

Recibido: 2025-10-07

Aceptado: 2025-11-25

Publicado: 2025-12-04

Análisis del ciclo de vida de un material termoacústico biodegradable.

Life cycle analysis of a biodegradable thermoacoustic material.

Autores

Alfonso Barbosa Moreno¹

Departamento de Ingeniería Industrial
<https://orcid.org/0000-0002-8877-0100>
alfonso.bm@cdmadero.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Ciudad Madero.
Ciudad Madero – México

Verónica Herández Morales³

Departamento de Ingeniería Industrial
<https://orcid.org/0000-0002-4987-9808>
veronicahm@cdmadero.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Ciudad Madero.
Ciudad Madero – México

Carlos Eusebio Mar Orozco²

Departamento de Ingeniería Industrial
<https://orcid.org/0000-0002-8918-2028>
carlos.mo@cdmadero.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Ciudad Madero.
Ciudad Madero – México

Ma. Elena García Alvarado⁴

Departamento de Ingeniería Industrial
<https://orcid.org/0009-0008-8587-3906>
elenaga@cdmadero.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Ciudad Madero.
Ciudad Madero – México

Carolina Contreras Álvarez⁵

Departamento de Ingeniería Industrial
<https://orcid.org/0009-0002-1340-5632>
carolinaca@cdmadero.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.
Ciudad Madero – México



Resumen

La construcción sostenible se enfrenta a la creciente necesidad de reducir el impacto ambiental de los materiales utilizados, especialmente en términos de aislamiento térmico y acústico. Sin embargo, muchos de los materiales tradicionales para estos fines, como los plásticos sintéticos y los aislantes basados en productos petroquímicos, son no biodegradables y tienen un alto impacto ambiental. En la presente investigación se abordó el análisis del ciclo de vida de un material termoacústico biodegradable. La creciente producción de desechos plásticos convencionales propicia significativamente a la contaminación residual, así como también, inciden en el aumento de gases de efecto invernadero. Es evidente que se requiere de propuestas innovadoras que mitiguen los impactos contaminantes y promuevan prácticas eco-amigables en lo referido a la producción de materiales. Además se realizó un estudio de mercado, el cual se determinó el nivel de aceptación del producto, así como los segmentos a los que va dirigido, de tal manera de determinar el mercado meta. Mediante el estudio de mercado fue posible tener una aproximación al precio de venta del material termoacústico, y fue posible determinar la viabilidad mercadológica.

Palabras clave: Ciclo De Vida; Material Compuesto; Medio Ambiente; Contaminación Sonora; Compuesto Organico

Abstract

Sustainable construction faces the growing need to reduce the environmental impact of the materials used, especially in terms of thermal and acoustic insulation. However, many traditional materials for these purposes, such as synthetic plastics and petrochemical-based insulators, are non-biodegradable and have a high environmental impact. This research addressed the life cycle analysis of a biodegradable thermoacoustic material. The increasing production of conventional plastic waste significantly contributes to residual pollution and also impacts the increase in greenhouse gases. It is evident that innovative proposals are needed to mitigate polluting impacts and promote eco-friendly practices in materials production. Furthermore, a market study was conducted to determine the product's level of acceptance and the target segments, thus defining the target market. The market study allowed for an approximation of the thermoacoustic material's selling price and determined its market viability.

Keywords: Life Cycle; Composite Material; Environment; Noise Pollution; Organic Compound



Introducción

La creciente producción de desechos plásticos convencionales ocasiona el incremento de contaminación de residuos urbanos, que a su vez inciden en el aumento de gases de efecto invernadero. Es evidente que se requiere de propuestas innovadoras que mitiguen los impactos contaminantes y promuevan prácticas ecológicas y amigables en lo referido a la producción de materiales.

Hoy en día la preocupación por el impacto ambiental en la construcción ha impulsado el desarrollo de nuevos materiales ecológicos, además se requiere que en ocasiones estos presenten la capacidad de aislar térmica y acústicamente los espacios es crucial tanto para el ahorro energético como para la mejora de la calidad de vida (Mendoza et al., 2020). Se ha observado que debido al calentamiento global, las temperaturas han incrementado en los últimos años, dando origen a necesidades en las que el ser humano busca la forma de mitigar los efectos que tienen estas, mediante el uso de productos que sean capaces de disminuir la sensación térmica.

Los materiales termoacústicos sostenibles juegan un papel clave en este contexto, al reducir la huella de carbono y al mismo tiempo proporcionar un ambiente habitable más cómodo (Moya et al., 2021). Utilizar PLA y celulosa no solo promueve la sostenibilidad, sino que también abre la puerta a nuevas soluciones innovadoras en el sector de la construcción (González et al., 2019).

La continua y desmedida producción de plástico, intensifica el problema de contaminación residual, situación que desencadena en inundaciones por obstrucción de drenaje y acaba con la vida silvestre, ésta desestabiliza la cadena alimentaria (Landon-Lane, 2018) . De igual manera el uso de estos residuos plásticos incrementa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual contribuye al aumento de la medida de la Huella de Carbono. (Paletta et al., 2019).

En relación a México, según datos de la (SEMARNAT, 2023) los residuos plásticos totales equivalieron a 7,448 kilo-toneladas al año, arroja un consumo per cápita de 66 kilogramos al año, datos que reflejan la cultura arraigada al plástico en México.



Por otro lado, existen otras formas de contaminantes que provienen de desechos agroindustriales, como el bagazo de caña de azúcar, piña, agave, cítricos, plátano, entre otros. Según la (SAGARPA, 2015) los residuos orgánicos generados por actividad agrícola en el país suman las 640 mil toneladas.

Un estudio acerca de la utilización de fibras naturales como refuerzo en matrices de PLA donde se investigaron las propiedades mecánicas del material compuesto reforzada con lino. En el cual se evalúo en primer lugar la factibilidad de emplear el insumo como matriz polimérica en compuestos (Oksman et al., 2003).

Además en una investigación referente a las propiedades de impacto y de tracción de los compuestos de PLA reforzados con fibras naturales, se analizó cómo distintos tipos de fibras naturales, pueden afectar la resistencia al impacto y a la tracción en los compuestos de PLA. Cabe señalar que los resultados mostraron que efectivamente el uso de estas fibras estaba relacionado a una mayor resistencia al impacto (Bax & Müssig, 2008).

Otro estudio fundamental para este proyecto acerca de la preparación y caracterización de compuestos de PLA reforzados con celulosa; se utilizó una hidrolisis ácida para el tratamiento de celulosa con el fin de atacar las zonas amorfas de la celulosa y convertirla en celulosa microcristalina. Ya que se demostró que la MCC demostró una mejora en propiedades mecánicas debido a su alta cristalinidad (Frone et al., 2011).

En otra investigación se demostró que la adición de nanofibras de celulosa mejora significativamente el módulo de almacenamiento y la resistencia de la fluencia en temperaturas elevadas. Además, se encontró que el material no presentó pérdida de peso hasta los 300 °C, lo que indicó una gran estabilidad térmica (Kowalczyk et al., 2011).

Además se realizó un análisis detallado sobre la degradación hidrolítica del PLA y sus compuestos, se abordan los efectos de la degradación hidrolítica y la resistencia térmica del PLA, factores esenciales que impactan el desarrollo de estos bio materiales compuestos en contexto de aplicaciones más exigentes (Elsawy et al., 2017).

Más aún, se encontró un estudio de un trabajo fundamental acerca de la optimización de un bio compuesto de PLA con celulosa microcristalina y celulosa montmorillonita, gracias al uso de técnicas de Análisis de varianza (ANOVA) y al análisis de regresión



gris, que permiten evaluar la influencia de múltiples factores y sus interacciones en las propiedades mecánicas y térmicas del material compuesto (Zeleke et al., 2024).

Según (Fried, 2014), un material compuesto se define como un material formado por la combinación física de dos o más componentes con propiedades singulares, crea un material con características mejoradas a las de sus componentes individuales, generalmente consta de una matriz y uno o más materiales que funjieron como refuerzo, como el uso de fibras o partículas que mejoren el módulo de Young y la resistencia del material final. Este no debe ser confundido con los copolímeros, cuya estructura polimérica se encuentra constituida de dos o más monómeros.

En relación al cambio climático, uno de sus aspectos más críticos es el calentamiento global, que implica un aumento sostenido de la temperatura media global de la Tierra. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado desde mediados del siglo XX y está vinculado en gran medida a las actividades humanas, especialmente a la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).

Por otro lado, el efecto invernadero es un fenómeno natural que permite que la tierra mantenga temperaturas que propicien la vida, mediante la absorción de la radiación solar y la retención del calor en la atmósfera. Sin embargo, el aumento de gases como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), principalmente debido a la actividad humana, han intensificado este proceso, lo que genera un efecto invernadero adicional que ocasiona un incremento de las temperaturas globales (NASA, 2023).

Las actividades humanas, en particular la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y transporte, son responsables del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2021). La deforestación, además de limitar la capacidad de los ecosistemas para absorber CO₂, también contribuye directamente al incremento de las concentraciones de este gas en la atmósfera (Le Quéré et al., 2018). Asimismo, sectores como la agricultura, en especial la ganadería, emiten grandes cantidades de metano, un gas con un potencial de calentamiento mucho mayor que el CO₂ en el corto plazo (Smith et al., 2014).



Estudios demuestran que a finales del siglo XIX, la temperatura media global ha aumentado en aproximadamente 1.2°C, con un aceleramiento notable en las últimas décadas. Este calentamiento está vinculado a una mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, que intensifica el calentamiento de la Tierra (IPCC, 2021). De acuerdo con los escenarios más pesimistas de emisiones, la temperatura global podría aumentar hasta 4°C para el año 2100, lo que generaría impactos dramáticos en los ecosistemas y la humanidad (IPCC, 2018).

El calentamiento global tiene varios impactos documentados en el medio ambiente y en la sociedad. Entre los efectos más notables se encuentran el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, sequías e inundaciones, que incrementan la frecuencia e intensidad debido al cambio climático (Coumou & Rahmstorf, 2012).

Materiales y Métodos

La presente investigación fue de tipo descriptiva, con un enfoque cualitativo, de tipo transversal, debido que no hubo un control estricto de variables es no experimental y se hizo uso del ciclo de vida del producto para el análisis de un material termoacústico biodegradable.

El ciclo de vida del producto se clasificó en cuatro etapas:

1. Introducción.

Descripción: El producto se lanzó al mercado. Al inicio las ventas fueron bajas y los costos suelen ser altos debido a la inversión en promoción y distribución.

Objetivo: Conocer el producto y que se generara aceptación entre los consumidores.

Estrategias típicas:

- Promoción intensa para informar al público.
- Precios de penetración (bajos) o de prestigio (altos) según la estrategia.
- Distribución selectiva o limitada.



2. Crecimiento.

Descripción: En esta fase el producto ya comenzó a ser aceptado; las ventas aumentaron rápidamente y los beneficios crecieron.

Objetivo: Consolidar la posición en el mercado y diferenciarse de la competencia.

Estrategias típicas:

Ampliar canales de distribución.

Mejorar características o variantes del producto.

Mantener o aumentar la inversión en marketing para reforzar la marca.

3. Madurez.

Descripción: En esta etapa el producto alcanzó su máximo nivel de ventas; el mercado se saturó y la competencia fue más intensa.

Objetivo: Mantener la participación en el mercado y optimizar beneficios.

Estrategias típicas:

Reducción de precios para competir.

Promociones y programas de fidelización.

Innovaciones o relanzamientos para prolongar la etapa.

4. Declive

Descripción: Las ventas y beneficios disminuyen debido a cambios en las preferencias del consumidor, avances tecnológicos o aparición de nuevos productos.

Objetivo: Decidir si retirar, reinventar o reposicionar el producto.

Estrategias típicas:

Reducción de costos y canales de distribución.



Venta de inventarios o liquidaciones.

Possible reposicionamiento o sustitución por un nuevo producto.

Para tener información más concreta acerca de esta investigación se hizo uso de un estudio de mercado para conocer el comportamiento de éste en el lanzamiento del material termoacústico para uso en edificaciones residenciales, comerciales e industriales, enfocado en la eficiencia energética y contaminación sonora, con énfasis en la sostenibilidad ambiental.

Características del estudio de mercado.

Área geográfica: Zona urbana y periurbana de tres ciudades de la zona conurbada del sur de Tamauliapas, México; compuesta por Tampico, Ciudad Madero y Altamira.

Muestra total: 480 encuestados (profesionales de la construcción, arquitectos, ingenieros, distribuidores y consumidores finales).

Métodos: Encuestas estructuradas, entrevistas en profundidad y análisis comparativo de precios.

Nivel de confianza: 95%

Margen de error: 5%

Resultados

1. Etapa de Introducción

Contexto

En esta fase, el material termoacústico se lanzó al mercado para la comercialización de un producto tecnológicamente avanzado, diseñado para mejorar la eficiencia energética y la contaminación sonora en edificaciones. La empresa debe superar la barrera de desconocimiento y escepticismo inicial de los consumidores.



En primer instancia se analizarán las ventas, inversión inicial, rentabilidad, mercado y la percepción del cliente, encontrándose lo siguiente:

Ventas: Bajas o moderadas; la demanda en esta parte creció lentamente debido a la novedad del producto y a la falta de conocimiento.

Inversión: Alta en investigación, certificaciones (eficiencia energética, sustentabilidad) y campañas de difusión.

Rentabilidad: Negativa o mínima, pues los costos de desarrollo y promoción superaron los ingresos.

Mercado: Principalmente arquitectos innovadores, constructoras sostenibles y proyectos piloto.

Percepción del cliente: Curiosidad, pero cierta desconfianza hasta comprobar su eficacia.

Estrategias aplicadas

- Demostraciones en ferias de construcción y energía.
- Promociones iniciales o precios de introducción.
- Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y de SEMARNAT para aumentar credibilidad.
- Alianzas con estudios de arquitectura o universidades.

2. Etapa de Crecimiento

Contexto

El mercado comienza a reconocer los beneficios del material termoacústico: ahorro energético, confort ambiental y sostenibilidad. Surgen competidores y aumenta la demanda, especialmente en proyectos de construcción verde y remodelación de viviendas.

Resultados típicos



Ventas: Aumento rápido y sostenido, impulsado por recomendaciones y normativas de eficiencia energética.

Rentabilidad: En esta etapa se espera tener una mejoría significativa, ya que los costos de producción se estabilizan y las economías de escala reducen precios.

Distribución: El porcentaje de cobertura del mercado se incrementará hacia más regiones y se incorporarán distribuidores especializados.

Competencia: Comienzan a aparecer imitaciones o alternativas con diferentes grados de desempeño.

Clientes: Constructoras medianas, empresas de aislamiento industrial, y consumidores particulares en mercados residenciales.

Estrategias aplicadas:

- Campañas de posicionamiento basadas en resultados medibles (por ejemplo, reducción del 40% en consumo energético).
- Desarrollo de nuevos formatos o espesores del material.
- Capacitación técnica a instaladores y constructores.
- Expansión de la marca a nivel regional o internacional.

3. Etapa de Madurez

Contexto

El producto alcanza un punto de equilibrio en el mercado. Es ampliamente conocido y utilizado, y la competencia es intensa. Las empresas buscan diferenciarse por calidad, servicio o innovación incremental.

Resultados típicos

Ventas: Se estabilizan o crecen lentamente; el mercado ya está saturado.

Rentabilidad: Alta pero estable; los márgenes se reducen por la competencia en precios.

Competencia: Numerosos productos similares; la diferenciación se vuelve crucial.



Clientes: Exigen desempeño comprobado, garantías y servicio postventa.

Innovación: Se orienta hacia mejoras estéticas, facilidad de instalación o integración con otros materiales.

Estrategias aplicadas

Reforzamiento de la marca y fidelización de clientes.

Introducción de versiones mejoradas (por ejemplo, paneles reciclables o con nanotecnología).

Programas de certificación para instaladores y distribuidores.

Ofertas por volumen y servicios complementarios (asesoría acústica o energética).

4. Etapa de Declive

Contexto

Con el paso del tiempo, el material termoacústico enfrenta la obsolescencia tecnológica o la aparición de nuevos productos más eficientes, como aislantes con base en biopolímeros o soluciones integradas con domótica.

Resultados típicos

Ventas: Disminuyen gradualmente.

Rentabilidad: Disminuye; las empresas reducen producción o liquidan inventarios.

Competencia: Solo permanecen marcas consolidadas o de nicho.

Clientes: Migran hacia productos más modernos o económicos.

Estrategias aplicadas

Reducción de líneas de producción menos rentables.

Enfoque en nichos específicos (por ejemplo, restauración patrimonial o aislamiento industrial).



Possible reinvention of the product, incorporating innovation (p. ej. materials ecológicos o inteligentes).

Venta de licencias o transferencia tecnológica.

Al realizar el estudio de mercado se determinó el nivel de conocimiento del producto en el mercado potencial, para ello se realizó un estudio para determinar el conocimiento del producto en la zona de impacto, y se encontró lo siguiente:

Tabla 1.

Nivel de conocimiento del producto

Nivel de conocimiento	Porcentaje (%)	Interpretación
No lo conoce	54%	Alto grado de desconocimiento inicial del concepto “termoacústico”.
Lo ha escuchado, pero no lo ha usado	32%	Interés potencial, pero sin experiencia práctica.
Lo conoce y lo ha usado	14%	Mercado incipiente, con clientes pioneros o técnicos.

Se puede apreciar que el 54% no conocía el concepto termoacústico por lo tanto se recomienda realizar publicidad acerca de sus beneficios, mientras que el 32% ha escuchado de él, sin embargo, no lo ha usado.

Interés de compra

Además se analizó el interés de compra del mercado, arrojando los siguientes resultados:



Tabla 2.

Interés de compra del material termoacústico.

Grado de interés	Porcentaje (%)	Interpretación
Muy interesado	41%	Alta disposición entre arquitectos y constructoras ecoeficientes.
Interesado	37%	Potencial de crecimiento si se demuestra rentabilidad.
Poco interesado	17%	Falta de conocimiento técnico.
Nada interesado	5%	Resistencia al cambio o preferencia por materiales tradicionales.

Se determinó que el 41% está muy interesado en adquirir el producto, mientras que el 37% muestra interés, el 17% tiene poco interés debido a la falta de conocimiento y finalmente el 5% está nada interesado debido a la resistencia al cambio.

Factores de decisión de compra.

Dentro del estudio se analizaron los factores de decisión de compra y se determinó lo siguiente:

Tabla 3.
Análisis de la decisión de compra.

Factor	Peso porcentual	Interpretación
Precio	30%	Factor decisivo para constructoras medianas.
Eficiencia térmica y acústica	28%	Atributo principal de diferenciación.
Durabilidad	17%	Relacionado con el tipo de instalación y clima.
Sustentabilidad ecológica	15%	Aumenta en proyectos certificados (LEED).
Facilidad de instalación	10%	Relevante para autoconstructores y remodeladores.

El factor precio, muestra una mayor puntuación al momento de realizar la compra, seguido de la eficiencia del producto.

A continuación se presentan los resultados del análisis de precios y competencias.

Tabla 4.
Análisis de precios y competencia

Tipo de producto	Rango de precio por m ² (\$)	Participación estimada del mercado	Observaciones
Lana mineral tradicional	20 – 110	35%	Económica pero menos eficiente.
Espuma de poliuretano	110 – 140	25%	Buen aislante térmico, bajo desempeño acústico.
Material termoacústico ecológico (nuevo producto)	120 – 136	— (nuevo)	Precio competitivo con valor agregado ambiental.
Fibra de celulosa reciclada	130 – 150	15%	Segmento ecológico limitado.

Se aprecia que el material termoacústico estaría en el rango de \$120 a \$136 por metro cuadrado, cabe señalar que no es el más económico, sin embargo los más económicos no son biodegradables.

Tabla 5.

Proyecciones de ventas (primeros 3 años).

Año	Volumen estimado (m ²)	Crecimiento anual (%)	Ingreso estimado (\$)
2026	20,000	—	2,560,000
2027	25,000	+25%	3,200,000
2028	30,250	+21%	3,872,000

Se estima un crecimiento a partir del 25% en el año 2, mientras que en el año 3 del 21%.

Se presenta el análisis de mercado de los segmentos de interés.

Tabla 6.

Segmentación del mercado

Segmento	Participación potencial (%)	Interpretación
Constructoras sostenibles	35%	Alta propensión a comprar por cumplimiento de normativas.
Arquitectos independientes	25%	Buscan diferenciar sus proyectos con innovación.
Distribuidores de materiales	20%	Puntos clave para escalar ventas.
Clientes residenciales	20%	Potencial a largo plazo, requiere campañas de educación.

Se pudo observar que las constructoras sostenibles son el mercado mas fuerte que se tiene, seguido de arquitectos independientes.

En la aplicación del ciclo de vida al material termoacústico se requirió considerar los siguientes aspectos: la innovación continua, es decir, las nuevas formulaciones, diseños, sostenibilidad, la educación del mercado para demostrar beneficios reales frente a



materiales tradicionales, así como la adaptación a normativas ambientales y de construcción sostenible, que pueden prolongar la madurez, es importante tener un monitoreo constante del entorno tecnológico y regulatorio permite que el producto evolucione en lugar de desaparecer en la etapa de declive.

Dentro de los resultados mas relevantes se determinó el factor nivel de conocimiento donde el 54% no lo conoce por lo tanto se recomienda realizar publicidad, por otro lado se analizó el interes de comopra. Donde el 78% del mercado muestra potencial de adopción moderado a alto y en relación a la decisión de compra, el mercado valora la eficiencia funcional y la relación costo-beneficio.

Se estimó que un precio de entrada seria entre 120 y 130 \$/m² y posicionaría el material dentro de la gama media-alta, con una propuesta de valor diferenciada.; además se proyecta un fuerte crecimiento del mercado, especialmente en el segundo año, conforme se fortalece la distribución y la reputación técnica.

Discusión

El mercado potencial para materiales termoacústicos es creciente, impulsado por tendencias ecológicas y eficiencia energética, el conocimiento del producto aún es bajo, lo que representa tanto un desafío como una oportunidad de posicionamiento pionero, se pudo ver que la elasticidad de precio es moderada los clientes están dispuestos a pagar más por beneficios comprobables, la estrategia de lanzamiento bien dirigida, el producto puede alcanzar el punto de equilibrio en el segundo año.

Se recomienda hacer campañas de sensibilización técnica con demostraciones de ahorro térmico y reducción de ruido, certificaciones ecológicas y de desempeño acústico, para ganar confianza alianzas con constructoras y asociaciones de arquitectos, así como un programa de capacitación para instaladores y distribuidores y contar con una diversificación futura del producto.



Conclusión

La aplicación del ciclo de vida al material termoacústico requiere considerar los siguientes aspectos: la innovación continua, es decir, las nuevas formulaciones, diseños, sostenibilidad, la educación del mercado para demostrar beneficios reales frente a materiales tradicionales, así como la adaptación a normativas ambientales y de construcción sostenible, que pueden prolongar la madurez, es importante tener un monitoreo constante del entorno tecnológico y regulatorio permite que el producto evolucione en lugar de desaparecer en la etapa de declive.

Dentro de los resultados mas relevantes se determinó el factor nivel de conocimiento donde se recomienda realizar publicidad, por otro lado se analizó el interés de compra, en el cual el mercado mostró potencial de adopción moderado a alto y en relación a la decisión de compra, el mercado valora la eficiencia funcional y la relación costo beneficio, además se estimó el precio de entrada del material termoacústico, el cual osciló entre 120 y 130 \$/m² y se posicionó al producto dentro de la gama media-alta, con una propuesta de valor diferenciada.; además se proyectó un fuerte crecimiento del mercado, especialmente en el segundo año, conforme se fortalezca la distribución y la confianza del material.

Referencias Bibliográficas

- Bax, B., & Müssig, J. (2008). Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites. *Composites Science and Technology*, 68(7-8), 1601-1607. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.01.004>
- Conacyt (2019). Programas Nacionales Estratégicos. <https://conahcyt.mx/pronaces/>
- Coumou, D., & Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2(7), 491-496. <https://doi.org/10.1038/nclimate1452>
- Elsawy, M. A., Kim, K.-H., Park, J.-W., & Deep, A. (2017). Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1346-1352. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.143>
- Fried, J. R. (2014). *Polymer science and technology* (Third edition). Prentice Hall.



- Frone, A. N., Berlioz, S., Chailan, J. -F., Panaiteescu, D. M., & Donescu, D. (2011). Cellulose fiber-reinforced polylactic acid. *Polymer Composites*, 32(6), 976-985. <https://doi.org/10.1002/pc.21116>
- González, M., Rodríguez, S., & Pérez, D. (2019). Construcción sostenible: Nuevas alternativas de materiales ecológicos en la arquitectura moderna. Ediciones Tecnológicas, 18(2), 53-68.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kowalczyk, M., Piorkowska, E., Kulpinski, P., & Pracella, M. (2011). Mechanical and thermal properties of PLA composites with cellulose nanofibers and standard size fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(10), 1509-1514. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.07.003>
- Landon-Lane, M. (2018). Corporate social responsibility in marine plastic debris governance. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.054>
- Mendoza, V., Pérez, C., & Ruiz, M. (2020). Innovaciones en materiales de construcción sustentables y su impacto en la eficiencia energética. *Revista de Arquitectura y Construcción*, 32(1), 15-28.
- NASA. (2023). Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. NASA. <https://climate.nasa.gov/>
- Oksman, K., Skrifvars, M., & Selin, J.-F. (2003). Natural fibres as reinforcement in polylacticacid (PLA) composites. *Composites Science and Technology*, 63(9), 1317-1324. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00103-9](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00103-9)
- Paletta, A., Leal Filho, W., Balogun, A.-L., Foschi, E., & Bonoli, A. (2019). Barriers and challenges to plastics valorisation in the context of a circular economy: Case studies from Italy. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118149>
- SAGARPA. (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: Diagnóstico nacional.

SEMARNAT. (2023). INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA. SEMARNAT.

Smith, P., Gregory, P. J., van Vuuren, D. P., Olesen, J. E., & Ruane, A. C. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (pp. 811-922). Cambridge University Press.

Zeleke, N. M., Sinha, D. K., & Kumar, S. (2024). Multi-objective optimization of micro crystalline cellulose and montmorillonite filled poly lactic acid bio-composite and its characterizations. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 191. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00525-4>

Contribuciones de los autores

Alfonso Barbosa Moreno: Conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, recursos, administración del proyecto, supervisión, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Carlos Eusebio Mar Orozco: Conceptualización, análisis formal, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Verónica Herández Morales: Investigación, metodología, supervisión.

Ma. Elena García Alvarado: Investigación, metodología, supervisión.

Carolina Contreras Álvarez: Investigación, metodología, supervisión.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés

