Materiales de construcción sostenibles ecocompatibles y sus características ambientales

ALBERTO CEDEÑO VALDIVIEZO
Departamento de Tecnología y Producción
UAM Xochimilco
alberto_cede@yahoo.com.mx

Arquitecto por el IPN; Maestro en Arquitectura por la UNAM; Doctorado *en Urbanismo* por la UNAM. Posdoctorado en la Universidad de Buenos Aires. Realizó los cursos de especialización: *Restauro dei Monumenti e Centri Storici* y *Pianificazione Urbanistica Applicata alle Aree Metropolitane* en Italia, y los Diplomados en *Administración Pública* del Centro de Investigación y Docencia Económicas y *Manejo de Computadoras Compatibles PC*, en la UNAM. Estudios de Maestría en Administración Pública en el IESAP y de Desarrollo Urbano del Colegio de México.

Profesor investigador Titular C, miembro del Departamento de Tecnología y Producción, CyAD, Xochimilco. Desde 2006 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Ha publicado más de 40 documentos entre libros, artículos y capítulos de libros; ponente en eventos académicos y diferentes proyectos de investigación. Ha trabajado como restaurador de monumentos para la Dirección General de Sitios y Monumentos, como auditor de obra para el Infonavit, como Jefe de Departamento de Supervisión de Obras de la SEP y como Subdirector de Servicios Generales en la Conade.

Ante los problemas ambientales del planeta, es necesario reducir el consumo energético de todos los productos manufacturados, como los materiales de construcción; por ello, aplicar la sostenibilidad implica utilizar materiales de bajo consumo energético a fin de reducir el consumo de combustibles no renovables, pero como esto no ha sido suficiente, han surgido nuevas propuestas de investigación que buscan ir aún más allá. En este trabajo se aborda una de estas líneas de estudio relacionada con el Análisis del Ciclo de Vida de los materiales de construcción para mejorar su eficiencia, así como la reutilización de aquellos materiales de obras que han sido demolidas, todo esto siguiendo premisas que sostiene la economía circular. A esta propuesta se le conoce como *ecocompatibilidad*. ***Palabras clave: ecocompatibilidad, materiales sostenibles, reciclaje, Análisis de Ciclo de Vida, economía circular.***

Given the environmental challenges faced by our Earth, it is imperative that we reduce the energy consumed by all manufactured products, including building materials. Implementing sustainability in this area involves using low-energy consumption materials to reduce the use of non-renewable fuels. However, since this has not been sufficient, new research proposals have emerged that aim to go even further. This paper addresses one of these lines of research, which is related to life cycle assessment of construction materials to improve their efficiency, as well as the reuse of materials from demolished structures. Operating in accordance with the principles of circular economy, this approach is known as eco-compatibility. Keywords: eco-compatibility, sustainable materials, recycling, Life Cycle Assessment, circular economy.

30 St Mary Axe (conocido popularmente como The Gherkin). Fuente: Pixabay.

Introducción

Los materiales de construcción, tradicionalmente, fueron aquellos que se conseguían en el lugar de la edificación: madera, si era en zonas boscosas; arcilla en lugares áridos, pero con tierra que sirviera para construir o piedra.[1] Estos materiales también debían corresponder con las condiciones climáticas del lugar como en su momento lo trató ampliamente Victor Olgyay en su texto *Arquitectura y clima*, 1963. Federico M. Butera, en su texto *Dalla caverna alla casa ecologica* de 2014, destaca la importancia de la agricultura al aumentar la eficiencia energética de los seres humanos y tener la energía necesaria para construir viviendas en vez de vivir en cuevas. La tradición de construir con los materiales del lugar persiste aún en muchas regiones de México, aunque esta situación ha ido cambiando a partir de los recursos que envían los trabajadores mexicanos desde los Estados Unidos, modificando sustancialmente la vivienda vernácula, al sustituirla con modelos norteamericanos de viviendas que proponen los mismos trabajadores, con la creencia de que el imitarlos les proporcionará un estatus de vida más elevado. El abandono de dichos materiales tradicionales inició con la Revolución Industrial, primeramente, y se fue reforzando con la globalización, después. Desde el siglo XIX se introdujeron nuevos materiales como el hierro forjado y, posteriormente, el acero, situación que floreció con el desarrollo del ferrocarril y la reducción de precios que favoreció el transporte a larga distancia de materiales pétreos y cerámicos.[2]

El siglo XX fue testigo de la generalización de aleaciones metálicas como el acero inoxidable, el aluminio, diversos tipos de polímeros y el vidrio. Lo anterior, sin olvidar el concreto armado que se volvió indispensable para los arquitectos del Movimiento Moderno y posteriores, como señalan Holden y Liversedge. La utilización de madera en la construcción se ha modificado debido a su escasez y costo, lo que generó alternativas como la madera laminada; aunque sigue empleándose madera proveniente de bosques forestales sostenibles para uso estructural, sobre todo en países que han sabido administrar sus recursos forestales. En el caso de México, esto no ha sido posible debido a la gran tala a la que han estado sometidos nuestros bosques.[3] Los polímeros o los plásticos son los que más se han desarrollado recientemente, sin embargo, el costo energético de su fabricación y encontrar formas adecuadas para su reciclaje son un gran desafío en la actualidad, ya que estos no suelen ser biodegradables, y como se describe en otros artículos publicados, los plásticos son uno de los mayores problemas actuales debido a lo complicado de su degradación, y a la gran necesidad y dependencia de estos que hemos creado.[4]

Como consecuencia de lo anterior, existe un interés creciente en recuperar las formas de construcción tradicionales con la utilización de la piedra, la cal, el bambú y la tierra cruda en sus diferentes formas, debido a su carácter sostenible, a su bajo contenido energético y a las reducidas emisiones de gases de efecto invernadero en su uso, así como por su larga tradición histórica y debido a sus mejores condiciones climáticas.[5] Por ejemplo: "Los morteros de cal absorben CO_2 y se autoprotegen. Se han desarrollado cementos fotocatalíticos autolimpiantes que pueden 'fijar' contaminantes presentes en la atmósfera, prestaciones nuevas para un material antiguo".[6]

Ante los problemas de contaminación del planeta y las catástrofes ambientales que esto ha ocasionado, estamos en una disyuntiva: continuar en la dirección hasta hoy seguida responsabilizándonos por las consecuencias futuras sobre los cambios climáticos, o elaborar modelos de desarrollo, estrategias y líneas de acción que garanticen la satisfacción de las necesidades limitando el consumo de los recursos fósiles y las emisiones de gases invernadero. La reducción del consumo y de las emisiones involucra a todos los seres humanos.[7]

1. R. Holden y J. Liversedge, *La construcción en el proyecto del paisaje*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 2011.
2. *Ibid*.
3. A. Cedeño, "La madera. ¿Una alternativa para proteger el medio ambiente?", en *Revista de Arquitectura*, Universidad Católica de Bogotá, Colombia, vol. 12, ene-dic, 2013.
4. T. Sanchez y A. Cedeño, "Los plásticos: el gran problema ambiental de nuestra época", Ponta Grossa, Brasil, Atena Edição de Livros Ltda, 2024.
5. A. Cedeño, "Materiales bioclimáticos", en *Revista de Arquitectura*, Universidad Católica de Colombia, vol. 12, ene-dic, 2010.
6. R. Holden y J. Liversedge, *La construcción en el..., op. cit.*, p. 7.
7. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile*, Nápoles, Sistemi Editoriali Se, Gruppo Editoriale Esselibri-Simone, 2010, p. 11.

> La industria de la construcción parece tener la cabeza en el pasado, todavía muy dependiente de la innovación de la era industrial. A menudo, con el pretexto de la racionalidad, los materiales de construcción industrializados siguen utilizándose de forma excesiva, lo que acerca a la sociedad al cambio climático.[8]

Las actividades relacionadas con la construcción y el funcionamiento de los inmuebles contribuyen, de manera significativa, al consumo de los recursos y a la liberación de emisiones al ambiente. Además, el bienestar del ser humano es una condición fundamental para garantizar su plena integración en el contexto urbano y social, y el medio ambiente no sólo es el lugar donde los inmuebles son construidos, sino un espacio físico que se relaciona con éste a través de un continuo intercambio de flujos de entrada que constituyen los recursos energéticos y, de salida, caracterizados por los llamados recambios de aire, agua y suelo:

> El edificio es, en efecto, un sistema complejo que necesita de materiales y recursos para su producción, que consume territorio en su fase de construcción, que tiene necesidad de energía para calentarse o refrescarse, que necesita de agua y que produce desechos en diversas fases de su ciclo de vida.[9]

Esto significa que los arquitectos y constructores, en general, además de ser responsables del diseño y construcción de un inmueble, somos responsables de la satisfacción de objetivos específicos relacionados con el concepto de sustentabilidad o sostenibilidad, sobre todo, respecto a la naturaleza ambiental o *ecocompatibilidad* del procedimiento constructivo. Por ello, es necesario considerar al inmueble como "un organismo dotado de un ciclo de vida que tarde o temprano agotará sus funciones, para lo cual es necesario, en la fase de proyecto, evaluar los escenarios de manutención, de sustitución de los elementos técnicos y de demolición".[10]

Estas ideas nos recuerdan a John Ruskin, que en el siglo XIX establecía que el arquitecto debería de pensar en los materiales de construcción para las diferentes etapas de vida de los edificios, incluyendo su etapa de ruina.[11]

Proyecto y valoración se convierten en dos lados de la misma moneda, ya que a través de adecuados procedimientos de clasificación del nivel de esta ecocompatibilidad es posible comprender la eficacia real de algunas decisiones proyectuales:

> En resumen, conocer el pasado y la forma en la cual en una determinada época era gestionada la relación entre arquitectura, lugar y naturaleza, interpretar el presente, la potencialidad de la innovación en el campo tecnológico y de la investigación, y en fin, verificar el cuadro de requisitos ambientales adecuados a la normatividad y a su valoración, son los tres principales "ingredientes" útiles para lograr que la arquitectura sea coherente con los principios del desarrollo sostenible.[12]

Otro elemento importante que respalda la idea de la ecocompatibilidad es el de *econonomía circular*. Sabemos que el actual modelo económico lineal de tomar-fabricar-consumir-eliminar está llegando al límite de su capacidad biofísica. Este modelo es ineficiente y despilfarrador porque "se basa en la supuesta disponibilidad de grandes cantidades de energía y recursos naturales baratos y de fácil acceso".[13] El referente del actual modelo económico es el Producto Interno Bruto (PIB), mientras que la economía circular busca crear riqueza haciendo que las cosas duren: "busca conservar las reservas físicas con un enfoque que visualiza los materiales como activos para preservar, en lugar de consumirlos continuamente".[14] En muchas

8. A. Gattupalli, "Materiales ecológicos: hacia una nueva economía". En archdaily.mx, 2022.
9. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, p. 11.
10. *Ibid*., p. 12.
11. C. Ceschi, *Teoria e Storia del Restauro*, Mario Bulzoni Editore, Roma, 1970, p. 88.
12. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, p. 12.
13. L. M. Jiménez y E. Pérez, *Economía Circular-Espiral*, Madrid, Ecobook-Editorial del Economista, 2019, p. 29.
14. Sthahel, 2016, citado en L. M. Jiménez y E. Pérez, *Economía Circular-Espiral*, *op. cit.*, p. 32.



Figura 1. La permacultura proporciona bases teóricas para la economía circular, además de presentarse como un estilo de vida que busca una evolución en la relación planeta-seres humanos, a fin de aprender a convivir con el medio ambiente. Elaboración: Cedeño y Flores, 2021.

escuelas de arquitectura y diseño industrial, se estudia y ensaya en el uso de materiales industrializados de desecho que pudieran ser reutilizados como material de construcción, o en otros usos como la elaboración de muebles, esto con el objetivo de reducir la cantidad de desechos, pero es necesario ir más a fondo.

Los postulados teóricos enmarcados en la sostenibilidad incluyen principios como: la diversidad, la resiliencia y el pensamiento sistémico, y "han ido sentando las bases de un enfoque metabólico de los ciclos materiales biológicos y tecnológicos como esencia de la circularidad económica".[15] En este sentido se puede resaltar, por una parte, las teorizaciones sobre el ciclo económico de los recursos-residuos relacionados con la durabilidad de los productos, el mayor valor añadido interior y la competitividad, habría que señalar el enfoque *de la cuna a la cuna* de Walter Sthahel. También son importantes los enfoques teóricos inspirados en el funcionamiento de los ciclos naturales y los ecosistemas, destacando las teorías de la permacultura de Bill Mollison y David Holmgren (Figura 1).

Principios de sostenibilidad relacionados con materiales de construcción

Para disminuir los impactos de la construcción sobre el planeta, hay que conocer el origen sostenible de los materiales, así como la cantidad de energía necesaria y la contaminación resultante de la fabricación y el transporte de cada material, lo que nos lleva a las siguientes líneas de acción:

- Utilizar recursos de forma eficiente y económica (reciclar cualquier subproducto del proceso de fabricación).
- Utilizar recursos renovables (madera de bosques de explotación sostenible, considerar la construcción con tierra cruda y fomentar el uso de materiales orgánicos).
- Conservar los suministros naturales de materiales y la diversidad natural.
- Procurar reducir el uso de materiales artificiales no biodegradables (evitar los plásticos).
- Tomar conciencia sobre el uso de recursos finitos procedentes de la corteza terrestre (materiales pétreos, arcillas, metales y polímeros derivados de los hidrocarburos).[16]

15. L. M. Jiménez y E. Pérez, *Economía Circular…*, *op. cit.*, p. 39.

16. R. Holden y J. Liversedge, *La construcción en el…*, *op. cit.*

En términos de sostenibilidad, es útil realizar una evaluación del ciclo de vida de los materiales constructivos, para ello hay que tomar en cuenta las siguientes variables:

- Recursos empleados (en peso), que incluye todos los materiales utilizados para fabricar el material.
- La energía incorporada, es decir la que se requiere para la extracción, procesado, transporte, puesta en obra, mantenimiento, demolición y retirada de un producto.
- El potencial de calentamiento global. Estimación de la cantidad equivalente de CO_2 emitido a la atmósfera en los procesos de fabricación, transporte, puesta en obra y mantenimiento de cada componente; la emisión de otros gases de efecto invernadero, como el metano o el óxido nitroso, se estima a partir de su capacidad de potenciar el del CO_2.
- Los vertidos de residuos sólidos incluyen el peso total del movimiento de tierras como consecuencia de la fabricación de un producto o material; y
- La toxicidad en el agua y en el aire se mide a través de la cuantificación de los efectos sobre la salud que tienen las emisiones tóxicas a lo largo de todo el ciclo de vida del producto o componente.[17]

Según Cemex Ventures los mejores materiales sostenibles para la construcción son:

- Acero reciclado. Aunque la producción inicial causa muchos problemas al medio ambiente, la versión reciclada es una excelente manera de reducir la huella de carbono global del proyecto.
- Bambú. El llamado "acero verde" es uno de los materiales con más futuro dentro de la construcción sostenible.
- Corcho. La recolección de la corteza del árbol "alcornoque" no causa daño.
- Hempcrete. Fabricado a base de fibra de cáñamo combinado con la cal, tiene forma y resistencia similares al concreto.
- Hormigón prefabricado. Se puede asegurar su fabricación con medidas exactas, lo que reduce el desperdicio y la cantidad de energía necesaria.
- Madera reciclada o recuperada.
- Micelio. Cuando se seca se puede utilizar como un material de construcción ambientalmente sustentable.
- Plástico reciclado. Se puede utilizar para crear láminas de plástico, concreto, ladrillos, madera, tuberías, techos, pisos y PVC.
- Terrazo. Uso de materias primas reutilizadas como mármol, granito, cuarzo, vidrio, etcétera.
- Vidrio reciclado. Puede remplazar agregados naturales para hacer concreto.[18]

Una herramienta muy útil para medir el impacto sobre el ambiente es el Análisis de Ciclo de Vida. Para llevar a cabo la evaluación de este ciclo de vida existen diferentes herramientas informáticas que nos permiten hacer una evaluación precisa, que a veces no es nada fácil esta actividad para los constructores como analistas e investigadores. Otro elemento por considerar es la energía utilizada en la fabricación de este material, que implica contabilizar toda la energía necesaria para la transformación de la materia prima: desde su extracción, manufactura, transporte hasta la puesta en obra. Podemos considerar la energía incorporada de acuerdo con el tipo de material de que se trate a partir de lo siguiente:

- Áridos: baja.
- Cementos: moderada.
- Ladrillos y materiales cerámicos: moderada.
- Madera: moderada (en función del origen).
- Vidrio: relativamente alta.
- Acero: relativamente alta.
- Plásticos: muy alta.[19]

17. ***Ibid.***

18. Cemex Ventures, "Top 10 materiales de construcción sostenibles para la construcción ecológica", 14 de noviembre de 2023. En https://www.cemexventures. com/es/ materiales-construccion-sostenible

19. R. Holden y J. Liversedge, ***La construcción en el…, op. cit.***, p. 10.

Cantidad de energía empleada en la fabricación de materiales con bajo contenido de energía primaria

Para Giordano: "Un producto constructivo se define como ecocompatible si requiere un reducido contenido de energía en las diversas fases de su ciclo de vida y, en particular, durante el proceso de producción que se realiza fuera de la obra".[20]

La selección de materiales con bajo contenido de energía primaria permite al proyectista conocer la necesidad real de recursos energéticos primarios fuera de la obra de un producto de construcción. Aquí es importante conocer y separar el ciclo de vida del producto en la fase de producción, de aquel en la fase de construcción y otras posibles fases en la elaboración del inmueble. La fase de uso es la más significativa en términos de energía final. Algunos estudios han determinado que el impacto energético de la fase de construcción se deduce de la puesta en obra que un producto requiere, al menos de 2% de la energía necesaria para producirlo. Este valor tiende a reducirse en el caso de que el proyecto contemple el empleo de soluciones tecnológicas como ensamblados en seco. Además, no hay que olvidar que un sistema constructivo que privilegia este tipo de soluciones conlleva, en la mayoría de los casos, un mejoramiento en la potencialidad de reciclaje de los productos que conforman los elementos técnicos.

A continuación, se presenta una tabla de los principales materiales de construcción y el contenido energético que se requiere en su fabricación (un primer dato a considerar), para observar los más convenientes, las diferencias en los espesores utilizados, las características de aislamiento térmico o resistencia mecánica y diferencias en otros elementos constructivos complementarios. La información se nos presenta por kilogramo y por metro cúbico (véase Figura 2).

De lo anterior podemos decir que, si el objetivo es contribuir a la protección del medio ambiente, la selección de los materiales para construir debería ser piedras o rocas naturales, adobes, con agregados como gravas, arenas, tierra, y como aglutinante, el mínimo de cemento que fuese posible. Las maderas son de bajo contenido energético, pero en países como México, debido a su sobreexplotación, son muy escasas.

Figura 2. Contenido energético de los materiales.

Material	Contenido energético	
	Por peso (mj/kg)	Por volumen (mj/m^3)
Poliuretano expandido	180	2 500
Aluminio	170	459 000
PVC.	90	11 000
Cobre	78	698 000
Vinílico	45	6 000
Hierro y acero	40	300 000
Fibra de vidrio	38	2 000
Vidrio	26	67 000
Block de concreto	22	35 000
Ladrillo cerámico hueco	7.5	1 000
Yeso	2.4	1 700
Ladrillo común	1.8	3 000
Concreto armado	1.8	4 000
Concreto	1.8	2 600
Adobe	0.2	320

Fuente: M. Evansy S. de Schiller, *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, Buenos Aires, Ediciones Previas, núm. 9, FADU, Universidad de Buenos Aires, 1991, p. 10.

Otro factor que debemos tener presente es que al promocionar materiales como los antes expuestos, se contribuye a conservar la imagen tradicional de los poblados, los cuales han ido cediendo, poco a poco, a materiales de construcción contemporáneos, industrializados, como es el caso del tabicón de cemento, el concreto armado, los adoquines de cemento y las láminas metálicas, que son materiales que se encuentran en los negocios de construcción de las comunidades (Figura 3).

Respecto a la búsqueda de formas, tipologías y elementos constructivos que requieran menos energía para su construcción, el uso de tecnologías constructivas tradicionales con base en bambú, tierra cruda, bahareque y

20. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, p. 105.

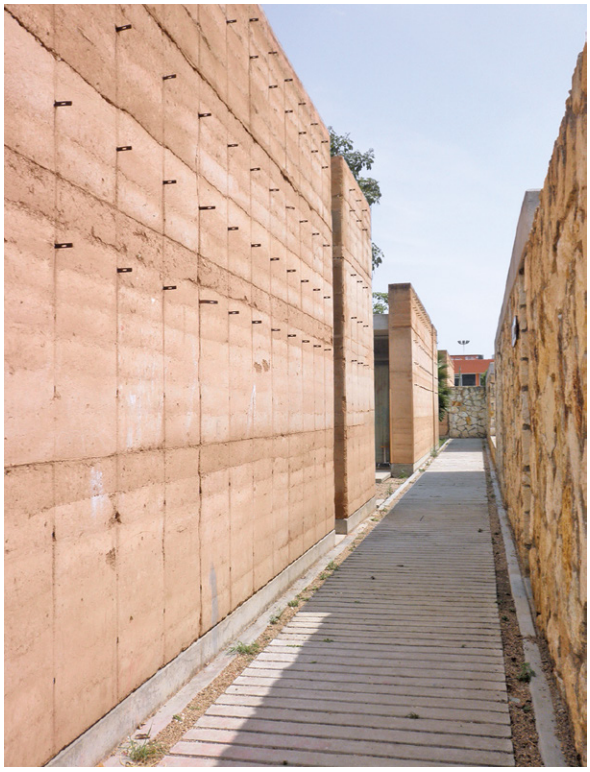


Figura 3. El uso de materiales de construcción de bajo contenido energético como la tierra cruda reduce tiempos, costos e impacto ambiental, por lo que se considera que éste será uno de los materiales constructivos más importantes del futuro. La imagen corresponde a la Escuela de Artes Plásticas de Oaxaca del arquitecto Mauricio Rocha. Fotografía: Alberto Cedeño, 2008.

palma, reduce notablemente los tiempos y costos de edificación,[21] además de que el estudio del Análisis del Ciclo de Vida de cada material puede mejorar aún más sus bondades ambientales, considerando, desde el inicio, el impacto ambiental que se genera en cada una de las etapas de su producción, existencia y desaparición.

Características térmicas de los materiales y procedimientos constructivos

Otros factores importantes que debemos considerar en el momento de diseñar un inmueble son las características térmicas de los materiales y procedimientos constructivos, ya que conocerlas nos ayudará a seleccionar aquellos elementos que sean más amigables con el medio ambiente y a utilizarlos de la mejor manera posible de acuerdo con el clima donde se esté construyendo. Los elementos constructivos pueden modificar las condiciones de confort del interior de los edificios a partir de sus características térmicas, dependiendo de la calidad de los materiales, espesores de las capas de construcción, dimensiones de las superficies y su ubicación.[22] Así, el diseño de un edificio deberá considerar la elección de los materiales teniendo en cuenta sus efectos microambientales, su larga durabilidad, su flexibilidad, y su fácil mantenimiento, logrando así su conservación y bajas emisiones.[23] Una acertada elección de los materiales podrá reducir la amplitud térmica interior, evitando demasiada temperatura en verano, reduciendo condensación superficial en invierno y aprovechar de manera óptima la radiación solar o el uso de combustibles convencionales.[24]

Estos materiales de construcción *absorben*, *transmiten* y *acumulan* energía; características que determinan la eficacia de los elementos constructivos en el control o modificación de las condiciones térmicas. La *absorción* es una característica de la superficie de cada material que determina la proporción de la radiación incidente absorbida; pues la proporción no absorbida es reflejada.[25]

La transmisión de calor en los materiales se lleva a cabo a través de la *conductividad térmica*; la de los elementos constructivos es a través de la *transmitancia térmica*, y se refieren al flujo de calor que atraviesa un material o elemento constructivo según su superficie.[26] La condición esencial para la *transmisión del calor* es que los cuerpos tengan temperaturas diferentes. El flujo de calor siempre se dirige del más caliente al más frío.[27]

La capacidad de un material para *acumular calor* se puede medir de dos maneras: por su calor específico y por su capacidad calorífica.[28] La absorción y transmisión del calor se lleva a cabo por *conducción*, *convección* y *radiación*.

21. M. E. Castro *et al*., *Diseño Ambiental en la Cuenca del Papaloapan*, México, UAM, 2009.

22. M. Evans y S. De Schiller, *Diseño Bioambiental…*, *op. cit.*, p. 105.
23. ITER-Bioclimatismo e Integración (s/f), "Guía práctica Bioclimatismo", p. 10. En www.iter.es/I18NLayer.areasiter/es/energiasrenovables/eolica/difudioneolica/eramac/GuiapracticabioclimatismoeramacII.pdf.
24. M. Evans y S. De Schiller, *Diseño Bioambiental…*, *op. cit.*, p. 105.
25. *Ibid*.
26. *Ibid*.
27. Barcelo (s/f), *Transmisión de calor en los edificio*, Cuba, CEPIS/OPS-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. En www.cepis.ops-oms.org/arquitectura /clase31/clase31.htm
28. D. Reif, *Reconversión solar*, México, Gustavo Gili, 1983, p. 170.

La conducción es el paso del calor a través de moléculas de un material sólido.[29] Este paso o propagación del calor varía según los diferentes materiales y constituye una propiedad del material, esto es, la conductividad térmica, que varía desde 0,03 W/m°C para materiales aislantes hasta 400 W/m°C para los metales.[30]

La convección es la trasmisión de calor a través del movimiento de los líquidos y gases (normalmente aire). El aire caliente se eleva, siendo sustituido por aire más frío, lo que produce un efecto de termosifón. Este flujo de calor se produce en los huecos existentes dentro de los muros, entre capas de cristal y sobre la superficie de los muros. También lo constituye la infiltración de aire alrededor de puertas y ventanas, y la que se produce a través de las rendijas existentes en todas las viviendas.[31] El flujo de calor por convección entre el interior del edificio y el aire exterior depende de la cantidad de ventilación, o sea, del intercambio de aire que puede ser por infiltración o por ventilación natural. La cantidad de ventilación puede ser dada en m^3/s.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.[32] Todos los materiales absorben una proporción de la radiación solar y también emiten radiación hacia otras superficies según las características y la temperatura de la superficie emisora,[33] lo anterior tiene lugar mediante una doble transformación de energía, es decir, una parte del calor se convierte en energía radiante que llega a otro cuerpo donde se absorbe en una proporción que depende de las características de la superficie y es, nuevamente, transformada en calor.

Gases de efecto invernadero

Otro factor por considerar es "la cantidad de CO_2 emitido a lo largo del proceso de fabricación de cada material y establecer comparaciones en este sentido". Los gases de efecto invernadero que se deben considerar, de acuerdo con el Protocolo de Kioto (1997) de la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, son: CO_2, metano, óxido nitroso, hexafloruro de azufre, hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC). Las emisiones de gases invernadero del sector de la construcción son significativas. Por una parte, se consume metano que se encuentra en el gas natural, así que los productos que emplean gas natural en su fabricación consumen metano y emiten CO_2, que es el principal problema en la fabricación de los materiales de construcción en cuanto a las emisiones de gases invernadero.[34]

Las islas de calor

Sobre las islas de calor debemos comentar que:

> son áreas construidas que mantienen temperaturas superiores a las de las zonas rurales circundantes. Sus temperaturas pueden ser entre 1 °C y 3 °C superiores por las mañanas, y de hasta 12 °C superiores en las tardes de verano.[35]

Esto se debe a que las zonas verdes permeables van siendo sustituidas por edificios y calles pavimentadas. A esto se suma la impermeabilidad y la baja reflectividad de las superficies urbanas, junto al calor residual emitido por las ciudades y la reducción de los vientos en las áreas urbanas, provocando así las islas de calor.

Estamos de acuerdo con lo que plantea la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA): "que el efecto de las islas de calor y la contaminación atmosférica asociada provoca un aumento en la mortalidad de los colectivos más vulnerables: ancianos, enfermos y jóvenes". Esto se puede disminuir de varias formas:

- reduciendo las superficies pavimentadas y zonas edificadas;
- empleando pavimentos permeables;
- utilizando pavimentos de alta reflectividad;

29. Armando Deffis Caso, *Energía. Fuentes primarias utilización ecológica*, México, Árbol Editorial, 1999, p. 138.
30. Barceló (s/f), *Transmisión de calor…*, *op. cit.*
31. D. Reif, *Reconversión solar, op. cit.*, p. 161.
32. LIDER, "Características de materiales para LIDER", (s/f). En *Solo Arquitectura*. En http://www.soloarquitectura.com/foros/archive/index.php/t-7823.html
33. M. Evans y S. De Schiller, *Diseño Bioambiental…*, *op. cit.*, p. 109.
34. R. Holden y J. Liversedge, *La construcción en el…*, *op. cit.*, p. 10.
35. *Ibid*.

- empleando materiales con baja conductividad térmica;
- evitando superficies lisas con alta conductividad térmica en favor de superficies rugosas como gravillas y adoquines;
- diseñando específicamente los espacios urbanos (evitando los edificios altos y el efecto de desfiladero urbano);
- evitar emplear pavimento de gran grosor e inercia térmica;
- aumentando la vegetación, incluyendo parques y jardines, arbolado en las calles y cubiertas verdes;
- reduciendo las emisiones de calor residual de los edificios.[36]

También hay que considerar la importancia del aire y del agua, asegurándonos que en los procesos de construcción empleados no se contaminen. El agua empleada en la construcción debería ser relativamente pura:

> El agua con alto contenido de componentes orgánicos reduce la calidad del hormigón; aguas con una acidez elevada disuelven los morteros y a las areniscas; el agua procedente de marismas o pantanos puede ser altamente corrosiva, mientras que el agua marina causa la corrosión del hierro.[37]

Hay que tener presente, además, los procesos de hielo y deshielo y la penetración del agua.

El aire limpio o contaminado puede atacar a los materiales de construcción. Los metales se combinan con el oxígeno de la atmósfera para formar óxidos, en un proceso que conocemos como corrosión; el dióxido de azufre contenido en la atmósfera puede disolverse en el agua de lluvia y convertirse en ácido sulfúrico, altamente nocivo para edificios y otras estructuras.[38] En este punto consideramos muy importante consultar a los restauradores arquitectónicos por la gran experiencia que han acumulado a través de los años, experiencia que es evidente en sus artículos y libros.

36. R. Holden y J. Liversedge, *La construcción en el…*, *op. cit.*, p. 11.
37. *Ibid*., p. 12.
38. *Ibid*.

La arquitectura ecocompatible

"Un producto es ecocompatible si terminada su vida útil, tiene la posibilidad de ser valorizado en un proceso de reciclaje".[39] Como ya se mencionó, para Giordano el edificio es:

> un sistema complejo que necesita de materiales y recursos para su producción, que consume territorio en su fase de construcción, que tiene necesidad de energía para calentarse o refrescarse, que necesita de agua y que produce desechos en diversas fases de su ciclo de vida.[40]

Atender a esto implica un gran reto para los constructores, que además de ocuparnos de aquellos asuntos relacionados con la construcción, somos responsables de la satisfacción de objetivos específicos relacionados con el concepto de sostenibilidad, sobre todo, en sus aspectos de naturaleza ambiental. Así, es necesario considerar al inmueble como "un organismo dotado de su ciclo de vida que tarde o temprano, agotará sus funciones", para lo cual será necesario, en la fase de proyecto, "evaluar los escenarios de manutención, de sustitución de los elementos técnicos y de demolición".[41] Éste sería el principio de la ecocompatibilidad para aplicarse a un edificio que, de acuerdo con su ciclo de vida, ha llegado a su etapa de demolición.

Es importante destacar que los recursos energéticos renovables tienen la capacidad de regenerarse de manera casi inmediata. Los recursos energéticos casi inagotables, tienen la capacidad de producir energía en periodos largos que superan los cien años, y comprenden al calor endógeno y a la energía nuclear tanto de fisión como de fusión. Los recursos energéticos agotables requieren, para reconstruirse, de eras geológicas enteras.[42] De estos últimos tenemos a los combustibles de origen fósil, que serían el carbón, el petróleo y el gas natural.

La pregunta es si el petróleo puede considerarse una fuente energética "pacífica". Para empezar, debemos tener

39. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, p. 209.
40. *Ibid*., p. 11.
41. *Ibid*., p. 12.
42. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*

en cuenta que la mayor parte de los países que extraen petróleo y gas natural son bajos consumidores de recursos energéticos. La mayoría de las naciones que extraen estos productos viven en malas condiciones y el costo de los carburantes es superior al que se paga en Europa o en los Estados Unidos. Habría que agregar el problema de contaminación que se provoca en estos países productores.[43]

Una posible respuesta sería la innovación tecnológica, para ello es necesario conocer las técnicas de producción de los materiales para la construcción a fin de mejorar los sistemas de producción y transformación de los recursos energéticos. Reducir la necesidad de recursos energéticos constituye el primer y sustancial paso para lograr, en un corto tiempo, resultados ecocompatibles. Otro importante aspecto se refiere a la actividad de reciclaje de los productos, especialmente los de construcción. La tecnología debería dirigirse a desarrollar y hacer económicamente viables técnicas de recuperación que eviten la basura, pero, sobre todo, mejorar los sistemas de reciclaje mecánico y químico. Uno de los avances importantes es el desarrollo de ladrillos fabricados a partir de desechos plásticos, que ayudarán a reducir la cantidad de plásticos en los vertederos y en el mar, además de que pudieran resultar más económicos que los ladrillos de barro.[44]

Por último, es importante reflexionar sobre las relaciones entre naciones, buscando que los países en vías de desarrollo logren un justo mejoramiento social y económico, logrando que su nivel de bienestar sea equiparable al de aquellas naciones desarrolladas. Por otra parte, los países desarrollados deberán generar nuevos recursos renovables y mejorar la eficiencia de los actuales sistemas de producción, a través de políticas y estrategias de larga duración. De esta manera se reducirá la presión política sobre algunos países y se evitarán conflictos bélicos.[45]
La normativa mexicana sobre Construcción Sostenible es la siguiente:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011.
- Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2023.[46]

Cuando hablamos de arquitectura bioclimática, bioarquitectura o de arquitectura ecológica, es posible asociar, a cada una de estas experiencias, un modelo (o paradigma) de referencia que ha evolucionado desde épocas remotas, y que, en algunos casos, todavía es posible caracterizar forma y función de la arquitectura contemporánea. Se trata del:

- Paradigma lugar naturaleza y arquitectura, que se funda sobre la relación que ocurre entre el lugar entendido como espacio del sitio físicamente mensurable y el asentamiento construido. En particular, sobre los efectos que el contexto microclimático, extractivo, productivo, así como el social, producen sobre la forma, la tecnología y sobre los materiales de la arquitectura. En otras palabras, las características del lugar y su naturaleza guían a tal punto el diseño, que juegan el papel de los elementos de la arquitectura misma.
- El paradigma bioclimático. Se basa, de manera más rigurosa, sobre la utilización internacional del recurso clima para el control de los espacios habitables. Las condiciones del microclima son variables tan importantes en el proceso de diseño que pueden definir la relación entre elementos transparentes y opacos.
- El paradigma energético, que se desarrolla de manera sinérgica respecto al paradigma bioclimático, sin embargo, se caracteriza por la utilización de la energía solar como el medio de climatización de los edificios. El objetivo es maximizar el empleo de recursos energéticos renovables, en especial el recurso solar, como son el muro Trombe-Michel, colectores solares, paneles fotovoltaicos, etcétera.[47]

43. *Ibid*.
44. CR, "Materiales ecológicos para construcción sostenible en México", 27 de mayo de 2024, México, en crmexico.mx
45. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*
46. CR, "Materiales ecológicos para construcción…", *op. cit.*
47. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, pp. 13-14.

Principales tendencias arquitectónicas ecocompatibles

La arquitectura ecocompatible tiene su antecedente en arquitectos como Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto y Louis Kahn, que concebían un arquetipo arquitectónico a través de una íntima conexión con el contexto ambiental en el cual se llevaba a cabo su obra. De ellos viene la propuesta de optimizar los efectos térmicos gratuitos del sol, de buscar condiciones de bienestar y de confort de los espacios habitables, y de seleccionar materiales de construcción del lugar.[48] Las tendencias arquitectónicas actuales que se considera operan con los principios de la ecocompatibilidad son:

- Arquitectura *High Tech* de gran eficiencia energética.
- Arquitectura orgánica ecológica.
- Pluralismo contemporáneo sostenible.

Arquitectura High Tech de gran eficiencia energética. Es la tendencia que mejor recoge la herencia de la cultura racionalista, aunque utiliza sistemas constructivos caracterizados por un alto nivel de innovación tecnológica, a veces exagerado. La tecnología no sólo es concebida como un medio para responder a las exigencias de habitar el inmueble, sino como un verdadero instrumento de lenguaje arquitectónico. Los primeros ejemplos de arquitectura *High Tech* se caracterizan por la exclusión del clima y del microclima como variables que podrían influir en las decisiones proyectuales, situación que se ha modificado en los últimos años con los aportes de Rogers, Foster, Grimshaw y Piano, que interpretan a los elementos opacos y transparentes en función del bienestar térmico, acústico y visual de los ocupantes.[49]

Los sistemas tecnológicos empleados son más bien sofisticados, producto de la sinergia entre el mundo de la industria y el diseño. Sin embargo, no se trata de modelos estandarizados que sean fácilmente trasladables a otros sectores de la construcción. Los costos son muy elevados y sin la posibilidad de amortizarse en pocos años, así que no son competitivos en el ámbito residencial. Estos sistemas limitan ampliamente al usuario para interactuar



Figura 4. 30 St Mary Axe (conocido popularmente como The Gherkin, traducido literalmente como "El Pepinillo"), es un rascacielos neofuturista de uso comercial ubicado en *la City*, el corazón financiero de Londres. Fue diseñado por Norman Foster, Ken Shuttleworth y Arup. Se inauguró el 25 de mayo de 2004. Fuente: Aurelien Guichard de Londres, Reino Unido - 30 St Mary Axe, CC BY-SA 2.0, https://acortar.link/vTmqSQ

con los sistemas mismos. Ventilación, calefacción e iluminación, están conectados a sensores que regulan los sistemas de reducción de la iluminación, del flujo de aire que entra, de la temperatura de confort, y del apagado e iluminación automática de acuerdo con los principios de la domótica. Respecto a los materiales, estos son productos que superan ampliamente las características de los tradicionales (Figura 4). Se asocia, por tanto, el concepto de sostenibilidad ambiental, a un mejoramiento de las características energético-ambientales en el uso del edificio, ya que se recurre a materiales más avanzados que aquellos usualmente utilizados por la construcción y, desde luego, quedan excluidos los materiales naturales.[50]

Arquitectura orgánica ecológica. "La arquitectura orgánica u organicismo es una filosofía, pensamiento o perspectiva aplicada a la arquitectura que busca una armonía total de

48. ***Ibid.*, p. 14.**
49. **R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.***
50. ***Ibid*.**



Figura 5. La arquitectura del mexicano Javier Senosiain es una muestra de la arquitectura orgánica ecológica, buscando siempre la armonía entre la arquitectura y el ambiente que la rodea. Imagen del "nido de Quetzalcóatl", conjunto de departamentos ubicados en Naucalpan, Estado de México. Fuente:https://n9.cl/cqq5s

la arquitectura con los elementos que la rodean, tanto hacia el exterior como en los espacios interiores".[51] Se expresa a través de la búsqueda de un constante equilibrio armónico con el ser humano y la naturaleza (Figura 5). Los principios inmutables que han permanecido en el tiempo son:

- considerar el aire y la luz como elementos en posibilidad de contribuir a definir la unidad arquitectónica;
- crear la armonía del inmueble con el ambiente externo, señalando a una continua interconexión entre elementos del espacio construido y artificiales y elementos del espacio natural;
- hacer las habitaciones más libres, humanas y habitables, eliminando la concepción de la estancia como un lugar cerrado;
- evitar el recurso de los materiales heterogéneos, utilizando lo más posible, un único material cuya naturaleza exprese la función del inmueble;
- Incorporar orgánicamente las instalaciones como elementos que interactúan con la estructura del inmueble".[52]

Esta arquitectura es posible subdividirla en dos corrientes. Primeramente, tenemos aquella que parte de la experiencia del posmodernismo que da prioridad a elementos tipológicos que se encuentran en la historia. Las motivaciones más radicales son la utilización rigurosa de elementos tradicionales que anulan la posibilidad de utilizar la ecocompatibilidad en el proyecto. Por otra parte, está la arquitectura orgánica ecológica que no sólo lo es desde el punto de vista estético y formal, sino a través de la experiencia del movimiento ecologista y de los principios del desarrollo sostenible.[53] Esta arquitectura es lo opuesto a la escuela de la Bauhaus ya que considera a la arquitectura como una proyección humana del medio natural.[54] Afronta el tema de la tradición y de la innovación a través de un acerca-

51. Á. Sisternes, "Arquitectura orgánica: Qué es y en qué consiste", 20 de octubre de 2022, Blog Reto Kömmerling, retokommerling.com.

52. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit.*, p. 17.
53. *Ibid.*
54. Á. Sisternes, "Arquitectura orgánica…", *op. cit.*

miento y una mediación entre los recursos del lugar, materiales naturales y procesos de producción, todo esto con la posibilidad de aportar un mejor nivel para las características de los mismos materiales. En este caso, más que una reproducción de materiales y tecnologías del pasado, el objetivo es utilizar productos y sistemas que, sin alterar la armonía entre inmueble y naturaleza, estén en la posibilidad de responder a exigencias y flexibilidad del inmueble, a las condiciones de contaminación a escala local, a los requisitos de rendimiento energético previsto en la normativa, y a un posible reciclaje una vez que el inmueble sea demolido (Figura 6). Se utilizan materiales que, aunque provengan de una materia prima natural, se caracterizan por tener mejores rasgos mecánicos, químicos y, sobre todo, físico-técnicos respecto a aquellas exclusivamente naturales.[55]

Pluralismo contemporáneo sostenible. Esta tendencia se ha desarrollado desde finales de los años ochenta del siglo pasado hasta nuestros días, y reagrupa a diseñadores arquitectónicos que, a pesar de sostener algunos principios de la arquitectura contemporánea, se expresan a través de un lenguaje extremadamente heterogéneo (Figura 7). Se pueden caracterizar dos tendencias. La primera retoma aspectos de los principios de la arquitectura racionalista que concibe al edificio como un elemento compacto en el territorio urbano, caracterizado por formas elementales y lineares y separadas de la red vehicular. En ocasiones se refleja una organización del espacio urbano basado en el *zooning*. La segunda tendencia tiene una visión de la arquitectura que se contrapone tanto a la tendencia del posmodernismo como a la excesiva geometrización expresada por una cierta cultura del movimiento racionalista:

> Esta corriente definida con el término *deconstructivista*, se expresa a través de arquitectura plástica y dinámica y, a menudo, caracterizada por volúmenes que se agregan en formas raramente asimilables por un rectángulo, un cuadrado o un cilindro, privilegiando, contrariamente, formas interrumpidas.[56]

55. R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile…*, *op. cit*.
56. *Ibid.*, p. 19.



Figura 6. Waldspirale es un edificio en "espiral de bosque", construido en 2001 por el austriaco Hundertwasser, que buscó que existiera el mismo número de árboles que de ocupantes de los departamentos. Fuente: Hundertwasser.com.



Figura 7. Escuela de Artes Plásticas en la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. El pluralismo contemporáneo sostenible en el contexto de la UNAM se entiende como la necesidad de integrar la diversidad cultural, social y epistémica (pluralismo) con la sostenibilidad ecológica, económica y humana a largo plazo (Portal UNAM). La arquitectura del arquitecto mexicano Mauricio Rocha entra en esta categoría. Elaboración: Cedeño, 2008.

Aunque en el uso de los materiales de construcción no presenta contradicciones entre materiales naturales y materiales producto de procesos industriales complejos, la selección prevaleciente es aquella de privilegiar productos que pueden ser, al mismo tiempo, naturales y ecológicamente mejorados (Figura 8).

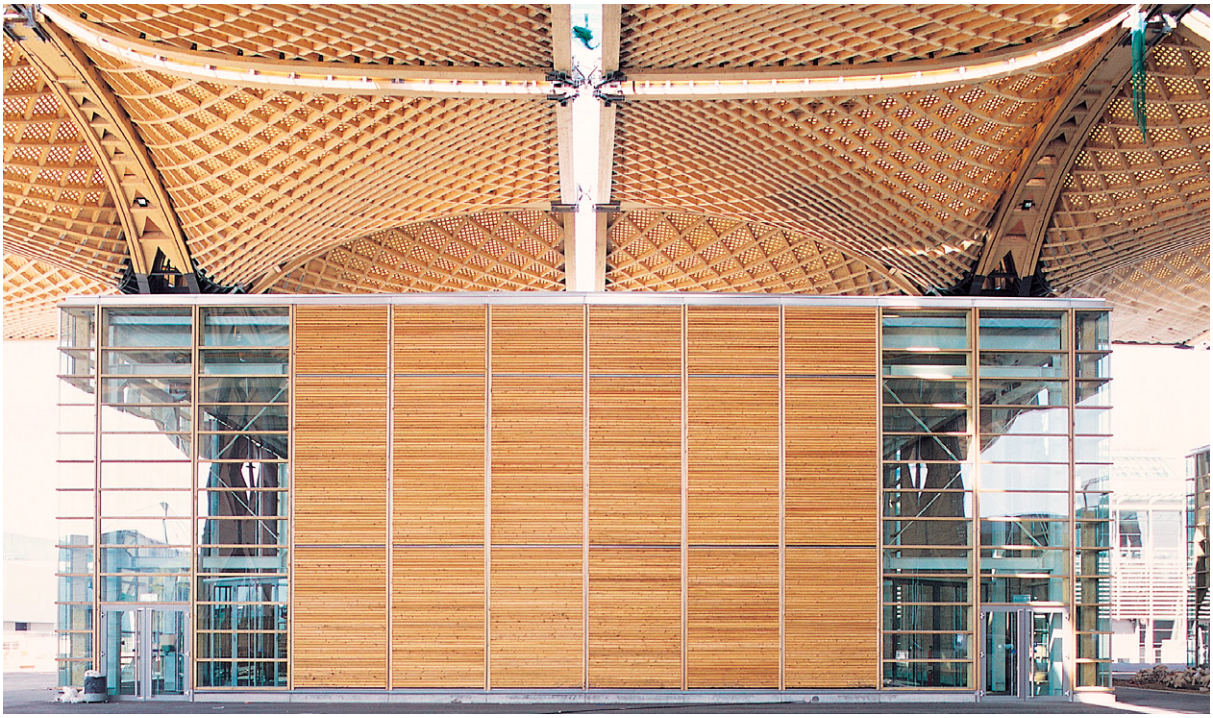


Figura 8. Unbráculo del Lago Expo 2000 Hannover, construido por el arquitecto Thomas Herzog. Para esta obra se escogieron los ejemplares más antiguos de abeto blanco de la Selva Negra al sur de Alemania. Fotógrafo: Palladium Dieter Leistner y Christian Richters. Fuente: arquitectura viva.com

El análisis de la valoración de la ecocompatibilidad de un edificio: el acercamiento al ciclo de vida

De acuerdo con Giordano, podemos considerar a la arquitectura como ecocompatible a través de una doble orientación: cultural y metodológica:

> La primera se relaciona a paradigmas de referencia y a las recientes tendencias de la arquitectura contemporánea. El segundo, a un proceso de análisis y valoración del comportamiento ambiental de un edificio, en respuesta a aquellos requisitos introducidos por la normatividad y por los instrumentos de gestión y certificación.[57]

Un edificio es caracterizado por un periodo de "vida útil", asociado a un impacto energético y ambiental nada despreciable, por ello, no es extraño que esta fase de los inmuebles sea objeto de un consistente número de medidas legislativas, pues un edificio está, antes o después, destinado a ser demolido y desmantelado como sucede con cualquier producto. El proyectista tiene así una tarea nueva, que en otra época no se consideraba estratégica ni importante desde el punto de vista ambiental: la de seleccionar productos y elementos técnicos que no impliquen una carga excesiva sobre el ecosistema y prive de sustancias aditivas tóxicas y contaminantes, con el fin de favorecer la reciclabilidad y/o del desmantelamiento como desechos inertes o no peligrosos.[58] Para responder eficazmente a los objetivos de la ecocompatibilidad, el diseño tiene la responsabilidad de conocer, de manera integral, todas las fases del ciclo de vida de un inmueble, considerando imprescindible el concepto de análisis y valoración del ciclo de vida del edificio.

No hay duda, para que un acercamiento responda a los requisitos de compatibilidad ambiental, según una visión holística, deberán tomarse en consideración más aspectos como: la relación entre el lugar y la naturaleza, a escala de conjunto; la relación entre microclima y confort a escala del inmueble y la modalidad de gestión de los recursos energéticos y de los impactos ambientales a escala tecnológica. También los productos de construcción juegan un papel muy importante, ya que:

57. *Ibid.*, p. 24.

58. *Ibid.*

> La determinación de la ecocompatibilidad de un producto de la construcción requiere que se verifiquen las modalidades con las cuales son gestionados los recursos energéticos en la fase de producción, la organización y del transporte, y de las operaciones necesarias para el mantenimiento y la disposición, así como también los posibles riesgos de contaminación interior o de otros tipos de contaminación que se pueden verificar, a su vez, en otras fases del ciclo de vida del inmueble.[59]

Así, una aproximación ecocompatible al proyecto no puede prescindir de un profundo conocimiento de todo el ciclo de vida del inmueble, a fin de evitar que algunas decisiones, que parecen correctas en algunas fases, lleven a posibles condiciones de insostenibilidad ambiental en otros momentos del proceso constructivo. Las fases que se deberán analizar son:

- la preproducción (extracción de las materias primas);
- la producción y la distribución (producción fuera de la obra);
- la construcción (producción en obra, selección del sitio de construcción);
- la utilización y el mantenimiento (gestión de las instalaciones, limpieza o sustitución de las partes obsoletas o desgastadas);
- la disolución final (demolición, puesta en el basurero, recuperación, tratamiento y reciclaje).

Cada una de las fases descritas tiene en su interior una serie de operaciones unitarias delimitadas por un sistema apropiado denominado "sistema ambiental", cada uno recibirá *inputs* (materiales, combustibles y energía) de las obras que la preceden mientras que sus *outputs* (producto final o semielaborado, calor disperso, desechos sólidos y emisiones líquidas o gaseosas), alimentarán aquellas siguientes, respecto a la fase del ciclo de vida del cual forman parte.[60]

El Acercamiento al Ciclo de Vida (ACV) nos permitirá seleccionar materiales que sean fácilmente separables y rastreables de modo que se puedan administrar los desechos adecuadamente. En un edificio realizado con técnicas tradicionales, los materiales de construcción fueron unidos con pegamentos y morteros que hacen extremadamente difícil su separación, lo que no pasa en un edificio ensamblado "en seco". Los sistemas "húmedos" pueden garantizar un adecuado nivel de reciclabilidad en el caso en que el elemento constructivo se haya realizado con elementos de un solo material como son los bloques termo aislados de una arcilla llamada "porizada", que resuelven los problemas de aislamiento y de inercia térmica y que, al mismo tiempo, se caracterizan por una cierta homogeneidad en su composición térmica.[61]

Conclusiones

Las condiciones climáticas por las que atraviesa nuestro planeta (y que se agudizarán en los próximos años), nos obligan a modificar nuestra actitud en relación con todos aquellos elementos que producen contaminación, dentro de los cuales, los materiales de construcción están entre los más contaminantes.

Como la situación ambiental es cada vez más apremiante, debemos tomar medidas cada vez más radicales. En este sentido, e inspirada en la economía circular, está la ecocompatibilidad que recomienda a los constructores reciclar partes de construcciones ya obsoletas, y convertirnos en especialistas en el Análisis de Ciclo de Vida de los materiales de construcción que utilicemos en las obras nuevas, a fin de proponer, desde el proyecto, materiales y sistemas constructivos que permitan disminuir las etapas contaminantes durante toda la etapa en que estos van a ser empleados; asimismo, buscar que tanto los materiales como los diferentes sistemas empleados (puertas y ventanas), puedan ser reutilizados en inmuebles futuros, asegurando así una larga duración de tales productos.

Las propuestas de materiales a utilizar van desde aquellos tradicionales como el bambú, la tierra cruda, la piedra, hasta propuestas más avanzadas que incluyen acero reciclado, madera reciclada, elementos constructivos con base en plásticos, etcétera.

59. ***Ibid.*****, p. 25.**
60. ***Ibid.*****, p. 26.**
61. ***Ibid.*****, p. 233.**

Lo anterior representa un replanteamiento de los programas de estudio de arquitectura, que deberán avanzar a fin de convertir a nuestros futuros profesionistas en verdaderos analistas constructores, lo que significará una mayor especialización de la carrera. Lo analizado nos lleva a la siguiente pregunta: ¿podrá esta nueva tendencia constructiva cambiar la visión del mundo hacia una economía circular?

Fuentes consultadas

Butera, F., *Dalla caverna alla casa ecologica*, Milán, Edizioni Ambiente, 2014.

Castro, M. E., *et al*., *Diseño Ambiental en la Cuenca del Papaloapan*, México, UAM, 2009.

Cedeño, A., "Materiales bioclimáticos", en *Revista de Arquitectura*, Universidad Católica de Colombia, vol. 12, ene-dic, 2010.

Cedeño, A., "La madera. ¿Una alternativa para proteger el medio ambiente?", en *Revista de Arquitectura*, Universidad Católica de Bogotá, Colombia, vol. 12, ene-dic., 2013.

Ceschi, C., *Teoria e Storia del Restauro*, Mario Bulzoni Editore, Roma, 1970.

Deffis Caso, Armando, *Energía. Fuentes primarias utilización ecológica*, México, Árbol Editorial, 1999.

Evans, M. y De Schiller, S., *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, núm. 9, Buenos Aires, Ediciones Previas, FADU, Universidad de Buenos Aires, 1991.

Giordano, R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile*, Nápoles, Sistemi editoriali Se, Gruppo Editoriale Esselibri-Simone, 2010.

Herzog, T., "Umbráculo del Lago Expo 2000 Hannover", en *Arquitectura Viva*, 20 de octubre de 2024. En arquitecturaviva.com

Holden, R. y Liversedge, J., *La construcción en el proyecto del paisaj*e, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 2011.

Holmgren, D., *Permacultura*, Buenos Aires, Ediciones Kaicron, 2013.

Jiménez, L. M. y Pérez, E., *Economía Circular-Espiral*, Madrid, Ecobook-Editorial del Economista, 2019.

Olgyay, V., *Arquitectura y clima*, Barcelona, Gustavo Gili, 2010.

Reif, D., *Reconversión solar,* México, Gustavo Gili, 1983.

Sthahel, W., "The performance economy. Palgrave Macmillan", en Jiménez, L. M. y Pérez, E., *Economía Circular-Espiral*, Madrid, Ecobook-Editorial del Economista, 2006.

Referencias electrónicas

Barceló, Pérez C. *Transmisión de calor en los edificios*. Cuba. CEPIS/OPS-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, s/f. En www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase31/clase31.htm y www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase32/clase32.htm

Cemex Ventures, "Top 10 materiales de construcción sostenibles para la construcción ecológica", 14 de noviembre de 2023. En https://www.cemexventures. com/es/materiales-construccion-sostenible (Consultado el 24/04/2025).

CR, "Materiales ecológicos para construcción sostenible en México", 27 de mayo de 2024, México. En crmexico.mx

Gattupalli, A., "Materiales ecológicos: hacia una nueva economía". En archdaily.mx, 2022 (Consultado el 24/04/2025).

LIDER (s/f). "Características de materiales para LIDER", en *Solo Arquitectura*. En http://www.soloarquitectura.com/foros/archive/index.php/t-7823.html

ITER-Bioclimatismo e Integración (s/f), "Guía práctica Bioclimatismo". En www.iter.es/I18NLayer.areasiter/es/energiasrenovables/eolica/difudioneolica/eramac/GuiapracticabioclimatismoeramacII.pdf

Sánchez, T. y Cedeño, A., "Plastics: the big environmental problem of our time", en *International Journal of Biological and Natural Sciences*, vol. 4, núm. 6, 2024. En https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/869193/1/los-plasticos-el-gran-problema-ambiental-de-nuestra-epoca-2.pdf

Sisternes, Á. "Arquitectura orgánica: Qué es y en qué consiste", 20 de octubre de 2022. Blog Reto Kömmerling (retokommerling.com).