



Investigación Original

El Paradigma Ecosistémico: La Medición de la Huella de Carbono en la Arquitectura y su Impacto en la Educación

Reyna Parroquín Pérez, Universidad Veracruzana, México
Marco Montiel Zacarías, Universidad Veracruzana, México
Miriam Remess Pérez, Universidad Veracruzana, México

Recibido: 03/04/2024; **Aceptado:** 09/04/2024; **Publicado:** 10/04/2024

Resumen: En la búsqueda de una arquitectura genuinamente sostenible, el enfoque del paradigma ecosistémico, a través de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental, se convierte en agente revolucionario. Esta forma de pensamiento no solo transforma la forma en que concebimos los edificios, sino que también redefine nuestra relación con el entorno natural y la comunidad a partir de nuevas formas de sentir y valorar. La presente investigación aborda este cambio de paradigma, la necesidad de una nueva ética para una ecoalfabetización arquitectónica, destacando la importancia de construir con materiales de kilómetro cero, que minimicen la huella de carbono y promuevan la resiliencia constructiva. Se presenta una metodología para medir la huella de carbono en proyectos arquitectónicos mediante una comparativa entre una vivienda construida con materiales naturales y reciclados y otra con materiales industriales, como lo son el cemento y el acero. Los resultados revelan de manera contundente cómo la elección de materiales influye significativamente en la sostenibilidad de un proyecto, con implicaciones no solo ambientales, sino también económicas y sociales al rescatar saberes y oficios vernáculos y reducir costos de materiales. La incorporación de los conceptos de ecodiseño y resiliencia constructiva en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la arquitectura es un punto de inflexión crucial para la formación de arquitectos y profesionales de la construcción más conscientes y preparados para afrontar los desafíos ambientales del presente, que exigen entender la arquitectura sostenible como norma, no como excepción.

Palabras Clave: Paradigma Ecosistémico, Ecodiseño, Huella Ecológica, Sustentabilidad.

Introducción

El Problema

La preocupación del cambio climático ha ido en aumento tal como lo demuestra la conferencia sobre el clima Paris 2015, en donde 195 países adoptaron el acuerdo mundial del cual EUA anuncio la retirada, a pesar de ocupar el segundo lugar como mayor emisor de gases de efecto invernadero a nivel mundial. La principal acción del acuerdo consiste en limitar el calentamiento global y lo que más interesa es reducir la emisión de gases de efecto invernadero, tal es el caso del dióxido de carbono y sus impactos negativos en el planeta.

Sin embargo, a pesar del arduo e incansable trabajo de la ONU. “EL Protocolo de Kyoto fijó una reducción de emisiones del 5% para 2010, cuando en realidad han aumentado un 40% en este periodo que abarca entre 1997 y 2010. Para evitar el aumento medio de dos grados centígrados en 2050 por efecto del cambio climático, se tendría que reducir las emisiones mundiales en un 80% con relación a 1990. Es el panorama, estas son las dificultades y el camino andado no parece que sea solo escaso, sino exactamente en sentido contrario”. (Arimany Serrat, Sabata Aliberch y Burgaya Riera 2021).

Aunado a ello, sectores como la industria de la edificación genera una producción considerable de CO₂ en todo el proceso que va desde la extracción de los materiales, la industrialización de estos, el transporte y distribución, la puesta en la construcción y la demolición. Al menos a la industria del cemento le corresponde aproximadamente el 5 % de las emisiones de CO₂. La mezcla de cemento, arena, grava y agua (concreto) es el material que más se utiliza para construir en el mundo. Cada año se emplean 1.6 billones de toneladas de cemento y cada tonelada en su fabricación emite una tonelada de CO₂ a la atmósfera sin considerar la maquinaria pesada que se utiliza.

“El sector de la construcción comercial y residencial representa el 39% del dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera a la vez que genera el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas” (Growing Buildings 2019). Por lo anterior, se concluye que la mitad del CO₂ se relaciona con la edificación.

Es aquí en donde el presente estudio cobra importancia, dado que tiene como objetivo reflexionar y cuestionar las decisiones de diseño y la elección de los sistemas constructivos a través del empleo de materiales, pertinentes a las condiciones de los entornos en los que se edifica. Estas decisiones deben estar basadas en provocar el menor impacto ambiental posible (reducción del uso de combustibles fósiles). El enfoque desde la sostenibilidad involucra, por tanto, desde una ética ecosistémica, tomar en cuenta los factores ambientales, económicos y socio culturales. Todo esto, además del uso de herramientas digitales de cálculo de CO₂ aplicadas a un proyecto de construcción; para poder evidenciar la gran diferencia que existe entre los materiales que genera el lugar y los materiales de producción industrial.

Marco Teórico

De acuerdo con las (Naciones Unidas, s.f.) el cambio climático se refiere a transformaciones a largo plazo en los patrones climáticos y temperaturas. Si bien pueden ser resultado de causas naturales, como variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas, desde el siglo XIX, las acciones humanas se han convertido en el motor principal de estos cambios. Esto se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas.

Cuando estos combustibles se queman, generan emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una capa que retiene el calor del sol, aumentando así las temperaturas. Los principales gases responsables de este efecto son el dióxido de carbono y el

metano, provenientes de actividades como el uso de gasolina en automóviles, la quema de carbón para calefacción, la deforestación, la agricultura, la industria petrolera.

Estas actividades generan lo que se conoce como huella ecológica es una medida que permite analizar de manera integral el impacto ambiental de nuestras acciones diarias, ya sea a nivel individual, empresarial o a escala de un país (Martínez 2007). A través de esta herramienta, se puede identificar áreas donde podemos reducir nuestro impacto y tomar medidas para minimizarlo. La huella ecológica se refiere a la superficie de tierra y agua requerida para producir los recursos necesarios y para absorber los residuos generados por una determinada población. Este concepto busca mostrar la relación entre la demanda humana y la capacidad de la Tierra para satisfacer esas necesidades y asimilar esos desechos. Ésta no solo se refiere a la cantidad de recursos consumidos, sino también a la calidad de esos recursos. Esto implica considerar aspectos como la cantidad de energía utilizada, la eficiencia en el uso de los recursos, la producción de residuos y la contaminación generada.

El Ecodiseño busca integrar criterios ambientales en el proceso de diseño de productos, con el fin de minimizar los efectos negativos en el medio ambiente. Se basa en la idea de que los productos deben ser concebidos de manera que sean sostenibles a lo largo de su ciclo de vida, desde su fabricación, uso y disposición final. Su objetivo es reducir el consumo de recursos naturales, así como la generación de residuos y las emisiones contaminantes. Para ello, se deben tomar en cuenta aspectos como la elección de materiales más sostenibles, la eficiencia en el uso de la energía, la optimización de los procesos de producción, la facilidad de desmontaje y reciclaje, además de la durabilidad y funcionalidad del producto.

El problema actual del uso desmedido de los recursos naturales llevó a la Organización de las Naciones Unidas a que se exigiera un nuevo modelo productivo que optimice los recursos y la energía (Iberdrola 2021). En ese sentido:

El ecodiseño es una parte clave de la economía circular, una estrategia que trata de prolongar indefinidamente el valor de los productos manteniéndolos dentro de un circuito cerrado libre de residuos. El diseño con materiales sostenibles permite que los bienes de la economía circular terminen su vida útil en condiciones de adoptar nuevas funciones, a diferencia de la economía lineal que se basa en el principio de comprar, usar y tirar. (Iberdrola 2021, s/p.)

Dentro de las características más importantes del ecodiseño, podemos apreciar que existe una reducción de materiales, así como el uso de materiales reciclables y biodegradables como estrategias comunes en la fabricación de envases y embalajes. Este diseño igual permite el reciclaje favoreciendo el desmontaje con materiales que sean fáciles de identificar o volver a emplear. Asimismo, se utiliza la menor cantidad de materiales posibles y se busca que sean

biodegradables, además de que sean fabricados con mayor calidad, a fin de que la vida útil se prolongue y así disminuya su desecho.

De la mano con lo anterior, también se busca que estos productos no tengan solo un uso, evitando con ello que la gente tienda a comprar varios productos que a la larga terminarán convertidos en una gran cantidad de desechos. Por último, que sean diseñados con innovación tecnológica, lo cual puede ayudar a que tengan una mejor eficiencia y sostenibilidad, al mismo tiempo que por sí mismos sean capaces de llevar un mensaje ecológico a los usuarios.

De la misma manera la huella de carbono es una medida que se utiliza para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que son emitidos a la atmósfera como resultado de las actividades humanas. Los GEI, también conocidos como gases de efecto invernadero, son gases que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento global y al cambio climático.

La principal causa de la huella de carbono es la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, el gas natural y el carbón, para la generación de energía, la industria, el transporte y la calefacción. Otros factores que contribuyen a la huella de carbono incluyen la deforestación, la agricultura intensiva y el manejo inadecuado de los residuos.

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero y representa aproximadamente el 76% de las emisiones totales. Otros GEI incluyen el metano (CH₄), generado principalmente por la industria agrícola y los procesos de descomposición, y el óxido nitroso (N₂O), que se produce principalmente por la quema de combustibles fósiles y la agricultura intensiva.

Respecto a la industria de la construcción, en 2021, las emisiones operativas de CO₂ relacionadas con la energía de los edificios aumentaron alrededor del 5% en comparación con 2020, superando el pico de 2019. Este aumento siguió a una reducción sin precedentes del 10% en 2020 debido a la pandemia de COVID-19. Figura 1

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

<i>Año Puntos clave del informe sobre la situación mundial: Hacia un sector de la construcción y la edificación con cero emisiones, eficiente y resiliente</i>	
2018	<ul style="list-style-type: none"> • En 2017 el sector de la construcción representó un 36% del uso final de energía y el 39% de las emisiones. • Las mejoras en eficiencia energética y la descarbonización han equilibrado el impacto del crecimiento demográfico en las emisiones de la construcción.
2019	<ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones relacionadas con la energía en la operación de edificios y la industria de la construcción representan el 38% de las emisiones globales de CO₂. • La construcción de edificios a nivel mundial consume el 50% de cemento y el 30% de acero, destacando la necesidad de prolongar la vida útil de los edificios y reducir su reemplazo con materiales menos carbonados.
2020	<ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones de los edificios aumentaron a 10 GtCO₂ en 2019, representando el 28% del total global. • La producción de materiales de construcción está impulsada por la fabricación de cemento y acero. • Las emisiones relacionadas con la energía en la operación de edificios y la industria de la construcción representan el 38% de las emisiones globales de CO₂.
2021	<ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones totales relacionadas con la energía de la operación y construcción de edificios disminuyeron en más del 10% en 2020. • Las emisiones de la fabricación de materiales de construcción disminuyeron en 2020.
2022	<ul style="list-style-type: none"> • La fabricación de hormigón, acero y aluminio para la construcción de edificios representó otro 8% de las emisiones globales. • Materiales de construcción, como ladrillos y vidrio, representaron entre el 2 y el 4% de las emisiones globales. En total, los edificios y la construcción representaron alrededor del 37% de las emisiones globales de energía operativa y CO₂.

Figura 1: Puntos Clave sobre la Situación Mundial. Hacia un Sector de la Construcción y la Edificación con Cero Emisiones, Eficiente y Resiliente

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Search, s/f. Unep.org. Recuperado el 1 de diciembre de 2023, de <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/1/discover?query=%20Global%20Status%20Report%20for%20Buildings%20and%20Construction>*

La fabricación de hormigón, acero y aluminio para la construcción de edificios representó otro 8% de las emisiones globales. Otros materiales de construcción, como ladrillos y vidrio, representaron entre el 2 y el 4% de las emisiones globales. En total, los edificios y la construcción representaron alrededor del 37% de las emisiones globales de

energía operativa y CO₂. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2022, 5).

El repunte de las emisiones globales indica que las inversiones en reducción de emisiones a través de programas de estímulo pandémico han tenido un impacto limitado hasta ahora. Para alcanzar cero emisiones netas de CO₂ para 2050, se estima que las emisiones del sector de la construcción deberían caer a alrededor de 5 GtCO₂ en 2030, lo que implicaría una tasa anual de reducción de emisiones del -8,3% anual durante los próximos ocho años. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2022).

A la par del crecimiento demográfico a nivel mundial, también ha incrementado la construcción y demolición de edificios, carreteras, puentes, complejos habitacionales, etc. Ejemplo de esto lo podemos encontrar en la Ciudad de México, “donde en 2013 había una generación diaria de 3,500 toneladas de RCD (Betancurt Quiroga 2019 et, el., León Lira 2022, 192). Es importante reflexionar sobre el impacto producto de demolición en la industria de la construcción en el rubro de la edificación, ya sea por reparación, mantenimiento, reconstrucción y rehabilitación. De obras públicas con el fin de ampliar, remodelar, reacomodar estos espacios.

Los residuos de construcción y demolición se componen principalmente de materiales inertes, lo cual quiere decir que se trata de materiales que aparentemente tienen poco o nulo impacto ambiental; sin embargo, su interacción con el medio ambiente genera compuestos dañinos, y, a largo plazo, su mal manejo no solo produce impactos ambientales, sino también sociales y económicos. Por ejemplo, al suelo lo afecta mediante la pérdida de calidad, pérdida del suelo productivo; además, contamina cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas y mantos acuíferos; mientras que en el aire produce contaminación atmosférica; y genera desequilibrios en la biosfera, como la aparición de mosquitos y plagas de roedores, se agotan los recursos naturales, y se produce un desplazamiento de especies generando un impacto visual. (León Lira 2022).

Una forma de disminuir estos daños es a través de una gestión correcta de estos residuos, de manera que se prevenga, reduzca, aproveche y disponga, finalmente, de los materiales producidos en el sector de la construcción. Para ello, es necesario reducir el consumo de materiales vírgenes y, por ende, el costo del transporte de éstos, lo que, en consecuencia, generaría una reducción en los costos por tratamiento en un relleno sanitario.

De igual manera, (León Lira 2022) menciona que es de suma importancia que en la gestión de estos residuos se involucre la administración pública en la generación de modelos que permitan a los responsables de cada proyecto saber de manera puntual qué tipo de materiales se encuentran cercanos a su zona de trabajo, y así controlar el flujo de éstos de forma más precisa.

Evolución y Uso de Materiales y Sistemas Constructivos

Los materiales utilizados en la construcción han ido cambiando a lo largo del tiempo, influenciados por diversos factores como la disponibilidad de recursos naturales, avances tecnológicos y demandas estéticas y funcionales. Desde los primeros asentamientos humanos hasta la actualidad, ha habido una constante búsqueda de materiales que sean duraderos, resistentes y atractivos visualmente.

(Lozano 2012) menciona que uno de los principales avances en la evolución de los materiales de construcción fue la utilización de la piedra, que ofrecía una mayor durabilidad y resistencia en comparación con otros materiales como la madera. A medida que las sociedades evolucionaron, se fueron descubriendo y utilizando nuevos materiales como el ladrillo, el concreto y el acero, que revolucionaron la forma en que se construían los edificios.

El autor destaca también la importancia de los sistemas constructivos en la evolución de la arquitectura. A medida que se fueron desarrollando nuevos materiales, se crearon también nuevos métodos de construcción que permitían una mayor eficiencia y rapidez en la construcción de edificaciones. Por ejemplo, se mencionan sistemas como el entramado de madera, las bóvedas y los arcos, que fueron utilizados en diferentes épocas y regiones del mundo para construir grandes obras arquitectónicas.

De igual manera, resulta fundamental la sostenibilidad en la elección de los materiales y sistemas constructivos. Hay que hacer hincapié en que en la actualidad existe una creciente preocupación por el impacto ambiental de la construcción y se busca utilizar materiales y sistemas que sean más amigables con el medio ambiente. Se mencionan materiales como la madera tratada y el concreto reciclado, así como sistemas constructivos que minimizan el consumo de energía y recursos naturales.

Por último, los avances tecnológicos y las demandas estéticas y funcionales han impulsado la búsqueda de materiales más duraderos, resistentes y sostenibles, con la finalidad de obtener sistemas constructivos más sostenibles.

De acuerdo con (Acosta 2009) el tema de la sostenibilidad en la construcción se relaciona estrechamente con la sostenibilidad de las comunidades humanas y del entorno natural, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas. Existe un imperativo ético que nos debe guiar, y es que, al buscar soluciones a las urgentes necesidades de nuestras sociedades actuales, no debemos comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Es esencial que consideremos el impacto de nuestras acciones en el medio ambiente y las tecnologías de construcción, no tratándolos como aspectos aislados.

Como menciona (Collell Schnaidt 2017) la formación del arquitecto debe incluir el tema de la sostenibilidad urbana, ya que es una preocupación constante a nivel mundial. Esta preocupación surge de la necesidad de cambiar nuestros patrones de consumo para mejorar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. La sostenibilidad urbana se concibe como

una nueva forma de pensar y actuar en el entorno urbano, centrándose en la transformación de las áreas existentes en lugar de la construcción de nuevas ciudades. Es crucial comprender que la sostenibilidad debe ser incorporada en los espacios urbanos ya existentes. Nuestras ciudades actuales deben ser sostenibles, y esto implica realizar intervenciones específicas que estén integradas en un plan o visión estratégica global.

Construcción Sustentable

Sin embargo, actualmente existen alternativas en la construcción de viviendas, que representan diferentes beneficios para los usuarios y los constructores, así como para el medio ambiente. A esta rama de la construcción se le conoce como construcción sostenible. Representa un menor impacto al medio ambiente. Dentro de esta rama ha destacado la construcción con bambú, ya que este material tiene características muy favorables que van desde cumplir con ciertas reglamentaciones en estándares de calidad y seguridad de vivienda, así como aspectos propios de este árbol, los cuales se describen a continuación.

Evaluación de Aspectos Ambientales

Cuando se busca conocer a través de qué manera determinadas actividades, productos o servicios interactúan con el medio ambiente, y, en consecuencia, el impacto ambiental de éstos se necesita saber primero cuáles son los aspectos ambientales relacionados con el impacto. Una vez que ya fueron identificados a conciencia, entonces se pasará a una fase de evaluación, en la cual deben establecerse criterios para determinar que un aspecto ambiental tenga impactos significativos.

Dichos criterios se dividen en tres; los generales, que se caracterizan por poder aplicarse a diferentes aspectos ambientales; los reproducibles, que pueden aplicarse a los mismos aspectos ambientales o situaciones en diferentes momentos; y, los aptos para someterse a comprobaciones independientes, es decir, que pueden ser aplicados por diferentes personas y el resultado no varíe (Ihobe S.A. 2009).

Estos criterios constan de cinco tipos diferentes, con base en condiciones normales y anormales de funcionamiento. El primero es la magnitud, en la que se considera la cantidad o volumen del aspecto ambiental generado, además de la frecuencia, es decir, la duración o repetición de éste, y la extensión de la zona o superficie afectada. En segundo lugar, está la peligrosidad, que consiste en otorgar mayor significancia a los aspectos ambientales que sean más dañinos para el medio ambiente. En tercer lugar, está el acercamiento o límite de referencia, que mide la repercusión del acercamiento a un límite legal. En cuarto lugar, está la sensibilidad del medio, con la cual se le atribuye mayor significancia a un aspecto ambiental cuando se encuentra en un entorno más sensible para el medio ambiente. Por último, tenemos el estado de regulación, que consiste en el conocimiento de la existencia de algún requisito legal u otro tipo de requisito.

En el caso de la construcción, los criterios pueden aplicarse según el tipo de construcción que se esté realizando. Para la construcción con bloque de hormigón, cemento y acero, es posible que las evaluaciones arrojen como resultado impactos mayores, ya que suelen tener un nivel más alto de peligrosidad, además de que suelen ser más frecuentes y de larga duración; asimismo, en algunas ocasiones incumplen los límites legales o repercuten de manera negativa en ambientes con mayor sensibilidad ambiental, aunque casi siempre cumplen con regulaciones legales que suelen tener estándares accesibles para aprobar construcciones. Por ende, es posible que la construcción sostenible represente una alternativa positiva, ya que los aspectos ambientales a evaluar son más amables a nivel impacto ambiental, como ya se mencionó, por ejemplo, en la construcción con bambú.

Integración de Herramientas de Gestión Ambiental

Con el paso del tiempo, se ha acrecentado la preocupación por el medio ambiente y la necesidad de abordar los problemas ambientales también desde una perspectiva empresarial. De esta manera, resulta fundamental girar la mirada hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en las organizaciones.

Isaac, Ciria, Gomez Baez, y Díaz Aguirre, (2017) explican que la integración de herramientas de gestión ambiental en las organizaciones puede ser beneficiosa tanto para el medio ambiente como para las empresas en sí. Estas herramientas incluyen, entre otras, la gestión de residuos, la evaluación de impacto ambiental, la gestión de agua y la energía, y la implementación de normas y certificaciones ambientales. La implantación de una herramienta de gestión ambiental se desarrolla por medio de un instrumento metodológico de ocho pasos (Isaac, Ciria, Gomez Baez, y Díaz Aguirre 2017, el cual puede ser empleado por cualquier tipo de organización. Esta metodología se sustenta de la siguiente manera:

- La base conceptual de la ecoeficiencia y de desarrollo sostenible organizacional.
- Modelos voluntarios como normas ISO, que se elaboran a través de acuerdos multilaterales, como pauta de comportamiento a seguir a nivel internacional y que se acogen a un país en particular.
- Metodologías prácticas para valorar la gestión ambiental y la sostenibilidad utilizando indicadores.
- Directrices, normas y guías internacionales en responsabilidad social y sostenibilidad empresarial (Unión Europea, Fondo Social Europeo 2012) y normas de desempeño sobre sostenibilidad ambiental y social (Corporación Internacional Financiera 2012).
- Requisitos legales aplicables por cumplimentar.

- Herramientas de gestión ambiental no normalizadas como producción más limpia (P+L), gestión de residuos y de residuos peligrosos, filosofía de las 3Rs, entre otras. (Isaac, Ciria, Gomez Baez, y Díaz Aguirre 2017, 29)

Del mismo modo, es importante destacar el papel de la educación y capacitación para fomentar la conciencia ambiental entre los miembros de las distintas organizaciones. Esto se puede lograr por medio de cursos y talleres, así como con la promoción de la participación de los empleados en actividades de conservación y cuidado del medio ambiente. Además, para lograr que las organizaciones integren herramientas de gestión ambiental como prácticas sostenibles, deberán establecerse políticas ambientales claras, así como implementar medidas de conservación y capacitación, y promover la conciencia ambiental en todos los niveles de organización. El objetivo final al que apunta lograr establecer estas herramientas consiste en lograr también un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente.

Todo ello coincide con (Sánchez Vazquez 2022), plantea el involucramiento de las ciencias de la educación como posible solución en los estudios de conflictos ambientales mismas que pueden aportar soluciones innovadoras dentro de esta crisis eco social además de convertirse en vectores de fuerzas de sostenibilidad.

“En cualquier caso, la didáctica basada en el estudio de los conflictos parte de una concepción constructivista del desarrollo curricular, ya que se busca un aprendizaje significativo y funcional a partir del usos de informaciones y materiales relativos a situaciones reales del entorno cercano del alumnado, y por tanto se posiciona en la línea de “una larga tradición pedagógica que sitúa al alumnado en el centro del proceso de aprendizaje y que tiene sus máximos exponentes” en Decroly, Dewey y Freinet (Sáenz del Castillo 2017, 134), citado por Sánchez Vazquez 2022.

Sistemas Constructivos en Arquitectura

Existen diversos sistemas constructivos utilizados en arquitectura que se emplean en la creación de edificios y estructuras. Estos sistemas se basan en diferentes técnicas y materiales utilizados para construir y ensamblar elementos de la construcción. Un sistema constructivo es aquel que:

Busca métodos más sencillos que no comprometan las características arquitectónicas y estéticas de la obra, para lograr mejores resultados en cuanto a la edificación, pero también en cuanto la eficientización de materiales y espacios para los usuarios y el uso final del edificio. (Acerofom 2023, s/p.).

También podemos entender un sistema constructivo de la siguiente manera:

Conjunto de materiales y componentes de diversa complejidad, combinados racionalmente y enmarcados bajo ciertas técnicas, que permiten realizar las obras

necesarias para construir una edificación, originando por lo tanto un objeto arquitectónico. (Orozco 2008)

Existen diversas maneras de clasificarlos, están los de sistema de cajón múltiple, que consisten en sistemas de paredes y placas estructurales; los sistemas de pórtico espaciales, que consisten en vigas y columnas que forman un sistema esquelético en el espacio; los combinados de pórticos y paredes; los combinados de piso flexible, que en sus primeros niveles son estructuras abiertas y en los últimos niveles son estructuras de cajón, entre otros más, adecuados conforme a las necesidades de cada proyecto de construcción (Perea 2012)

Cada sistema constructivo tiene sus ventajas y desventajas, y la elección dependerá de las necesidades y requerimientos del proyecto arquitectónico. Es importante considerar aspectos como el clima, el costo, la sostenibilidad, la durabilidad y la estética al seleccionar el sistema constructivo adecuado para cada proyecto. Además, es fundamental contar con profesionales capacitados en cada sistema constructivo para garantizar la calidad y seguridad de la construcción.

En Uso del Bambú

El bambú es muy resistente y duradero. Su estructura natural le otorga una alta resistencia a la compresión y tracción, lo que lo convierte en una opción adecuada para la construcción de diferentes tipos de edificaciones, aunque, debido a su vida útil corta (en comparación con el hormigón), éste debe ser de alta calidad, además de que deberán dársele los cuidados necesarios. En ese sentido, “entre mayor sea el contenido de humedad de la caña, éste afecta su durabilidad, así como su resistencia ante cargas solicitadas, por lo que el esfuerzo admisible también disminuye (Bello Zambrano y Villacreses Viteri 2021, 1997)

Por otro lado, el bambú puede utilizarse en la construcción de diversos elementos arquitectónicos, como estructuras, revestimientos, pisos, muebles, entre otros. Su versatilidad permite adaptarse a diferentes estilos de construcción y diseños. Esta versatilidad, aunada a su gran resistencia, se deben a la relación que existe entre su peso y las características de su estructura física, los cuales permiten que el material pueda curvarse sin que éste se rompa, aunque, claro está, es fundamental que posea los valores mínimos que establece la Norma Técnica de construcción en caña guadua (2016)

Entre las principales ventajas de trabajar con bambú, podemos encontrar que éste tarda en madurar de 6 a 7 años, por lo que tiene un rendimiento mayor al de la madera, además de que evita la deforestación y la desertificación de suelo (Bello Zambrano y Villacreses Viteri 2021). De igual forma, previene la erosión del suelo, protege las riberas de los cursos de agua, almaceno dióxido de carbono alberga especies de flora y fauna local (Añazco y Rojas 2015, en (Bello Zambrano y Villacreses Viteri 2021). En cuanto a los desechos que se producen al momento de utilizarlo como material de construcción, debemos decir que éste no contamina dado que sus residuos son biodegradables, por lo que se reincorpora al suelo. Además, el bambú puede estar más al alcance que otros materiales sintéticos y su siembra y crecimiento son rápidos, por lo que tampoco representa un daño al medio ambiente importante en cuanto a las formas de obtención y de transporte. Igual se le pueden añadir otros materiales de construcción, como barro, madera, zinc, entre otros elementos ecológicos y sintéticos.

Ahora bien, también existen algunas desventajas en el uso del bambú, como que, si no se protege adecuadamente, la humedad lo puede descomponer. Además, dado que el diámetro de las cañas varía de una a otra, y dependiendo de la longitud a la que ésta se corte, se debe trabajar de manera muy minuciosa para que todas las partes tengan el mismo espesor y la misma longitud. Por otro lado, deberá ser curado enseguida de que se cortó, para evitar ataques de hongos e insectos, lo cual asegura una mayor durabilidad del material.

Por último, cabe mencionar que, en comparación con las construcciones de hormigón, el bambú es un material de bajo costo que bien puede utilizarse en la construcción de viviendas de interés social, aunado a que es un recurso renovable que “favorece la explotación forestal local y la protección medioambiental” (Soler 2017, en (Bello Zambrano y Villacreses Viteri 2021, 2004). Además de que “el empleo del bambú en lugar del hormigón armado la hace una importante alternativa sostenible y eficiente para proteger el ambiente del consumo de energías no renovables (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán 2018, en (Bello Zambrano y Villacreses Viteri 2021, 2006).

De los Métodos

Para cuantificar la huella de carbono existen muchas metodologías, sin embargo, valdría mencionar las siguientes dos:

En el análisis topdown (de arriba a abajo) se parte de la visión más amplia del mercado, para ir descendiendo en la cadena de análisis, hasta llegar a la visión más concreta de la empresa objeto de estudio. De un contexto global pasan al valor concreto. En el análisis bottom-up (de abajo a arriba) se comienza el análisis por la parte del mayor detalle posible. Este enfoque, no reniega del conocimiento de la situación macroeconómica, aunque da prioridad al análisis de las empresas como

objeto de estudio de oportunidades del mercado. (Espíndola y Valderrama 2012, 167).

Así, los autores proponen que la mejor manera de cuantificar la huella de carbono es a través de un híbrido de estos dos métodos, pues este análisis:

Permite la preservación de los detalles y la precisión de los enfoques de abajo-arriba (bottom-up) en los procesos importantes, mientras que la mayoría de las etapas de producción menos significativas, pueden ser cubiertos por el modelo de entrada y salida (top-down). Dependiendo de la aplicación, las etapas a las que se aplique uno u otro método variarán, con el fin de lograr una solución óptima en base a la combinación entre la exactitud, precisión y eficiencia en los costos. (Minx et al. 2010, de Espíndola y Valderrama 2012, 168).

De esta manera, puede ser posible medir, por ejemplo, el impacto ambiental que tiene la industria de construcción hegemónica, en comparación con la construcción sostenible, pues se contemplaría visiones macroeconómicas como “desarrollo sustentable, la economía del cambio climático, los marcos nacionales de producción, el consumo sostenible, así como las cuestiones locales y regionales de desarrollo” (Espíndola y Valderrama 2012, 168).

Por ello cobra relevancia comprender el proceso del análisis del ciclo de vida que va desde la extracción de los recursos naturales, materias primas, diseño, embalaje y producción de este. Seguido por su distribución, uso y mantenimiento. Haciendo conciencia que la fase de disposición de recursos en su etapa final puede ser el reciclado de materiales y materias primas, figura 2.

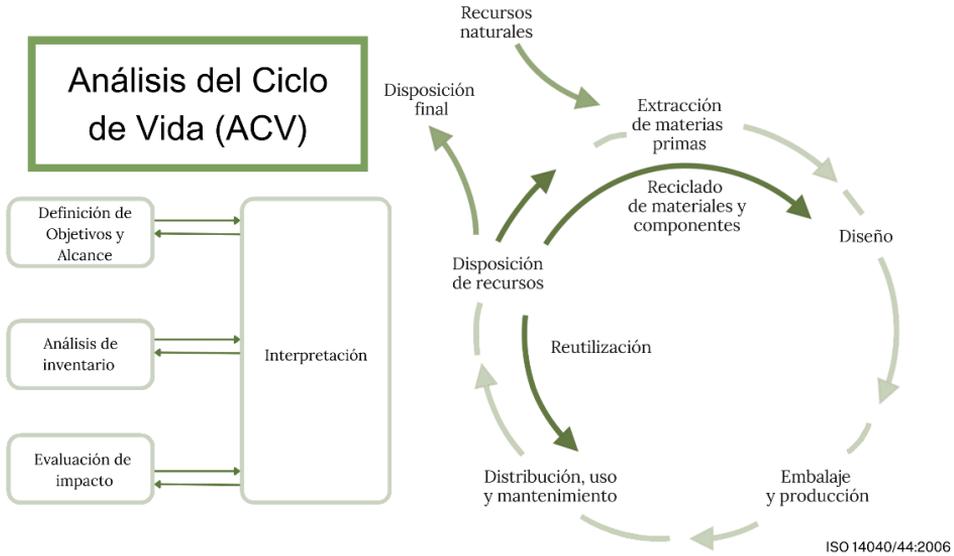


Figura 2: Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Fuente: ISO 14040/44. 2006. *Environmental Management-Life Cycle Assessment- Principles and Framework*. International Organization for Standardization, 2006

Es importante definir objetivo y alcance del proyecto. Así como el análisis del inventario para alimentar la base de datos del software y evaluar e interpretar el impacto final del proyecto, figura 3.

CICLO DE VIDA DE LAS EDIFICACIONES



Lira et al., 2019

Figura 3: Ciclo de vida de las edificaciones

Fuente: Lira 2019. Recuperado el 6 de junio de 2023, de CUAED/Facultad de Arquitectura-UNAM: https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/ea610b9e-69fd-49af-acdb-fc26d05b3e6a/analisis_de_ciclo_de_vida/index.html

De igual manera comprender los flujos elementales que van desde la materia prima, materiales, energía entre otros que forman parte del proceso. La fase intermedia y el producto final. Las emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y efluentes. Véase figura 4.

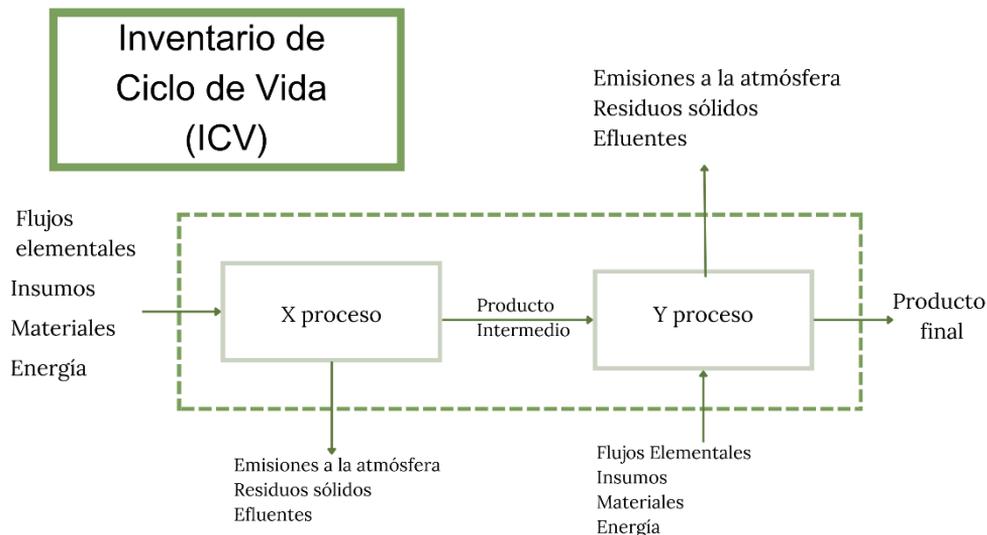


Figura 4: Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Fuente: M. León Lira (s/f) León Lira, M. (s/f). <https://www.linkedin.com/in/rosario-leon-lira/>, 2023

Dentro del análisis del ciclo de vida existen diferentes alcances o enfoques

De la cuna a la puerta el estudio analizado está delimitado por solo una parte del proceso sin contemplar todas las etapas que integran que integran el ciclo de vida que se estudia. De puerta a puerta el estudio está delimitado por solo una parte del proceso o servicio sin contemplar dentro de su etapa el alcance de las demás etapas. Diseño, embalaje o producción en este caso construcción que es nuestro caso de estudio.

Metodología

Cuatro fases integran el proceso metodológico: Basado en un diseño de proyecto arquitectónico para vivienda, se analizan dos sistemas constructivos. Para ello es importante definir el alcance o enfoque de este, como se mencionó será de puerta a puerta: En la propuesta del primer proyecto, su sistema constructivo es de estructura de Bambú, el segundo de estructura de concreto. La segunda fase consiste en consultar fuentes bibliográficas del impacto que generan dichos materiales en Emisiones de Dióxido de Carbono a la atmósfera. En el tercer paso se cuantifican los materiales de cada proceso constructivo de ambos proyectos y la última, se elabora el inventario de ciclo de vida de cada proyecto. Esta sirve de base para alimentar el software y hacer los cálculos correspondientes.

La primera fase consiste en la descripción del proyecto y programa arquitectónico: El proyecto analizado consta de un cuerpo principal con la suficiente altura e inclinación en su cubierta para incluir un tapanco y otro cuerpo anexo para la habitación. De proporción rectangular con espacios destinados en planta baja a sala con chimenea, comedor, cocina, baño seco y regadera. El tapanco “dividido” en dos zonas. El cuerpo anexo tiene forma curva y se integra por uno de los costados al edificio principal. El techo está proyectado como una cubierta verde a dos aguas. Está contemplado el uso de domos de iluminación directa e indirecta. (Montiel y Zacarías 2014). Figura 5.

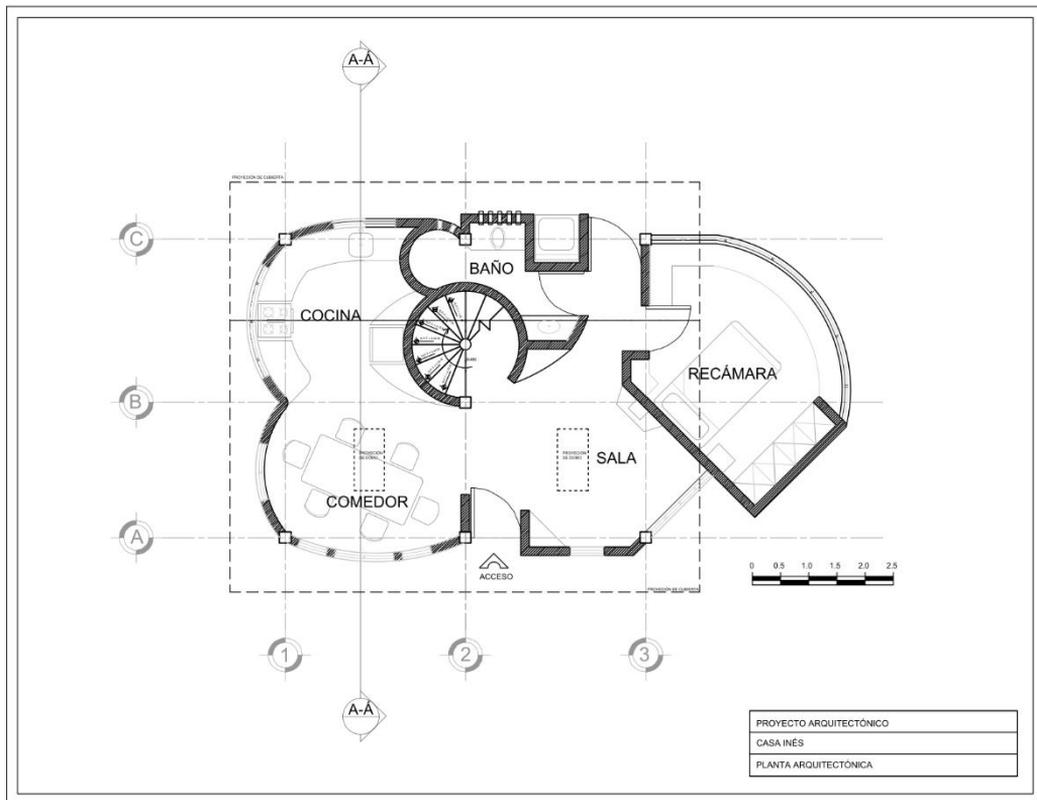


Figura 5: Casita de Barro [Diseño y Obra Arquitectónica]. María Inés G.M., Propietaria
Fuente: Montiel Zacarías, 2014

De las Dos Propuestas

Proyecto con Estructura de Bambú

Del sistema constructivo y estructural: Se consideran cimientos y sobrecimientos a base de lonas tierra estabilizada con 5% de cal y arenilla, para servir de base de los muros y recibir el tablón de madera que soporta el bastidor del muro de bajareque. Firme a base de mezcla con

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

tierra suelta y húmeda, piedra, grava y cal en polvo. muros de bajareque de 15cm de espesor. La cubierta estará apoyada sobre un sistema de nueve postes de madera (postes de teléfono como material de recicle producto de desmantelamiento de red telefónica) los cuales serán hincados sobre el terreno a una profundidad no menor de 80cm. La estructura de la cubierta es de bambú con plumilla con un sistema de techo verde. Así como en los muros será el denominado caña vaquera de Monte Blanco, Veracruz, México. Para su uso en la construcción será de vital importancia seguir los pasos recomendados en los anexos, a partir de los manuales de protocolo específico para el uso del bambú (Montiel, Zacarías 2014).



Figura 6: Casita de Barro [Diseño y Obra Arquitectónica]. María Inés G.M., Propietaria
Fuente: Montiel Zacarías, 2014



Figura 7: Casita de Barro [Diseño y Obra Arquitectónica]. María Inés G.M., Propietaria
Fuente: Montiel Zacarías, Marco, 2014

Proyecto a Base de Estructura Portante de Concreto Armado

Se cuantificó la volumetría de cada proyecto. La construcción del proyecto de concreto solo la cadena de desplante y la estructura con todos sus componentes. Es decir, se dividió por subprocesos y obtuvo el volumen de los materiales componentes. Parte fundamental de la investigación consistió en identificar fuentes bibliográficas del impacto que generan dichos materiales en Emisiones de Dióxido de Carbono a la atmosfera. Véase figura 8.

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

<i>Material</i>	<i>Emisión de CO2</i>	<i>Autor-es</i>
Cemento	0.901 kg de CO2 por Kg de material.	Guzmán Barrero, N., y Gaitán Navia, M. (2021). Análisis comparativo del impacto de la huella de carbono de concretos marca Cemex. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1976
Arena	0.018 kg de CO2 por Kg de material.	Guzmán Barrero, N., y Gaitán Navia, M. (2021). Análisis comparativo del impacto de la huella de carbono de concretos marca Cemex. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1976
Arenilla	0.018 kg de CO2 por Kg de material.	Guzmán Barrero, N., y Gaitán Navia, M. (2021). Análisis comparativo del impacto de la huella de carbono de concretos marca Cemex. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1976
Tabique	.270 Kg de CO2 por Kg de Material.	Clemente Alvarez Ecolab. (s. f.). https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2010/09/lo-que-contamina-un-ladrillo-clemente.html
Diesel	2.6 Kg de CO2 por .85Kg de material, que equivale 1 L de Diesel.	Christophe. (2021, 12 noviembre). Emisiones o emisiones de CO2 por litro de combustible (gasolina, diesel, GLP). Économie, Écologie, Énergies, Innovations Et Société. https://www.econologia.net/Las-emisiones-de-co2-litros-de-combustible-de-gasolina-o-diesel-GPL/
Cal	0.43917 Ton de CO2 por Ton de material.	CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004). Link: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf
Acero	1.85 Ton de CO2 por Ton de material.	MATH. (2023, 13 octubre). LA HUELLA DE CARBONO EN EL SECTOR DEL ACERO. https://irp.cdn-website.com/acef31c6/files/uploaded/Huelladecarbonoenelsectoracero.pdf

Figura 8: Emisión de Dióxido de Carbono de Materiales de Construcción con su Fuente Bibliográfica
Elaboración Propia, 2023

Por último, toda esta información fue sintetizada en una tabla. Con el nombre de “Ciclo de vida del proyecto”, donde se expresa el peso de cada material utilizado en cada subproceso, así como el uso de gasolina para maquinaria. Se dividieron entre el total de metros cuadrados del proyecto.

La construcción del proyecto de concreto solo la cadena de desplante y la estructura con todos sus componentes, figura 9

INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL PROYECTO											
EQUIPO	COMPONENTE	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO	CANTIDAD/ M2 TOTALES	TON DE CO2 POR TON DE MATERIAL (EMISION DE CO2)	UNIDAD	REFERENCIA		
CONSTRUCCION DE CONCRETO											
CIMENTACION	DESPLANTE	Acero	0.63784105	TON	ENTRADA	0.00866946	0.82	M2	(Reiner, 2007)		
		Cemento	0.18200228	TON	ENTRADA	0.00247375	0.000901	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia		
		Arena	0.66150827	TON	ENTRADA	0.00899115	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia		
		Agua	129.501619	L	ENTRADA	1.7601714	0.0000003	M2	(Chiala. B et al., 2014)		
		Revolvedora	1.61002013	L	ENTRADA	0.02188321	0.00529	M2	(Christophe, 2021)		
		Vibradora	0.08166769	L	ENTRADA	0.00111002	0.00207	M2	(Christophe, 2021)		
		Acero	0.07714308	TON	ENTRADA	0.00104852	0.82	M2	(Reiner, 2007)		
	Cemento	0.09273758	TON	ENTRADA	0.00126048	0.000901	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia			
	TRABE DE SECCION 0.50X0.20	Arena	0.63	TON	ENTRADA	0.00856289	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia		
		Agua	133	L	ENTRADA	1.80772101	0.0000003	M2	(Chiala. B et al., 2014)		
		Revolvedora	0.28065319	L	ENTRADA	0.00381461	0.00529	M2	(Christophe, 2021)		
		Vibradora	0.02847206	L	ENTRADA	0.00038699	0.00207	M2	(Christophe, 2021)		
		ESTRUCTURA	TRABE DE SECCION 0.40X0.20	Acero	0.11954334	TON	ENTRADA	0.00162482	0.82	M2	(Reiner, 2007)
				Cemento	0.15428825	TON	ENTRADA	0.00223299	0.000901	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia
Arena				0.38910375	TON	ENTRADA	0.00528865	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia	
Agua	82.144125			L	ENTRADA	1.11649369	0.0000003	M2	(Chiala. B et al., 2014)		
Revolvedora	0.49718813			L	ENTRADA	0.00675772	0.00529	M2	(Christophe, 2021)		
Vibradora	0.05043938			L	ENTRADA	0.00068557	0.00207	M2	(Christophe, 2021)		
Acero	0.1456271			TON	ENTRADA	0.00197935	0.82	M2	(Reiner, 2007)		
Cemento	0.21159968	TON	ENTRADA	0.00287604	0.000901	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia				
COLUMNA DE CONCRETO DE SECCION 0.20X0.20M	Arena	0.50115713	TON	ENTRADA	0.00681167	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán, M.(Materiales de Concreto y su emisión. Bogotá, Colombia			
	Agua	105.799838	L	ENTRADA	1.43801946	0.0000003	M2	(Chiala. B et al., 2014)			
	Revolvedora	0.64036744	L	ENTRADA	0.0087038	0.00529	M2	(Christophe, 2021)			
	Vibradora	0.05496481	L	ENTRADA	0.00088299	0.00207	M2	(Christophe, 2021)			

Figura 9: Inventario de Ciclo de Vida del Proyecto a Base de Concreto

Elaboración Propia, 2023

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

La construcción del proyecto de bambú se aplicó el mismo procedimiento, divididos por subetapas desde su estructura, muros, firmes y cubierta. Véase figura 10

INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL PROYECTO									
EQUIPO	COMPONENTE	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO	CANTIDAD/M2 TOTALES	TON DE CO2 POR TON DE MATERIAL (EMISION DE CO2)	UNIDAD	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE BAMBÚ									
ESTRUCTURA PORTANTE	UNIONES DE ACERO	Acero	0.04737285	TON	ENTRADA	0.00064389	0.82	M2	(Reiner, 2007)
		Cal	0.35308915	TON	ENTRADA	0.00479915	0.43971	M2	CRC Handbook of
	REBOCO CAL-ARENA	Arena	2.2213764	TON	ENTRADA	0.0301927	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán, (Chiala, B et al., 2014)
		Agua	0.48129822	L	ENTRADA	0.00654175	0.0000003	M2	Christophe. (2021, 12 noviembre). Emisiones o emisiones de CO2 por litro de combustible (gasolina, diesel, GLP). économie, écologie, énergies, innovations et société. https://www.econologia.net/Las-emisiones-de-co2-
MUROS	CAMION TIPO TORTÓN	Gasolina	38.4	L	ENTRADA	0.52192847	0.04416	M2	
FIRMES	FIRME DE ARCILLA, ARENILLA Y CAL	Arcilla	6.051463	TON	ENTRADA	0.0822508		M2	
		Arena	1.650399	TON	ENTRADA	0.02243204	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán,
		Arenilla	1.650399	TON	ENTRADA	0.02243204	0.000018	M2	Guzmán, N y Gaitán,
		Cal	1.100266	TON	ENTRADA	0.01495469	0.43971	M2	CRC Handbook of
CUBIERTA	CUBIERTA	Tierra	9.1753774	TON	ENTRADA			M2	
		Tepezil		TON	ENTRADA			M2	

Figura 10: Inventario de Ciclo de Vida del Proyecto Construcción de Bambú
Elaboración Propia, 2023

El software utilizado para calcular los impactos fue OpenLCA2.0. Tomando como referencia el concentrado de datos en la tabla de Excel denominada inventario del ciclo de vida del proyecto. La captura es identificando los dos proyectos. La construcción de bambú y construcción de concreto. Al alimentar la base de datos de programa se observan los diagramas de entradas y salidas de ambos proyectos figuras 11 y 12. El árbol de contribuciones el impacto asociado, a cada etapa del proceso, el producto del sistema de la construcción de bambú, el modelo gráfico refleja la asociación a los muros, firme, cubierta y estructura portante.



Figura 11: Diagrama de Entradas y Salidas del Proyecto de Estructura de Concreto
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Así como la construcción con concreto. El árbol de contribuciones muestra la entrada de sus componentes divididos en subetapas: Cadena de desplante pertenece a cimentación. Muros con sus elementos de entrada: Cadenas, castillos y mampostería de tabique. Así como la estructura, traveses y columnas son sus elementos de entradas. Y como todas estas subetapas el producto final es la construcción de concreto.

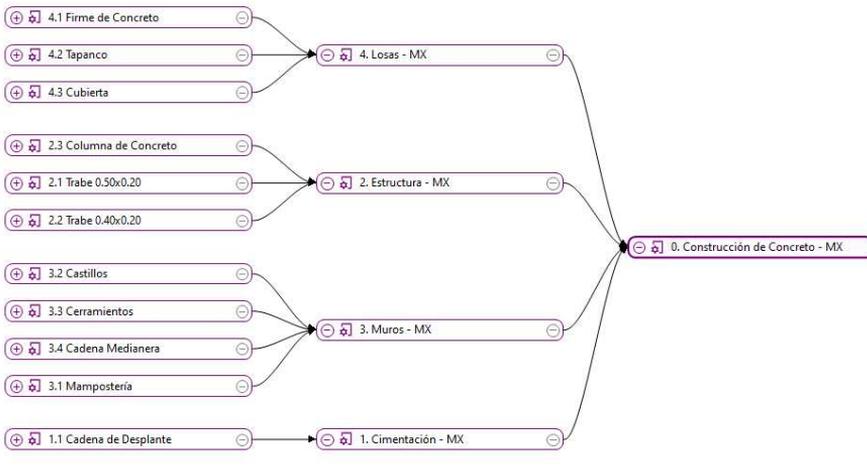


Figura 12: Diagrama de Entradas y Salidas del Proyecto de Estructura de Concreto

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Resultados

Se observa que el 43% de los impactos asociados a la construcción con concreto están vinculados con muros. el 28.67 % a la mampostería y el 20% de todo ese impacto está asociado a los tabiques. De los impactos asociados al Cambio climático a la construcción de concreto el 67% está asociado a la estructura. De los procesos: La cimentación representa 114.07712 kg CO2 eq. Estructura 1,222.51514 kg CO2 eq mientras que los muros reforzados representan 198.74 kg CO2 eq Mientras que la cubierta arroja 81.909 kg CO2 eq

1832 kg de CO2 equivalente ese es el impacto asociado al todo el proceso de construcción del concreto.

Del Proyecto Construido a Base de Bambú

6.58 kg CO2 eq | 2. Corresponde al firme. 4.98 kg CO2 eq | 3.2 por el uso del Camión tipo Torton Este impacta al proceso de estructura, muros y cubierta Mientras que 2.16 kg CO2 eq | 3.1 corresponden a revoco cal-arena utilizada para al proceso de estructura, muros y cubierta. 0.53 kg CO2 eq | 1. Estructura Portante: espárragos metálicos de 3/8” para las uniones del sistema de estructura.

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

El impacto de las emisiones que genera el proyecto construido con concreto. Por acero 9.9. 7.29 tratamiento y camino de fluoruro 7.29 Mientras que 1.18 están relacionados con otros, figura 13.

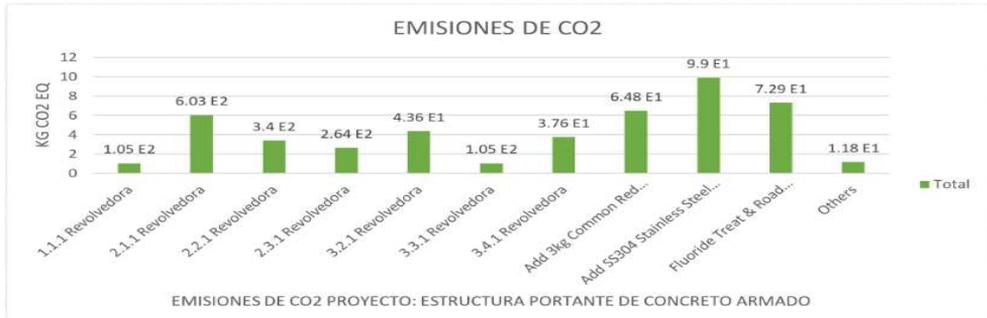


Figura 13: Emisiones de CO2
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Producto de los resultados también se observan las emisiones relacionadas por el uso del equipo para elaborar el concreto todos los procesos desde la revolvedora en todos los subprocesos desde cadena de desplante, hasta estructura y muros con todos sus componentes. Así como el porcentaje de emisiones, figuras 14 y 15.

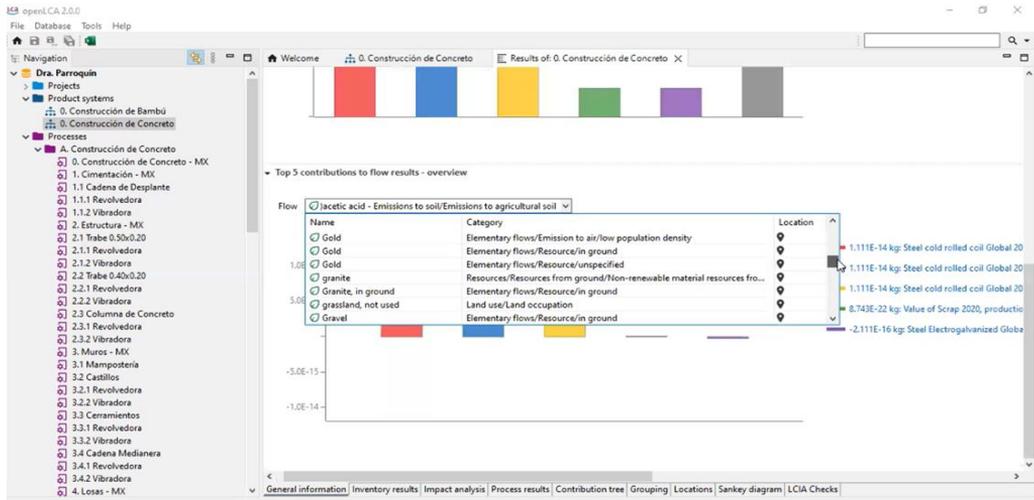


Figura 14: Gráficas Resultado de Emisión de Dióxido de Carbono CO2 del Proyecto de Construcción de Concreto
Fuente: Elaboración Propia, 2023

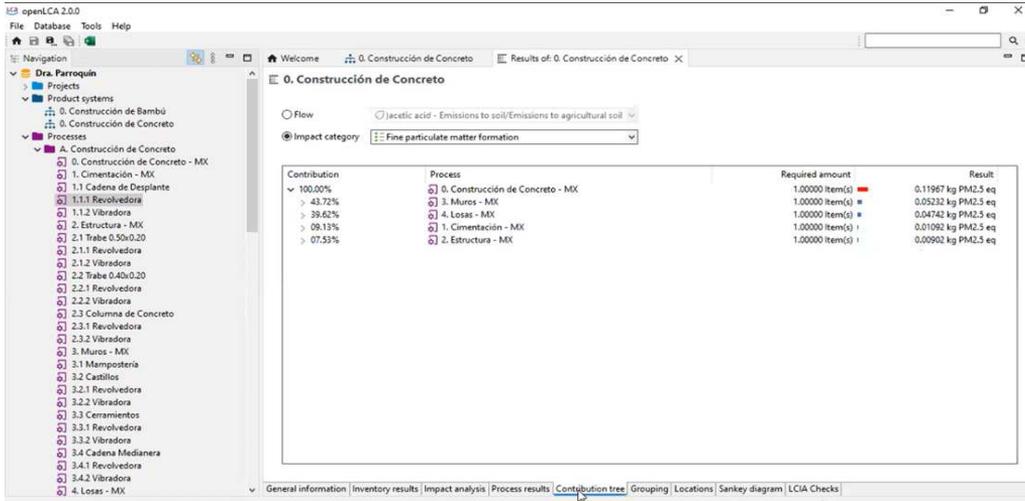


Figura 15: Porcentajes de Emisión de Dióxido de Carbono CO2 del Proyecto de Construcción de Concreto
 Fuente: Elaboración Propia, 2023

Comparado el total de emisiones entre ambos proyectos. El sistema constructivo a base de concreto reforzado con acero impacta al medio ambiente con 1854.01771 kg de emisiones de dióxido de carbono comparado contra la construcción a base de bambú que impacta con 35.34341 kg, cuyas emisiones máximas corresponden al uso de combustible para el transporte del bambú y consumo de acero para solucionar las uniones, figura 16.

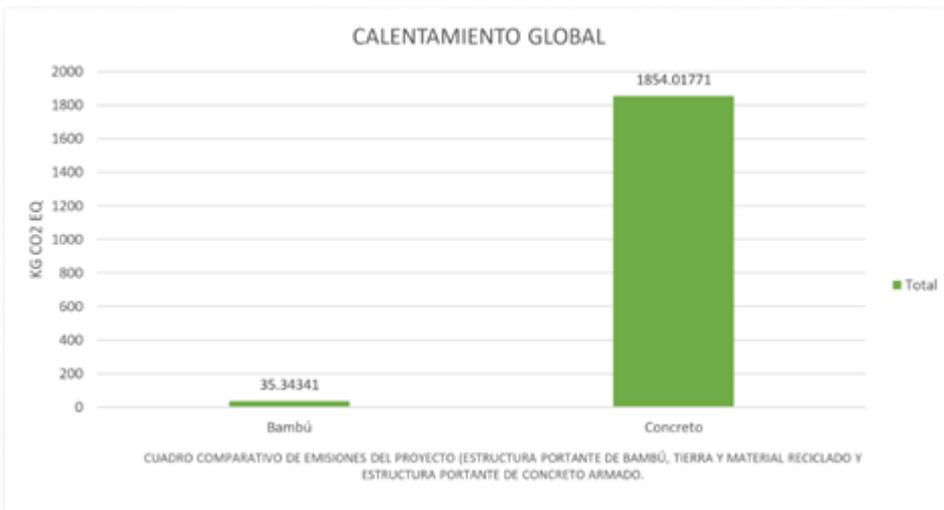


Figura 16: Calentamiento Global
 Fuente: Elaboración Propia, 2023

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran de manera científica la gran diferencia que existe en el impacto de emisiones de Dióxido de Carbono a la atmosfera de cada uno de los dos sistemas constructivos. De los impactos asociados al Cambio climático provenientes del proyecto a base de concreto armado, se observa que el 67% está vinculado a la estructura portante; integrada por traveses y columnas que equivalen a 1,222.51514 kg emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). Mientras tanto, el impacto del proyecto a base de bambú y tierra representa tan sólo 35.34341 kg de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂).

Con estos resultados, queda contrastado que el uso de materiales industrializados como acero, cemento y combustible entre otros, contribuyen mayoritariamente a la emisión de excesivas cantidades de gases de efecto invernadero, abonando a la aceleración de la crisis del Cambio Climático.

No hay que olvidar que la industria de la edificación genera una producción considerable de CO₂ en todo el proceso que va desde la extracción de los materiales, la industrialización de estos, el transporte y distribución, la puesta en la construcción y la demolición.

El que la arquitectura tenga esta gran curva de variación en su impacto en el medio ambiente, deriva de las decisiones tomadas desde la fase de diseño del proyecto hasta la fase constructiva y sobre todo, de la educación profesional y el compromiso con el medio ambiente. Es decir, desde la concepción ecosistémica del habitar (ejemplo con bambú), hasta la concepción desarrollista (el ejemplo con concreto) la elección de los materiales será una elección consiente y sensible con el medio ambiente y la atmosfera o simplemente será una decisión instrumental, automática y poco comprometida en coadyuvar a la reducción de los ámbitos de contaminación en la industria de la construcción.

Es importante considerar procesos de enseñanza-aprendizaje de la arquitectura para la formación de arquitectos y profesionales de la construcción. Desde la toma de decisiones en la fase del diseño. Enfoques como el ecodiseño le permitirán integrar criterios ambientales. reducir el impacto de emisiones de dióxido de carbono en todas las fases del proyecto que van desde la construcción hasta el mantenimiento de este. El conocimiento de materiales y sistemas constructivos regionales, de bajo impacto ambiental. Así como el uso de materiales reciclados, como el caso de la estructura de la vivienda de bambú, donde parte de la estructura son postes de madera producto de desmantelamiento de viejas redes de telefonía. Sus muros de bajareque, estabilizados. El bambú que se utilizó para toda la estructura tanto de muros como de la cubierta es el denominado caña vaquera de Monte Blanco. El impacto de este en emisiones de dióxido de carbono de toda la construcción representa 35.34341 kg de emisiones de dióxido de carbono. Mientras que el sistema constructivo a base de concreto reforzado con acero impacta 1854.01771 kg de emisiones de dióxido de carbono.

Al mismo tiempo, esta investigación intenta reflejar la importancia de reflexionar sobre dos aspectos. En primer lugar, los procesos de enseñanza-aprendizaje de la arquitectura para la formación de arquitectos y profesionales de la construcción. Desde la concepción misma de la función ecosistémica de la arquitectura hasta la toma de decisiones en la fase del diseño, pasan por enfoques como el ecodiseño que permite integrar criterios ambientales de forma estratégica y funcional para reducir el impacto de emisiones de dióxido de carbono en todas las fases del proyecto que van desde la construcción hasta el mantenimiento de este.

En segundo lugar, el conocimiento de materiales y sistemas constructivos regionales, de bajo impacto ambiental, así como el uso de materiales reciclados. Por ejemplo, el caso de la estructura de la vivienda de bambú, donde parte de la estructura son postes de madera producto de desmantelamiento de viejas redes de telefonía. Sus muros de tierra cruda empleando la técnica del bajareque. El bambú que se utilizó para toda la estructura tanto de muros como de la cubierta es de producción local, cortado y tratado bajo procedimientos totalmente naturales, tomando en cuenta los ciclos lunares para el corte.

Los desafíos en la transformación del pensamiento desarrollista conllevan múltiples esfuerzos y compromisos. Entender la arquitectura sostenible como norma, no como excepción, es parte esencial del enfoque ecosistémico que se plantea aquí como parte clave de la formación de los arquitectos para pensar el habitar doméstico reconectado con los materiales del lugar y sus técnicas constructivas.

Reconocimiento de Inteligencia Artificial (IA)

No se ha hecho uso de IA o tecnologías asistidas por IA de manera alguna para preparar, escribir o completar las tareas de escritura del presente artículo.

Consentimiento Informado

El autor ha obtenido el consentimiento informado de todos los participantes.

Conflicto de Intereses

El autor declara que no existe ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Aceroform. 2023. *aceroform.com*. <https://www.aceroform.com.mx/>.
- Acosta, D. 2009. "Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, Problemas y Estrategias." *Dearq*: 4.
- Arimany Serrat, Nuria, Anna Sabata Aliberch, y Josep Burgaya Riera. 2021. "La sostenibilidad medioambiental y el cambio ineludible de los paradigmas económicos y

- empresariales.” *Revista Internacional de Sostenibilidad* (Common Ground Research Networks) 3, nº 1 (marzo 2021): 15.
- Bello Zambrano, J, y C Villacreses Viteri. 2021. “Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social.” *Polo del conocimiento* 6, nº 9: 1987-2011.
- Betancourt Quiroga, Carolina Ingrid. 2013. “Evaluación de la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el D.F.” *La Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencias y Gestión Ambiental A.C.*
- Betancurt, Quiroga. 2019. *La gestión De Los Residuos De construcción Y demolición En Villavicencio: Estado Actual, Barreras E Instrumentos De gestión*. Vol. 15.
- Collell Schnaidt, M. 2017. “Sostenibilidad Urbana como tema en la formación del Arquitecto.”
- Elaboración propia en base a search, s/f. s.f.
- Espíndola, Cesar, y José O Valderrama. 2012. *Carbon Footprint. Part 1: Concepts, Estimation Methods and Methodological Complexities. Información tecnológica*. Vol. 23, cap. 1, 163-176.
- Guadúa, Norma. 2016. Técnica de construcción en caña.
- Iberdrola. 2021. *iberdrola.com*. 22 de abril de 2021. <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/ecodiseno-productos-sostenibles>.
- Ihobe S.A. 2009. “Análisis de ciclo de vida y huella de carbono.” Editado por Sociedad Pública de Gestión Ambiental Ihobe. Noviembre 2009.
- Isaac, Godinez, Lidia Ciria, Joel Gomez Baez, y Susana Díaz Aguirre. 2017. “La integración de herramientas de gestión ambiental como práctica sostenible en las organizaciones.” *Universidad y Sociedad (oline)* 9, nº 4: 27-36.
- ISO, 14040/44. 2006. “Environmental Management-Life Cycle Assessment- Principles and Framework.” *International Organization for Standardization*.
- León Lira, M. D. 2022. “Residuos de la construcción y la demolición. Revisión de los impactos ambientales en áreas metropolitanas de México. En D.R. Martí Capitanachi, M. C. Chong Garduño, y A. Velázquez Ruiz.” En *Temas metropolitanos selectos: Vivienda, espacio público y patrimonio*, 187-198.
- _____. *Metodología para medir el impacto ambiental en la edificación*. (s/f). <https://www.linkedin.com/in/rosario-leon-lira/> .
- Lira, A. C. 2019. “¿Qué es el análisis de ciclo de vida? Unidades de apoyo para el aprendizaje.” Facultad de Arquitectura, UNAM.
- Lozano, A. 2012. “Evolución y uso de Materiales y Sistemas Constructivos.” *Revista de Arquitectura e Ingeniería* 6, nº 3: 1-6.
- Martínez, R. 2007. “Algunos Aspectos de la Huella Ecológica.” *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales VIII*, nº 14: 11-25.

- Montiel, Zacarías, Marco. 2014. “Casita de barro (Diseño y Obra Arquitectónica). María Inés G.M. propietaria.”
- Naciones Unidas. 2009 <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>. s.f. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>.
- Orozco, E. 2008. “Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos. Tecnología y Construcción.” *Scielo* 24, nº 2.
- Perea, Y, A. 2012. “Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional. (Universidad de Medellín. Tesis). Colombia: Universidad de Medellín.” Medellín, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2022. “Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción 2022: Hacia un sector de la construcción y los edificios con cero emisiones, eficiente y resiliente.”
- Sánchez Vazquez, Luis. 2022. “Didáctica de los conflictos ambientales como vectores de sostenibilidad: Implicaciones para el profesorado en formación.” *Revista Internacional de Sostenibilidad* (Revista Internacional de Sostenibilidad) 4, nº 2 (julio 2022): 12.

SOBRE LOS AUTORES

Reyna Parroquín Pérez: Profesora de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana; Licenciada en Arquitectura por la Universidad Veracruzana; Maestra en Administración de la Construcción por el Instituto Tecnológico de la Construcción; Doctora en Arquitectura y Urbanismo por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana; miembro de Cuerpo Académico (CAUV.440) “Habitabilidad y Tecnología Sustentable”. Ganadora del Premio a la Investigación en Cambio Climático 2022 en la Modalidad de Trabajo recepcional culminado del doctorado, Integrante de la Red Reconocimiento Perfil deseable para profesores de tiempo completo (Prodep) por la Secretaría de Educación Superior; miembro de la Red Vivienda y Hábitat Sustentable de México; Candidata a Investigadora Nacional por el Sistema Nacional de Investigadores CONAHCYT. Xalapa, Veracruz, México
Email del autor: rparroquin@uv.mx

Marco Montiel Zacarías: Profesor de tiempo completo en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana; Licenciado en Arquitectura por la Universidad Veracruzana; Maestro en Teoría e Historia de la Arquitectura por la Universidad Politécnica de Cataluña; Doctor en Arquitectura por la Universidad de Alcalá; Coordinador del Observatorio Universitario Metropolitano de Veracruz (OUMV); Colaborador del Cuerpo Académico “Habitabilidad y Tecnología Sustentable” (CAUV-440); Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Veracruz, Ver., México
Email del autor: mmontiel@uv.mx

PARROQUÍN ET AL.: EL PARADIGMA ECOSISTÉMICO: LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

Miriam Remess Pérez: Profesora de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat de la Universidad Veracruzana. Es Arquitecta con Maestría en Administración, ambas por la Universidad Veracruzana, Doctora en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Coordina el Cuerpo Académico UVCA440 Habitabilidad y Tecnología Sustentable. Ha realizado estancias en Países bajos, Canadá, Colombia, y en Argentina (2022). Ejerce la profesión y en este ámbito ha desarrollado proyectos y edificaciones de diversos géneros. Veracruz, Ver., México

Email del autor: mremess@uv.mx