada de luz difusa y crear motivos decorativos.

Adobe (mezcla de tierra, arena y paja): Se utiliza para dar acabados interiores y mejorar las cualidades térmicas.

Madera recuperada: Empleada en techumbres, marcos de ventanas y puertas.

Lámina acanalada: Utilizada en la parte exterior de la cubierta para facilitar la recolección de agua de lluvia o rocío.

Vidrio: Para los ventanales frontales y las claraboyas.

Sistemas de captación de agua y tratamiento de residuos:

Captación de agua de lluvia: Los techos canalizan el agua hacia cisternas subterráneas o contenedores en el perímetro, filtrándose para uso doméstico.

Filtración y reciclaje de aguas grises: El agua procedente de lavabos y duchas pasa a través de un sistema de jardineras o biorreactores localizados en el invernadero, donde las plantas y microorganismos ayudan a depurarla. Posteriormente, puede reutilizarse para sanitarios o riego externo.

Sistema de drenaje autónomo: Consta de un sistema de fosas sépticas o biodigestores que tratan aguas negras, convirtiéndose en fertilizantes que abastecen a la vegetación natural que rodea la *Earthship*.

Gestión energética:

Energía solar fotovoltaica: sistema de paneles instalado en la cubierta, conectado a baterías para el almacenamiento de energía.

Calefacción solar pasiva: Diseñada a través de la orientación del edificio y la masa térmica de los muros.

Ventilación natural: El invernadero frontal y ventanas solares favorecen la circulación del aire, refrescando el interior en verano a través de ductos que atraviesan el muro térmico, refrescándose y generando un flujo natural de aire.

Principales desafíos:

Clima extremo: A pesar de la ganancia solar, los inviernos pueden ser muy fríos, requiriendo medidas de aislamiento adicionales.

Regulación y normativas locales: Obtener permisos de construcción y aprobación de sistemas de tratamiento de agua y residuos no convencionales puede enfrentar obstáculos administrativos.

Mantenimiento de tecnologías: Paneles solares y sistemas de tratamiento de aguas requieren revisiones periódicas y el reemplazo de ciertos componentes.

Dimensión social y económica:

La comunidad de *Earthship Biotecture*, al estar ya consolidada, ofrece asesoría a los residentes e involucra a visitantes y voluntarios que buscan aprender sobre la construcción bajo este sistema a través de los talleres y tours educativos que ofrece la comunidad, lo que genera ingresos adicionales. Esta comunidad se ha posicionado como un referente internacional en la construcción *off-grid* y ha servido de modelo para replicar *earthships* en otros sitios y partes del mundo. Actualmente esta propiedad está disponible para renta en temporadas y para talleres de educación ambiental.

Earthship Terracota, Todos los Santos, Baja California Sur.

Ubicación:

Esta *earthship* se localiza en Todos los Santos, población ubicada en el municipio de La Paz, Estado de Baja California Sur, a unos 3 kilómetros del océano Pacífico y por el que cruza exactamente el trópico de Cáncer; fundada en 1733 con el establecimiento de la Misión de Santa Rosa de Todos Santos, se incorporó al programa Pueblos Mágicos en el año 2006. (Secretaría de Turismo, 2019)

Contexto climático y geográfico:

Todos los Santos es una localidad situada sobre una meseta en las faldas de la Sierra de la Laguna, a 80 kilómetros de La Paz. El clima que predomina es muy seco, con una temperatura media anual de 23°C. La temperatura más alta es de 43 °C presentándose en los meses de junio, julio y agosto y la más baja, alrededor de 2°C ocurre en el mes de diciembre. Las lluvias son escasas y se presentan durante el verano. Las corrientes de aire provenientes del Pacífico moderan las temperaturas, pero la disponibilidad de agua potable en la región es limitada, lo que realza la importancia de la captación de lluvia y el uso eficiente del agua. (INEGI, 2022)

Distribución espacial y diseño:

La *earthship* Terracota de Todos Los Santos, se ubica en un terreno de 2,2 hectáreas a las afueras del pueblo, sigue el modelo *Global Model Earthship* con orientación hacia el sur, muros de llantas usadas en la parte posterior y una fachada acristalada que maximiza la luz solar. No obstante, se incorporaron adaptaciones para ajustarse al clima muy seco de la región como el invernadero frontal que está separado por una pared de vidrio adicional y la orientación de las ventanas y tragaluces que crean una ventilación natural ayudando a mantener la casa fresca sin aire acondicionado, incluso en los calurosos veranos de la zona. (Ali, 2010)

Figura 4.

Vistas exteriores earthship Terracota



Nota: Elaboración propia con base en (Ochoa,2016)

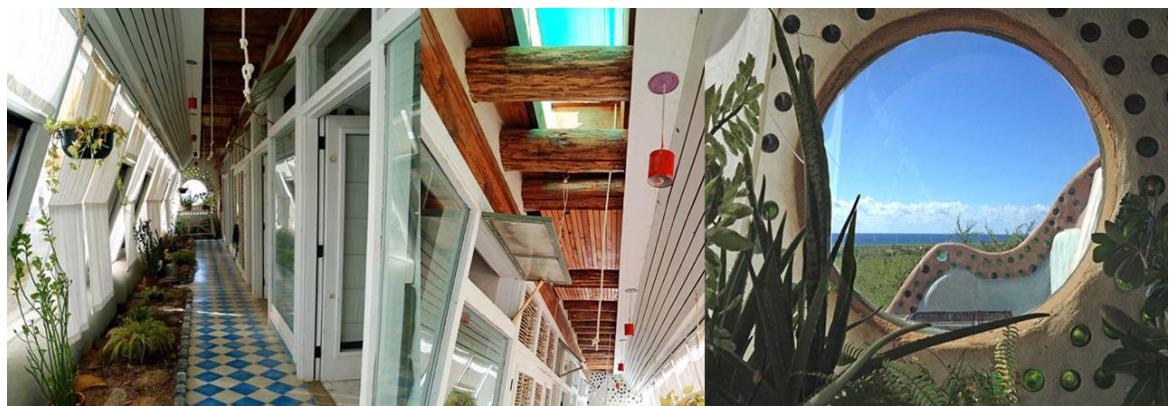
La disposición interior considera un área común en la parte delantera (sala y comedor) para aprovechar la luz natural, mientras que las habitaciones se ubican más adentro, cercanas a los muros de neumáticos para mantener una temperatura estable; el pasillo interior favorece la ventilación cruzada que permite la circulación de aire fresco durante las tardes y noches de verano. La construcción comenzó a principios de 2010, en colaboración con Michael Reynolds, quien llegó al lugar con un equipo de 20 voluntarios nacionales e internacionales. (García, 2014)

Figura 5.
Vistas interiores 1 earthship Terracota



Nota: Elaboración propia con base en (Ochoa,2016)

Figura 6.
Vistas interiores 2 earthship Terracota



Nota: Elaboración propia con base en (Ochoa,2016)

Materiales utilizados:

Llantas usadas rellenas de tierra: Forma la estructura principal de los muros perimetrales.
Botellas de vidrio y PET: Utilizadas en muros divisorios y para decoración, generando efectos de iluminación de diversos colores.

Enjarre de tierra y cal: Para los acabados exteriores e interiores, sustituyendo parcialmente el uso de cemento y mejorando la transpirabilidad de los muros.

Madera local: Proveniente de la poda sustentable de bosques cercanos, usada en la estructura de techos y vigas de soporte.

Piedra y grava: Empleadas en cimientos y en sistemas de drenaje y paisajismo.

Sistemas de captación de agua y tratamiento de residuos:

Captación de agua de lluvia: Canalones en los techos llevan el agua a depósitos subterráneos. El agua se filtra y se bombea para uso doméstico.

Filtración con humedales artificiales: Las aguas grises de regaderas y lavabos pasan por un humedal integrado en el invernadero y otro localizado en el exterior, con plantas macrófitas que absorben nutrientes y contaminantes.

Letrina seca o compostera: A diferencia de los sistemas de sanitarios con agua, se implementa una letrina seca, optimizando el consumo de agua y generando abono tras un proceso de compostaje controlado.

Gestión energética:

Paneles solares fotovoltaicos: Instalados en zonas libres de sombra y orientados para capturar la mayor energía solar posible.

Turbina eólica: Debido a las corrientes de aire que atraviesan la sierra de la Laguna, el uso de un aerogenerador de baja potencia complementa la producción eléctrica.

Diseño bioclimático: Muros gruesos y ventilación natural minimizan la necesidad de sistemas de climatización convencionales.

Principales desafíos:

Disponibilidad de agua: Aún con sistemas de captación de lluvia, en años con precipitaciones muy bajas la recolección resulta insuficiente, requiriendo fuentes complementarias, por ejemplo, pipas de agua.

Regulación municipal: La adopción de sanitarios secos, sistemas de tratamiento de aguas grises y la implementación de materiales no convencionales demanda procesos de validación especiales ante las autoridades, que en ocasiones carecen de normativas específicas para este tipo de construcción.

Aceptación social: Se requiere sensibilizar y orientar a la población en general en el uso y mantenimiento de las tecnologías *off-grid*.

Integración estética con el entorno: Se procuró utilizar acabados que armonizaran con la arquitectura rural de Todos los Santos, con coloraciones terrosas y paisajismo adaptado.

Evolución constante: La adaptación de la vivienda a futuros escenarios ante los diversos cambios climáticos y tecnológicos.

Dimensión social y cultural:

Con el auge del enoturismo en la zona esta vivienda se ha convertido en un atractivo donde los visitantes pueden conocer de primera mano cómo funcionan los sistemas *off-grid*. El contacto con la comunidad local y las autoridades municipales fue fundamental para gestionar permisos y para la adaptación cultural de tecnologías como la letrina seca, que inicialmente generó ciertas resistencias por parte de la población. Actualmente este espacio se encuentra disponible para renta en ciertas fechas, lo que promueve de forma lúdica este estilo de vida.

En la Tabla 1 se presenta un análisis comparativo que resume la aplicación de los 12 principios de la permacultura en los dos estudios de caso analizados:

Tabla 1

Análisis comparativo de la aplicación de los 12 principios de permacultura de David Holmgren en las earthships Esmeralda ubicada en Taos Nuevo México y Terracota ubicada en Todos los Santos, BCS.

Principio de permacultura	<i>Earthship Esmeralda</i>	<i>Earthship Terracota</i>
1. Observar e interactuar	Observación del clima semidesértico y la altitud, diseño orientado al sur para maximizar la ganancia solar.	Ánálisis del clima muy seco, planeación de ventilación cruzada y doble acristalamiento para reducir calor en verano.
2. Capturar y almacenar energía	Paneles solares y muros gruesos de llantas usadas para retener el calor y moderar la temperatura interior.	Uso combinado de paneles solares y turbinas eólicas, muros gruesos para retener el calor y moderar la temperatura interior.
3. Obtener un rendimiento	Sistema de tratamiento de aguas grises que alimenta un invernadero con plantas comestibles.	Humedales artificiales para la filtración de aguas grises que producen biomasa y fertilizante orgánico.
4. Aplicar la autorregulación y aceptar la retroalimentación	Ajustes en los materiales aislantes al evaluar la eficacia del muro térmico de llantas y el control de la humedad.	Incorporación de letrinas secas tras identificar la escasez de agua y dificultades de drenaje con sistemas convencionales.
5. Usar y valorar los servicios y recursos renovables	Uso de energía solar para calefacción pasiva y generación eléctrica, aprovechamiento de botellas y latas en la construcción.	Uso de energía solar y eólica, uso de materiales locales para acabados, reutilización de PET y vidrio en muros.
6. No producir desperdicios	Reciclaje de neumáticos, botellas y latas; sistema de compostaje y aprovechamiento de aguas residuales en el invernadero.	Letrina seca, reutilización de aguas grises en humedales y uso de abonos orgánicos, minimizando desechos que se vierten en el entorno.
7. Diseñar desde patrones hacia los detalles	Esquema de vivienda semienterrada orientada al sur, invernadero integrado, ventilación pasiva.	Estructura básica de <i>Earthship</i> ajustada a la arquitectura local, con espacios de transición para controlar la temperatura.

Principio de permacultura	Earthship Esmeralda	Earthship Terracota
8. Integrar en lugar de segregar	El invernadero forma parte integral del ecosistema de la vivienda, combinando espacios verdes con la zona habitable.	El humedal y la letrina seca están dentro del sistema residencial, fomentando la comprensión y participación de los usuarios en el ciclo del agua y nutrientes.
9. Usar soluciones lentas y pequeñas	Desarrollo progresivo de la comunidad <i>Earthship</i> , sumando viviendas poco a poco y ajustando técnicas constructivas.	Construcción de modelo <i>Earthship</i> como referente en la zona a fin de fomentar y promover un estilo de vida sustentable.
10. Usar y valorar la diversidad	Variedad de técnicas de aislamiento (muros de llantas, latas, botellas, adobe), y diversidad de plantas en el invernadero.	Empleo de materiales nativos (tierra, piedra, madera local) y cultivo de distintas especies de plantas tanto comestibles como ornamentales en los humedales.
11. Usar los bordes y valorar lo marginal	Aprovechamiento de áreas exteriores como zonas de captación de agua y reserva de vegetación nativa resistente a la sequía.	Manejo de las zonas de transición entre el invernadero y el exterior para cultivar hierbas aromáticas y plantas locales, generando microclimas propicios.
12. Usar creativamente y responder al cambio	Ajuste de materiales para cumplir los criterios de aislamiento y termicidad requeridos por la reglamentación u autoridad correspondiente.	Ajuste de métodos constructivos y sistemas de tratamiento de agua de acuerdo a la disponibilidad hídrica estacional y a la cultura local en torno al uso de letrinas secas.

Nota: Elaboración propia.

Discusión

El resultado de este análisis reafirma que tanto la literatura académica reciente como las expresiones arquitectónico-espaciales *off-grid* coinciden en señalar la importancia de integrar criterios de permacultura en el diseño arquitectónico y urbano como una herramienta de bajo impacto ambiental a fin de encarar la crisis climática y la escasez de recursos que vivimos actualmente.

En regiones como el norte de México y el sur de Estados Unidos marcadas por las temperaturas extremas que pueden llegar a alcanzar, la escasez de agua y de recursos en general, la permacultura ofrece una propuesta accesible que supera la visión meramente tecnológica de las edificaciones autosustentables.

La permacultura constituye en sí misma un instrumento para el diseño sistémico de viviendas autónomas, articulando aspectos ecológicos, económicos y sociales (Holmgren,

2011). Bajo esta premisa surgen diversas expresiones de la arquitectura *off-grid* como las *earthships* que se inspiran de manera implícita o explícita en los principios permaculturales y se convierten en laboratorios de aprendizaje donde voluntarios y visitantes pueden experimentar de primera mano tecnologías sustentables (Lockyer & Veteto, 2013). Esto favorece la transferencia de conocimientos y el empoderamiento de comunidades locales.

El enfoque social de la permacultura se refleja en la participación activa de las comunidades y de la sociedad, ofreciendo talleres y programas educativos, esto genera un efecto en cadena que impulsa la adopción de prácticas sustentables en la región donde se lleven a cabo (Kruger, 2015) y si bien es cierto que en el caso de *earthship biotecture* como comunidad y empresa ofrece talleres para aprender a construir estos modelos y fomentar la participación a modo de voluntariado para la edificación de los mismos, el principal obstáculo para ello radica en el costo inicial de algunas tecnologías (paneles solares, aerogeneradores, sistemas de almacenamiento de energía eléctrica y de purificación de agua) y en la dificultad de tramitar permisos de construcción debido a la novedad de los sistemas constructivos, salvo que existan subsidios y/o programas gubernamentales que apoyen y promuevan estos proyectos.

Estos modelos pueden ser una alternativa de solución al problema de contaminación urbana y rural causados por las llantas usadas y que son parte fundamental del sistema constructivo de las *earthships* y que puede ser adaptado incluso a otros modelos; la SEMARNAT (2009) calcula que en la frontera norte de México cada año se comercializan alrededor de 4.5 millones de llantas de desecho, y que en la vía pública o en centros de acopio hay más de 10 millones de ellas.

Atendiendo estas áreas de oportunidad, las viviendas *off-grid* basadas en principios permaculturales analizadas en este documento indican que son factibles.

Conclusión

Es innegable que en la actualidad nos enfrentamos a problemas ambientales que se veían lejanos para nuestros padres o abuelos, estamos empezando a sufrir las consecuencias de la sobreexplotación de recursos naturales y prácticas cotidianas altamente contaminantes: esto demanda acciones urgentes en diversos ámbitos y disciplinas, incluido por supuesto la arquitectura y por ende la construcción, sector que en gran parte contribuye a las problemáticas anteriormente citadas.

En este contexto, la permacultura ofrece una visión holística que facilita la planificación diseño y construcción de edificaciones respetuosas con los recursos y el medio ambiente; si bien es cierto que no es una teoría nueva, hoy por hoy empieza a tomar fuerza debido a sus postulados, que abogan por un uso consciente, respetuoso y responsable de los recursos, a la par de promover la participación activa de la sociedad como una gran comunidad.

La integración de la permacultura con la arquitectura *off-grid* ha dado como resultado diversas propuestas arquitectónicas, como las *earthships* analizadas en este documento, que si bien es cierto pueden interpretarse como una postura un tanto radical, no puede pasar desapercibida su propuesta sobre todo porque ha demostrado ser un sistema que

funciona si se ejecuta correctamente.

El mayor desafío al que se enfrentan este tipo de propuestas es la resistencia de la sociedad y de las autoridades ante sistemas que no son habituales en una vivienda tradicional urbana como los materiales de construcción empleados (reciclados en su mayoría, adaptados por mano de obra voluntaria no especializada), tratamiento y reutilización de aguas grises y negras o la incorporación de ecotecnologías pasivas, aunado al aspecto de estos edificios que se alejan de la estética convencional normalizada por los sistemas constructivos comerciales predominantes según cada región y cultura, lo que las aleja del mercado inmobiliario.

Estos factores ponen de manifiesto la necesidad de un componente de gestión social y educación ambiental que acompañe cualquier acción de promoción de este tipo de proyectos, impulsar cambios en los reglamentos de construcción y en las políticas públicas para facilitar la adopción de estos sistemas, así como la capacitación de arquitectos, ingenieros y constructores en metodologías de permacultura y en la instalación y mantenimiento de sistemas *off-grid*.

La experiencia en Taos y Todos los Santos demuestra que los principios de permacultura aplicados a la arquitectura, en este caso con las *earthships*, son viables al ajustarse a las particularidades climáticas y del entorno funcionando como centros de aprendizaje y difusión de tecnologías limpias, fomentando una autonomía comunitaria y la transmisión de saberes.

Referencias

- Ali, S. (7 de marzo de 2010). *Baja, El triunfo, Earthship, Todos Santos, Mining, La Paz* [archivo de video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=BDAr4Q1IJjA&t=1s>
- Bellver, V. (2000). El contenido del derecho al medio ambiente. *Anales de la Cátedra Francisco Suárez*, 34, 199–219.
- Earthship Biotecture (2024). *Some Earthship Images*. <https://earthship.com/earthship-images/>
- Estessoro, F. (2007). Antecedentes para una historia del debate político en torno al medio ambiente: la primera socialización de la idea de crisis ambiental (1945 -1972). *Universum (Talca)*, 22(2), 88-107. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-23762007000200007>
- Ferreira, M. (2024). ¿Qué es una vivienda *off-grid* y por qué tantos expatriados buscan Portugal y España para construirlas?. *Urbamarkt*.
<https://urbamarkt.com/es/blog/what-is-an-off-grid-home-and-why-so-many-expats-are-seeking-portugal-and-spain-to-build-them>
- Fundación Aquae. (2021). *Descubre qué es y cómo funciona la permacultura*. <https://www.fundacionaqua.org/wiki/que-es-permacultura/>
- García, L. (17 de diciembre de 2014). *Earthship construcción todos santos* [archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=GHYWBOaDiFA>
- García-Montes, N., & Arnanz Monreal, L. (2019). Metodologías participativas para la planificación de la sostenibilidad ambiental local. El caso de la Agenda 21. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (44), 109–133. <https://doi.org/10.5944/empiria.44.2019.25354>
- Holmgren, D. (2011). *Permaculture: Principles & Pathways Beyond Sustainability*. Melliodora Publishing.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Aspectos geográficos de Baja California Sur: Compendio 2022*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinci/productos/nueva_estruc/889463913382.pdf
- Iñiguez, A. (2024). *Arquitectura inspirada en la permacultura: ¿cómo integrar sus principios de diseño frente a diversos contextos?*. ArchDaily. <https://www.archdaily.mx/mx/1017322/arquitectura-inspirada-en-la-permacultura-como-integrar-sus-principios-de-diseno-frente-a-diversos-contextos>
- Juez, O. (2020). *Arkit-lur o Earthship en el País Vasco: ¿Utopía o realidad?* [Tesis maestría, Universidade da Coruña. Escola Universitaria de Arquitectura Técnica]. Repositorio institucional de la universidade da Coruña.

<http://hdl.handle.net/2183/32472>

- Kruger, E. (2015). Options for Sustainability in Building and Energy: A South African Permaculture Case Study. *Energy Procedia*, 83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215028398>
- Lockyer, J., & Veteto, J. R. (Eds.). (2013). *Environmental Anthropology Engaging Permaculture*. Berghahn Books.
- Marques, P. S., Tiago, F. A., & Lima, F. X. R. F. (2023). A Integração Entre Arquitetura, Permacultura e Bioconstrução na Construção de um Futuro Sustentável. *Revista Jatobá*, 5. <https://doi.org/10.5216/revjat.v5.76245>
- Narváez, O., & Villegas, L. (2014). *Introducción a la investigación: guía interactiva*. Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>
- Ochoa, J. (2016, Junio). *Earthship House, Todos Santos*. Los Cabos RealState. <https://www.loscabosrealestate.com/unique-earthship-home-todos-santos/>
- Reynolds, M. (2005). *Earthship Vol. 1: How to Build Your Own*. Earthship Biotecture.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2009). Informe de la situación del medio ambiente en México 2009. SEMARNAT. <https://www.semarnat.gob.mx/informe2009>
- Secretaría de Turismo. (2019). *Todos los Santos, Baja California Sur*. <https://www.gob.mx/sectur/articulos/todos-santos-baja-california-sur>
- Subsecretaría de Educación Superior & FAUV Orizaba. (2017). *Código de Ética Profesional para el Arquitecto Mexicano*. https://www.uv.mx/orizaba/arquitectura/files/2017/08/CODIGO_DE- ETICA.pdf.
- Souza, E. (2021). *Off-the-grid: Guía para una arquitectura fuera de la red*. ArchDaily. <https://www.archdaily.mx/mx/963499/off-the-grid-guia-para-una-arquitectura-fuera-de-la-red>
- Vásquez, E. (2022). ¿Qué es un sistema *Off-Grid* y cuáles son sus beneficios?. *Tritec Center*. <https://energiasolar.tritec-center.cl/blog/que-es-un-sistema-off-grid-y-cuales-son-sus-beneficios>
- Vergara-Romero, A., Morejón-Calixto, S., Márquez-Sánchez, F., & Medina-Burgos, J. (2022). Economía del conocimiento desde la visión del territorio: Knowledge economy from the perspective of the territory. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 9(3), 37-62.
- Visit Taos. (2024). *Taos Facts & numbers*. <https://taos.org/press-media/taos-facts-numbers/>