

DOI: [//doi.org/10.53766/ECOSOS/2024.17.05](https://doi.org/10.53766/ECOSOS/2024.17.05)

ARTÍCULO 005 RES 17: 2024

EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE
CARBONO - CALENTAMIENTO
GLOBAL DEL LADRILLO ROJO
(TÍPICO EN LA ZONA CIÉNEGA) Y
DEL LADRILLO BLANCO PARA
CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES

Lucio Guzmán Mares

Ma. Soledad Castellanos Villarruel

María Elvia Edith Alanís Pérez

Carlos Vázquez Cid de León

Artículo RES 005

EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO - CALENTAMIENTO GLOBAL DEL LADRILLO ROJO (TÍPICO EN LA ZONA CIÉNEGA) Y DEL LADRILLO BLANCO PARA CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES

185

Carbon footprint assessment - global warming of red brick (typical in the Ciénega area) and white brick for sustainable construction

¹Lucio Guzmán Mares, ²Ma. Soledad Castellanos Villarruel,
³María Elvia Edith Alanís Pérez, ⁴Carlos Vázquez Cid de León

1. Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Correo: lucio.guzman@academicos.udg.mx; <https://orcid.org/0000-0002-3409-7600>.
2. Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Correo: ma.castellanos@academicos.udg.mx; <https://orcid.org/0000-0002-4218-8537>.
3. Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Correo: elvia.alanis@academicos.udg.mx; <https://orcid.org/0000-0002-6305-4423>.
4. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Correo carlosvazquezc@mixteco.utm.mx; <https://orcid.org/0000-0003-2067-0565>

Recibido: 16/06/2024 **Aceptado:** 11/10/2024

RESUMEN

La oferta de ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente en el país, proviene de la producción que genera un número estimado de alrededor de 17 000 ladrilleras distribuidas en casi todo el país bajo condiciones de informalidad en pequeñas unidades de producción, con tecnología rudimentaria y que ofrecen productos que difieren regionalmente en cuanto a dimensiones y características de apariencia y probablemente en sus propiedades mecánicas (SEMARNAT, 2016). El objetivo trazado fue evaluar y comparar los daños e impactos ambientales mediante el uso del software SimaPro® para conocer la huella de carbono del ladrillo rojo y ladrillo blanco. Desarrollo: con base en información proporcionada por el empresario sobre la composición de los tipos de materiales para fabricar ladrillo, y sin considerar el proceso de horneado (quema del ladrillo), se procedió

REVISTA ECODISEÑO & SOSTENIBILIDAD (RES)

DOI: <https://doi.org/10.53766/ECOSOS/> - ISSN-1856-9552

Sede Institucional: Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño ULA-UPV, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.

Galpón Principal. Tercer Piso. Avenida Principal hacia Chorro de Milla. Conjunto Forestal. Mérida 5101, Venezuela.

Teléfonos: +58-4121269540 / +58-4247370411. E-mail: revecosostenibilidad@gmail.com revecodiseno@ula.ve

WEB: <http://revistas.saber.ula.ve/ecodiseno>

a ingresar los datos en el software especializado en la evaluación de impactos, SimaPro®. En los resultados obtenidos se logró determinar la huella de carbono – calentamiento global de cada ladrillo y conocer cuál de ellos supone mayor afectación al medio ambiente. Conclusiones: uno de los principales resultados es que el ladrillo rojo tradicional supone mayor daño e impacto ambiental, con un 12.56%, respecto al ladrillo blanco; obteniendo el valor (huella de carbono) del calentamiento global – cambio climático de cada ladrillo.

Palabras clave: Industria del ladrillo, Análisis del Ciclo de Vida, Evaluación de Impactos Ambientales.

SUMMARY

The supply of handmade fired clay bricks in the country comes from the production that generates an estimated number of around 17 000 brickyards distributed throughout almost the entire country under informal conditions in small production units, with rudimentary technology and that offer products that differ regionally in terms of dimensions and appearance characteristics and probably in their mechanical properties (SEMARNAT, 2016). The objective was to evaluate and compare environmental damage and impacts by using SimaPro® software to know the carbon footprint of red brick and white brick. Development: Based on information provided by the businessman about the composition of the types of materials for manufacturing brick, and without considering the baking process (brick burning), the data was entered into the software specialized in the evaluation impacts, SimaPro®. In the results obtained, it was possible to determine the carbon footprint – global warming of each brick and knowing which of them has the greatest impact on the environment. Conclusions. One of the main results is that traditional red brick represents greater damage and environmental impact, with 12.56%, compared to white brick. Getting the global warming – climate change value (carbon footprint) of every brick.

Keywords: Brick Industry, Life Cycle Analysis, Assessment of Environmental Impacts.

1. INTRODUCCIÓN

El cocimiento de los ladrillos se lleva a cabo en hornos rudimentarios de baja eficiencia, sin posibilidades de control de emisiones y que en pocos casos usan

maquinaria y equipo auxiliar (Fontalvo-Porras et al., 2014); esos hornos utilizan diversos combustibles de fácil acceso y/o bajo costo como son la biomasa forestal, otros residuos de biomasa, residuos de manejo especial o incluso residuos peligrosos.

Como consecuencia de lo anterior, la actividad artesanal es fuente de emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire y de emisiones de gases de efecto invernadero (Chávez, 2018), incluyendo los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC), ocasionando el reclamo social de quienes habitan en las cercanías de las unidades o zonas en las que se produce ladrillo y con probables efectos negativos en la salud.

García et al. (2023), obtuvieron resultados que indican que el uso de una capa de PCM (una capa de RT25HC de 10 mm de espesor) en muros de bloques huecos HB puede reducir significativamente el flujo de calor, con una disminución del 48,7% en comparación con los muros HB convencionales. Esto, junto con el desfase térmico y la reducción de emisiones de CO₂, respalda su recomendación en edificios manufacturados en la ciudad mexicana de Mérida y áreas similares para mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono.

Los diferentes intentos que se han realizado para establecer estrategias de mejoramiento de la actividad artesanal no han tenido éxito y, la planeación de nuevas acciones, encuentra un obstáculo en la carencia de datos oficiales derivados de la informalidad en la cual se desarrolla la actividad. La mejor información disponible se encuentra en los estudios del sector de ladrilleras artesanales del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (SEMARNAT, 2016a) y en la base de datos de Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2015), aunque no es suficiente para desarrollar un análisis integral.

Conscientes de la necesidad de realizar a nivel nacional mejoras en la actividad que permitan disminuir las emisiones de contaminantes y los riesgos para la salud y riesgo climático de acuerdo con Penikas y Vasilyeva (2024), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático enfoca la búsqueda de soluciones desde una perspectiva integral que considere la situación social y económica de los productores artesanales y la dinámica de la oferta y demanda del ladrillo en un mercado que ofrece productos sustitutos o complementarios (SEMARNAT, 2016b).

Chen et al. (2024), realizaron un estudio que exploró la relación entre las emisiones de carbono con la energía y la variedad en el desarrollo humano en las provincias chinas. Encontraron que el total de emisiones de carbono de energía en 30 provincias chinas alcanzó los 10.2 mil millones de toneladas en 2019, con un crecimiento anual promedio del 6.93% en las últimas dos décadas.

Los resultados señalan que la renovación de edificios tiene el potencial de disminuir las emisiones de carbono en operación en un rango que va del 59% al 94%. Los enfoques convencionales de renovación, aunque generan un ahorro de energía un 37% menor en comparación con el estándar EnerPHit que utiliza materiales petroquímicos, solo resultan en una diferencia del 1% en la cantidad de carbono incorporado, de acuerdo con Mohammadpourkarbasi et al. (2023).

Expresada dicha problemática, se convierte en una oportunidad de innovación sostenible al realizar dicha evaluación y demostrar que el ladrillo blanco, fabricado con materiales recuperados, genera menor daño al medio ambiente y a la salud pública.

A partir del contexto antes mencionado el *Objetivo General* de la presente investigación fue evaluar y comparar la huella de carbono – calentamiento

global de ladrillos típicos para la construcción en la zona Ciénaga, México; el tradicional ladrillo rojo versus ladrillo blanco, utilizando el software SimaPro®, especializado en evaluación de daños e impactos ambientales y, finalmente, presentar el análisis y discusión de los resultados obtenidos.

1.1. ESTADO DEL ARTE DE LA PRODUCCIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL ROJO

189

El universo de ladrilleras artesanales del que se extrajo la muestra representativa corresponde a los estados de la megalópolis (Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos, ciudad de México y Estado de México), Jalisco y Guanajuato, (Tabla 1) que albergan al 58.64 % del total de las 17 054 ladrilleras artesanales del país de acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (SEMANART, 2016a).

TABLA 1: Número de ladrilleras artesanales registradas por estado. Fuente: (SEMANART, 2016)

Estado	Ladrilleras registradas	Encuestas esperadas	Encuestas realizadas
Hidalgo	285	28	35
Tlaxcala	29	3	3
Puebla	4,500	440	461
Morelos	24	2	4
Ciudad de México	0	0	0
Estado de México	803	78	89
Jalisco	1994	195	202
Guanajuato	2,366	231	249
Total	10,001	977	1043

El análisis cualitativo de la preferencia de ladrillo artesanal en la autoconstrucción se enfocó en las Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), a través de un método de reconocimiento visual del uso de ladrillo versus productos de concreto (bloque y tabicón), a partir de 108 imágenes urbanas obtenidas de las ZAP de 72 ciudades de los 32 estados de la República de México. En la tabla 2 se muestra la escala utilizada.

190

TABLA 2. Escala de valoración de imágenes urbanas. Fuente: (SEMANART, 2016a).

Nivel	%	Descripción
Totalidad	100%	Predomina la construcción de viviendas con ladrillo
Alto	80%	Es mayor el número de viviendas construidas con ladrillo con respecto a las que usaron bloque y tabicón.
Medio	60%	Es ligeramente mayor el número de viviendas construidas con ladrillo con respecto a las que usaron bloque y tabicón.
Bajo	40%	Es menor el número de viviendas construidas con ladrillo con respecto a las que usaron bloque y tabicón.
Muy Bajo	20%	La mayoría de las viviendas es construida con bloque y tabicón.
Nulo	0%	No existen viviendas construidas con ladrillo

Para el año de 2015 el 92% de los productores artesanales de la Megalópolis, Jalisco y Guanajuato se dedican permanentemente y en forma exclusiva a la actividad, aunque durante períodos de dificultades económicas suelen incorporarse a la actividad personas sin experiencia. A partir del análisis realizado, se estima que el 52% de ellos tienen más de 20 años realizando la actividad, el 29% tienen entre 10 y 20 años y sólo el 19% tienen 10 años o menos produciendo ladrillos; lo cual apunta a una baja incorporación de nuevos productores permanentes. Por otra parte, sólo el 8% tienen una actividad complementaria que puede ser la agricultura, la construcción o actividades comerciales. Una fracción mínima de ellos (0.02%) migran estacionalmente.

La actividad artesanal de ladrillo (Luján et al., 2015), se realiza predominantemente como una actividad familiar (un empleado por cada dos familiares ocupados) y ejecutada por los hombres (una mujer por cada 6 o 7 hombres); entre las mujeres que participan, el 85% provienen del propio núcleo familiar. La participación de los familiares directos no es remunerada y en la cultura del productor, ello se considera una obligación. Por número de dependientes económicos, los mayores porcentajes corresponden a los productores que tienen entre 2 y 3 con un valor de 50%, mientras que el porcentaje de los que tienen de 4 a 10 o más supera el 30%, lo cual concuerda con los datos del tamaño del hogar censal reportado para el país en 2010 (INEGI, 2015).

Otra debilidad estructural de la oferta es la informalidad de la producción de ladrillo, la cual provoca deficiencias en la información estadística oficial, dificulta una mejor comprensión del mercado al carecer de registros de las transacciones y les resta competitividad a los productores por su incapacidad para expedir facturas (sólo el 20% de ellos cuentan con Registro Federal de Contribuyentes). La informalidad también afecta la capacidad de los productores artesanales para obtener financiamiento o apoyos con recursos públicos y prácticamente cancela la posibilidad de regularización de la actividad de acuerdo con los reglamentos locales aplicables (el 63% de los productores no cuentan con permiso municipal de uso del suelo) (López et al., 2015).

La producción artesanal de ladrillo en México se realiza con tecnología rudimentaria en comparación con lo que ocurre en otros países latinoamericanos como Brasil y Colombia (López et al., 2015). Los hornos utilizados en México son llamados “tradicionales” y son del tipo fijo (75%) con paredes parciales que delimitan el espacio de acomodo del ladrillo crudo que se cocerá, o de campaña (22%), cuando la torre de ladrillos crudos da forma

al horno y se desbarata cuando se descarga el ladrillo cocido. Otros tipos de hornos (menos del 0.5%) son el MK2 en los estados de San Luis Potosí, Querétaro, Durango, Puebla, Chihuahua y Jalisco y del tipo multicámara horizontal.

1.2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO

192

En este apartado se presenta un enfoque general de la metodología de ACV (Guzmán et al., 2019), y una introducción al software SimaPro®, conceptos de Calentamiento Global, Cambio Climático y Huella de Carbono.

¿Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático?

Según Kennedy y Lindsey (2018), el *warming* global se refiere solo a la temperatura de la superficie de la Tierra, mientras que el cambio climático incluye el *warming* y los "efectos secundarios" de este *warming*—como son los glaciares que se derriten, procesos de deforestación de bosques, tormentas de lluvia más severas o las sequías más frecuentes. Dicho de otra manera, el calentamiento global es un síntoma del mayor problema del cambio climático causado por los seres humanos.

Otra distinción entre el calentamiento global lo expone Huber et al. (2012) y el cambio climático de acuerdo a Broecker (1975), es que cuando los científicos o líderes públicos hablan sobre el calentamiento global (Mann et al., 2008), en estos días, casi siempre se refieren al calentamiento causado por los humanos—calentamiento (Weart, 2008). Esto debido al rápido aumento del dióxido de carbono (el cual alcanzo en el año de 2021 el 149 % de los niveles preindustriales, principalmente a causa de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento.

Las emisiones mundiales han repuntado desde que terminaron los confinamientos de 2020 debidos a la pandemia de COVID-19. Del total de las

emisiones causadas por actividades humanas durante el período 2011-2020, cerca del 48 % se acumularon en la atmósfera, el 26 % en los océanos y el 29 % en la tierra) así como el metano (desde 2007, la concentración media mundial de metano atmosférico ha aumentado a un ritmo acelerado).

Los incrementos anuales de 2020 y 2021 (15 y 18 ppm, respectivamente), son los mayores desde que se iniciaron las observaciones sistemáticas de este gas en 1983) señala la (Organización-Meteorológica-Mundial, 2022), y otros gases de efecto invernadero causado por personas que queman carbón, petróleo y gas.

El cambio climático, por otro lado, puede significar cambios naturales o causados por los humanos, como las edades de hielo (Kennedy y Lindsey, 2018). Además de quemar combustibles fósiles, los humanos pueden causar cambios climáticos al emitir contaminación de aerosol—las diminutas partículas que reflejan la luz solar y enfrían el clima—a la atmósfera, o al transformar el paisaje de la Tierra, por ejemplo, de bosques que almacenen carbono a tierras de cultivo.

El calentamiento global actual se debe principalmente al aumento de los gases que atrapan el calor que los humanos (Melillo et al., 2014), están agregando a la atmósfera al quemar combustibles fósiles. De hecho, en las últimas cinco décadas, los factores naturales (forzamiento solar y volcanes) en realidad habrían llevado a un ligero enfriamiento en la temperatura de la superficie de la Tierra (Alonso et al., 2010).

¿Qué es la huella de carbono y cómo medirla?

Los gases de efecto invernadero son los principales causantes del calentamiento global (National-Geographic, 2022; González et al., 2007), pero para muchas personas esto es algo que atañe a las grandes empresas y que no guarda relación con las acciones cotidianas (Salomón, 2007; Stocker, 2014).

Sin embargo, cada aspecto de la vida en sociedad deja una marca, una huella de carbono, que es fácilmente medible y, en consecuencia, reducible y compensable.

National Geographic (2022), conversó con especialistas y emprendedores regionales que despejaron todas las dudas y compartieron consejos para medir el impacto individual sobre el planeta y qué acciones se pueden implementar en el hogar para impulsar el cambio positivo, incluso negativo (Organización Meteorológica Mundial, 2022), entre los años de 1990 y 2021, el efecto de calentamiento del clima (denominado “forzamiento radiactivo”) provocado por los gases de efecto invernadero de larga duración, aumentó casi un 50 %, incremento al que el dióxido de carbono contribuyó en aproximadamente un 80 %.

Cada gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global (simbolizado por la sigla GWP derivada de Global Warming Potential), y es la capacidad de un gas de contribuir al apantallamiento radiactivo relativo a otro gas de referencia (PICC, 2007).

En la tabla 3 se muestran algunos valores para óxido nitroso (N_2O), que es el tercer gas de efecto invernadero más importante. Sus emisiones atmosféricas provienen de fuentes naturales (en torno al 57 %) y fuentes antropógenas (aproximadamente el 43 %), como el océano, el suelo, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes y diversos procesos industriales.

Su incremento entre 2020 y 2021 fue algo mayor que el observado entre 2019 y 2020, y superior a la tasa media de aumento anual del último decenio (Organización Meteorológica Mundial, 2022), metano (CH_4), y HFCs (Hydro-Fluoro-Carbon). El GWP de CO_2 es igual a 1.

TABLA 3: Potencial de calentamiento por efecto invernadero para distintos gases y distintas escalas temporales de decaimiento. Los potenciales están en unidades equivalentes a CO₂ (datos de PICC, 2007: pp. 210-214). Fuente: González et al. (2007).

Gases	20 años	100 años	500 años
N ₂ O	289	298	153
CH ₄	72	25	7,6
HFC-23	12000	14800	12200
HFC-32	2330	675	205

¿Qué es la huella de carbono?

“La huella de carbono representa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se emitieron a la atmósfera por medio de alguna actividad humana, que puede ser un producto o un servicio, o por la acción diaria de un habitante”, explicó a National Geographic (2022), mediante video llamada el especialista en mitigación del cambio climático y huella de carbono Sebastián Galbusera, quien imparte clases en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (UBA), en la Universidad Nacional de Tres de Febrero (Untref) y en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).

Estas actividades humanas pueden ser tanto individuales como colectivas y su impacto se mide en toneladas o kilos de dióxido de carbono que equivalen a Gases de Efecto Invernadero (GEI), según detalla la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

¿Cómo medir la huella de carbono?

Existen diversas metodologías disponibles en materia de cálculo de huella de carbono. Incluso, hay otro tipo de mediciones (Espíndola et al., 2012), como la huella hídrica (Cardona et al., 2013), que calcula el consumo de agua, o la huella ambiental (Pérez et al., 2022), que evalúa, calculan y pondera los principales impactos ambientales potenciales de un producto (Pupo, 2013), organización o servicio en base al análisis de su ciclo de vida.

En lo que respecta específicamente a la huella de carbono, se calcula en masa de CO₂ equivalente (CO₂e o CO₂eq) y, la referencia es el CO₂, porque resulta el gas más emitido entre los GEI.

Descripción General de la Metodología del ACV

El ACV, tal y como se define en la norma ISO (14 040, 2006): “Es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de productos a través de su ciclo de vida”.

Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de los recursos naturales (Guzmán et al., 2022), la salud humana y las consecuencias ecológicas (categorías de daño). Un ACV completo incluye las siguientes fases (Figura 1):

- **Definición del objetivo y el alcance:** La aplicación pretendida, las razones para realizar el estudio y el destinatario previsto.
- **Análisis de Inventario (AICV):** Comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema del producto.

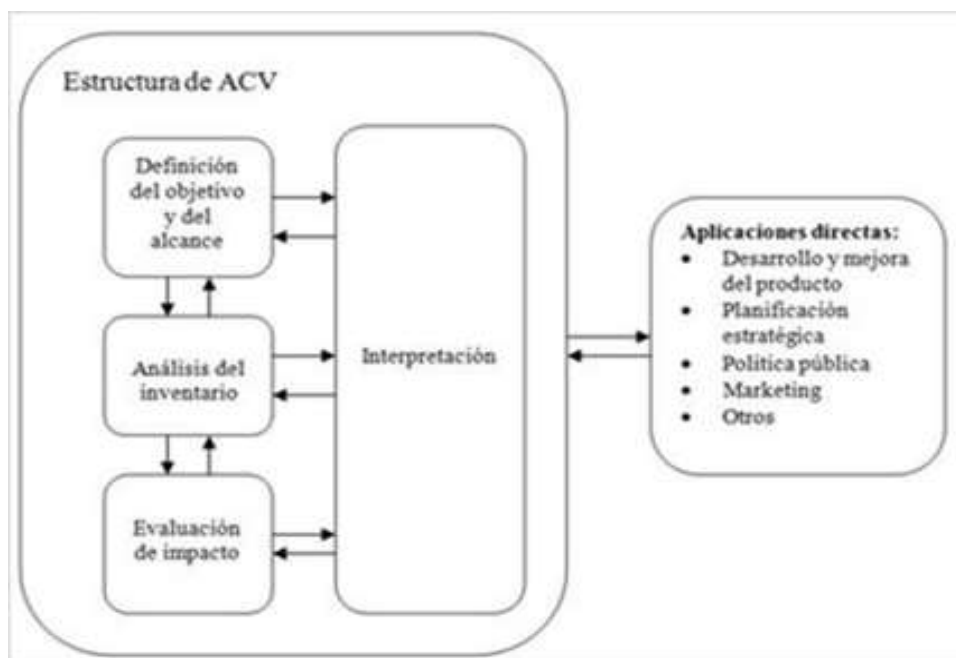


FIGURA 1: Fases de un Análisis de Ciclo de Vida. Fuente: (ISO 14 040, 2006).

- **Evaluación de impacto (EICV):** Se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario de ciclo de vida. La estructura de esta fase viene determinada por la normativa de la norma ISO 14 042, distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Los elementos considerados obligatorios son: 1. Selección de categorías de impactos, indicadores de categorías y modelos, 2. Asignación de los resultados del AICV, Clasificación y 3. Cálculo de indicadores de categoría, Caracterización. Los elementos opcionales son: 1. Normalización, 2. Agrupación y 3. Ponderación.

- **Interpretación de resultados:** Conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance definidos

Descripción general del software SimaPro©

SimaPro© es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRéConsultants (1999), que permite realizar ACV, mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (Ecoinvent, BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM). SimaPro© es el software líder para el análisis de ciclo de vida de diferentes productos, que puede ser empleado por la industria, investigadores y estudiantes.

198

Este software es una herramienta para identificar, analizar y hacer seguimiento a la sostenibilidad de productos y servicios. El programa contiene diferentes métodos para el análisis de ciclo de vida, que sirven para calcular los resultados del análisis o evaluación de impactos. En general la estructura básica de los métodos que se pueden emplear en SimaPro© es la siguiente:

- Caracterización
- Evaluación de daños
- Normalización
- Ponderación
- Adición (puntuación única), (Ramírez et al., 2014).

Principales aplicaciones de SimaPro© relacionadas con el ACV:

1. Valoración de Huella de Carbono
2. Valoración de Huella Hídrica
3. Monitoreo de desempeño ambiental
4. Diseño de productos y Ecodiseño
5. Declaraciones ambientales de productos

6. Presentación de informes ambientales
7. Determinación de indicadores de desempeño clave

Por lo anterior, el SimaPro© es una herramienta profesional para el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, con aplicación al Ecodiseño, al desarrollo y obtención de ecoetiquetas, al cálculo de huellas de carbono o huellas hídricas, entre otros.

199

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en este proyecto es la que engloba cada una de las metodologías descritas en el apartado anterior: ACV y SimaPro©. En primer lugar, se desarrolló dos de las cuatro fases de la metodología de ACV apoyada con el Software SimaPro©, obteniendo la evaluación de daños e impactos ambientales de cada producto mediante gráficos que especifican claramente el daño al medio ambiente. Una vez obtenidos los gráficos, se realizó la interpretación de cada uno de ellos, con respecto al calentamiento global y cambio climático, de donde se desprenden las principales conclusiones de este estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Información básica del inventario de ladrillos

Análisis del inventario

El análisis del inventario se realizó por medio de dos procesos unitarios (materias primas y producción, sin considerar el proceso de horneado-quema del ladrillo), que en la práctica se manejó en “producción de ladrillo” sólo del

ladrillo listón corto, tanto del ladrillo rojo como del ladrillo blanco. Las tablas 4 y 5 fueron proporcionadas por el propietario de la empresa:

TABLA 4: Composición de materiales del ladrillo tradicional rojo. Fuente: Elaboración propia.

	VOL X PZ		DEL TOTAL DEL VOLUMEN POR PZ				
	M3	TIZATE	TEPETATE	TIERRA	RASTROJO	ACERRIN	AGUA
LADRILLO BOVEDA	0.0010575	28%	28%	28%	10%	6%	40%
LADRILLO CATALANA	0.001584	28%	28%	28%	10%	6%	40%
LADRILLO TORITO	0.001989	28%	28%	28%	10%	6%	40%
LADRILLO LISTON CORTO	0.002496	28%	28%	28%	10%	6%	40%
LADRILLO LISTON LARGO	0.0047451	28%	28%	28%	10%	6%	40%
TRANSPORTE: KM RECORRIDOS DESDE EL BANCO DE MATERIAL HASTA LA PLANTA:	KM	8	12	5	6	8	8

200

TABLA 1: Composición de materiales del ladrillo mejorado blanco. Fuente: Elaboración propia.

	VOL X PZ		DEL TOTAL DEL VOLUMEN POR PZ				
	M3	TIZATE	TEPETATE	TIERRA	RASTROJO	ACERRIN	AGUA
LADRILLO BOVEDA	0.0010575	33%	33%	33%	0%	0%	40%
LADRILLO CATALANA	0.001584	33%	33%	33%	0%	0%	40%
LADRILLO TORITO	0.001989	33%	33%	33%	0%	0%	40%
LADRILLO LISTON CORTO	0.002496	33%	33%	33%	0%	0%	40%
LADRILLO LISTON LARGO	0.0047451	33%	33%	33%	0%	0%	40%
TRANSPORTE: KM RECORRIDOS DESDE EL BANCO DE MATERIAL HASTA LA PLANTA:	KM	8	12	5	0	0	8

3.2. Evaluación de Impactos e Interpretación

A continuación, se presentan los principales gráficos obtenidos de la comparativa de ladrillos y evaluados por el método IMPACT 2002+ (Rafiee et al., 2016). Mencionar que dicha evaluación considera categoría de impactos que son 15 (carcinógenos, no carcinógenos, respirables orgánicos, respirables inorgánicos, **calentamiento global**, radiación, capa de ozono, ecotoxicidad acuática, ecotoxicidad terrestre, acidificación terrestre, acidificación acuática, eutroficación acuática, energía no renovable, uso de suelo y extracción de minerales); y categoría de daños que son 4 (Salud humana, Ecosistemas, Recursos y **Cambio Climático**). La escala se da en eco puntos, de donde se determinan los porcentajes de participación.

201

La figura 2 y la tabla 6 presentan la evaluación por categoría de impactos y la comparativa de ladrillos en puntuación única (micro puntos). Obsérvese que 13 de 15 impactos presentan mejora ambiental en el ladrillo blanco con respecto al ladrillo rojo, obteniendo una mejora ambiental global de 12.56%. Y para profundizar en cada uno de los impactos, se realiza una interpretación con base en su puntuación obtenida, detallando mejoras y riesgos ambientales que permiten una mayor y mejor concientización en procura de minimizarlos al momento de la toma de decisiones.

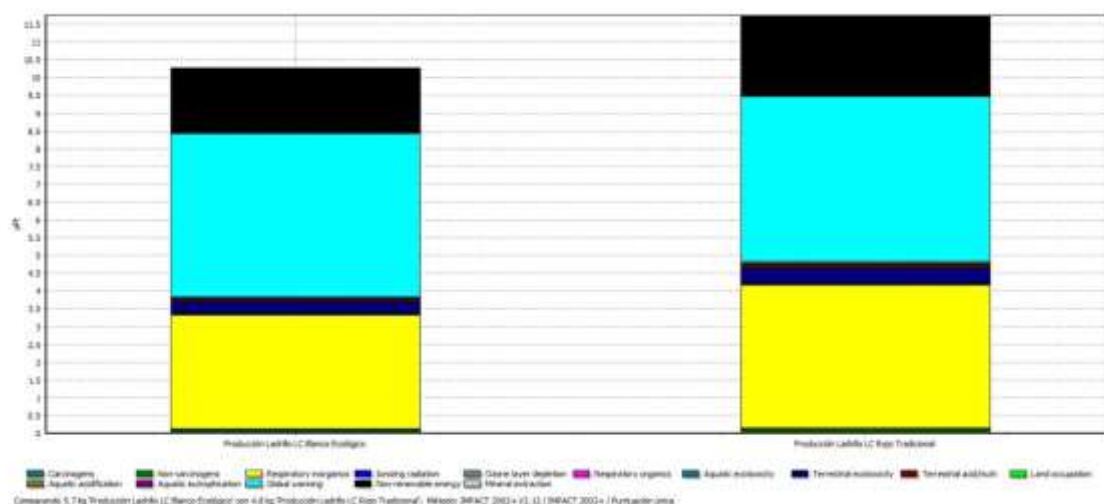


FIGURA 2: Comparativa de Ladrillos por Puntuación Única: Categoría de Impactos. Fuente: Elaboración propia, *Software SimaPro®*

TABLA 6: Comparativa de Ladrillos por Puntuación Única: Categoría de Impactos. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Unidad	Producción Ladrillo LC Blanco Ecológico	Producción Ladrillo LC Rojo Tradicional	Mejora ambiental %
Carcinogens	μPt	0.01762934	0.02268793	22.30
Non-carcinogens	μPt	0.08094837	0.10459234	22.61
Respiratory inorganics	μPt	3.21060842	4.02308787	20.20
Ionizing radiation	μPt	0.00579443	0.00748364	22.57
Ozone layer depletion	μPt	0.00369189	0.00477249	22.64
Respiratory organics	μPt	0.01332105	0.01709246	22.06
Aquatic ecotoxicity	μPt	0.02015659	0.02605735	22.65
Terrestrial ecotoxicity	μPt	0.33519215	0.43318908	22.62
Terrestrial acid/nutri	μPt	0.07802335	0.09739621	19.89
Land occupation	μPt	0.05627585	0.07275249	22.65
Aquatic acidification	μPt	0	0	0.00
Aquatic eutrophication	μPt	0	0	0.00

Continuación tabla 6...

Global warming	μPt	4.60518201	4.64777329	0.92
Non-renewableenergy	μPt	1.85595554	2.30311394	19.42
Mineral extraction	μPt	0.00197708	0.00255544	22.63
Total	μPt	10.2847561	11.7625545	12.56

203

La figura 3 es complementaria a la tabla 5, y presentan la evaluación por categoría de impactos de la comparativa de ladrillos en el método de evaluación del daño. Obsérvese también que 13 de 15 impactos presentan mejora ambiental en el ladrillo blanco con respecto al ladrillo rojo, obteniendo la mejora ambiental global de 12.56% ya mencionada. Y para profundizar en cada uno de los impactos, se realiza una interpretación con base en su puntuación obtenida y las diferentes unidades de medida, detallando mejoras y riesgos ambientales que permiten una mayor y mejor concientización en procura de minimizarlos al momento de la toma de decisiones.

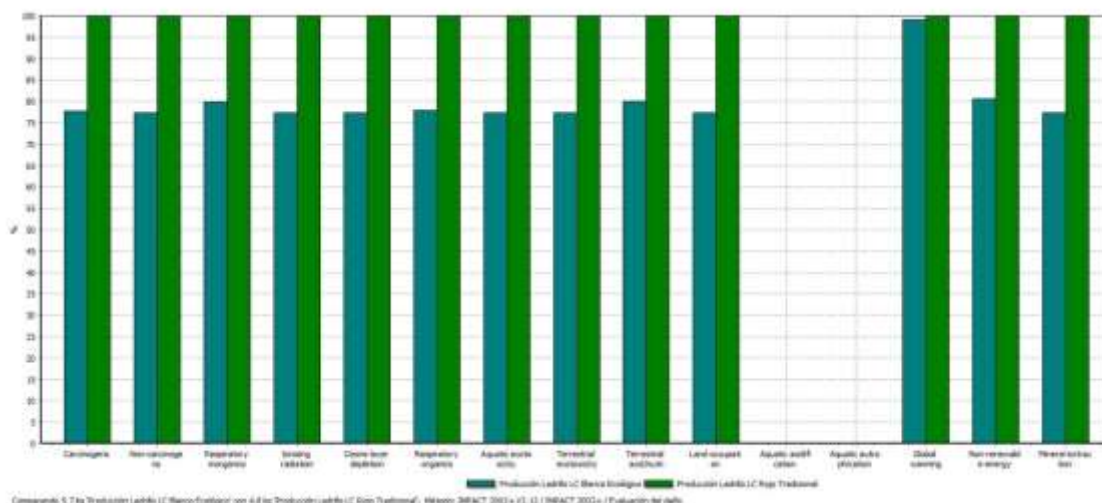


Figura 3. Comparativa de Ladrillos por Evaluación del Daño: Categoría de Impactos.
Fuente: *Software SimaPro®*

Análisis por tipo de Impacto

1. Carcinogens (Carcinógenos, μPt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0176
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0227
- Mejora Ambiental: 22.30%

204

Interpretación: Los carcinógenos son sustancias que pueden causar cáncer. El ladrillo ecológico presenta un impacto menor en este aspecto, lo que indica que su producción implica menos riesgos asociados a productos potencialmente cancerígenos. La mejora del 22.30% sugiere que el proceso de producción del ladrillo ecológico es significativamente más seguro en cuanto a la exposición a estos riesgos.

2. Non-carcinogens(No carcinógenos, μPt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0809
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.1046
- Mejora Ambiental: 22.61%

Interpretación: Esta categoría mide el impacto de sustancias que no son carcinógenas, pero que aún pueden tener efectos negativos para la salud. El ladrillo ecológico también tiene un impacto ambiental más bajo en esta área, reduciendo los efectos de sustancias tóxicas no cancerígenas. Una mejora del 22.61% es bastante significativa.

3. Respiratoryinorganics (Respiratorios inorgánicos, μPt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 3.2106
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 4.0231
- Mejora Ambiental: 20.20%

Interpretación: Los respiratorios inorgánicos son contaminantes del aire, como los óxidos de nitrógeno o partículas en suspensión, que pueden afectar la salud respiratoria. El ladrillo ecológico reduce el impacto en un 20.20%, lo que significa que su producción es menos perjudicial para la calidad del aire y la salud humana en este aspecto.

4. Ionizingradiation (Radiación ionizante, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0058
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0075
- Mejora Ambiental: 22.57%

Interpretación: Las radiaciones ionizantes, como los rayos gamma o los rayos X, pueden tener efectos perjudiciales para la salud, como cáncer o daño genético. El ladrillo ecológico muestra una mejora del 22.57%, lo que indica que su producción emite menos radiación, reduciendo el impacto en la salud humana y el medio ambiente.

5. Ozone layerdepletion (Depleción de la capa de ozono, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0037
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0048
- Mejora Ambiental: 22.64%

Interpretación: La capa de ozono es crucial para proteger a la Tierra de los daños del sol. El impacto en la depleción de la capa de ozono es significativamente menor en el ladrillo ecológico. La mejora del 22.64% refleja el uso de menos productos que agotan el ozono durante la producción del ladrillo ecológico.

6. Respiratoryorganics (Respiratorios orgánicos, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0133

- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0171
- Mejora Ambiental: 22.06%

Interpretación: Los compuestos orgánicos respiratorios son contaminantes del aire como el formaldehído o el benceno, que pueden tener efectos negativos en la salud. Nuevamente, el ladrillo ecológico muestra una mejora al reducir estos compuestos en su producción.

206

7. Aquaticecotoxicity (Ecotoxicidad acuática, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0202
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0261
- Mejora Ambiental: 22.65%

Interpretación: La ecotoxicidad acuática mide el impacto de las sustancias que pueden dañar los ecosistemas acuáticos. El ladrillo ecológico es significativamente menos tóxico para el agua, lo que refleja una menor contaminación en cuerpos de agua cercanos a las fábricas o durante el proceso de producción.

8. Terrestrialecotoxicity (Ecotoxicidad terrestre, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.3352
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.4332
- Mejora Ambiental: 22.62%

Interpretación: Aquí se mide el daño a los ecosistemas terrestres (como el suelo y las plantas). El ladrillo ecológico tiene un impacto menor en los ecosistemas terrestres, lo que significa que su producción es menos perjudicial para el entorno natural.

9. Terrestrialacid/nutri (Acidificación y nutrición terrestre, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0780

- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0974
- Mejora Ambiental: 19.89%

Interpretación: Esta categoría mide los efectos negativos sobre el suelo, como la acidificación (que puede dañar la biodiversidad) y la nutrición (que puede empobrecer el suelo). El ladrillo ecológico presenta una mejora del 19.89%, indicando una menor afectación al suelo durante su producción.

207

10. Landoccupation(Ocupación del suelo, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0563
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0728
- Mejora Ambiental: 22.65%

Interpretación: El impacto en la ocupación del suelo se refiere a cuánta tierra es utilizada y alterada para la producción del producto. El ladrillo ecológico necesita menos terreno para producirse, lo que significa una mejor gestión del uso del suelo.

11. Aquaticacidification (Acidificación acuática) y 12. Aquaticeutrophication (Eutrofización acuática) (μ Pt)

- Ambos valores son 0 para ambos tipos de ladrillo.

Interpretación: Esto sugiere que ninguno de los dos tipos de ladrillo tiene un impacto en la acidificación o eutrofización de los cuerpos de agua. Esto es positivo, ya que no contribuyen a la contaminación del agua con sustancias ácidas o nutrientes excesivos.

13. Global warming (Calentamiento global, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 4.6052
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 4.6477
- Mejora Ambiental: 0.92%

Interpretación: El impacto en el calentamiento global es ligeramente menor para el ladrillo ecológico, pero la diferencia es pequeña (solo un 0.92%). A pesar de esta pequeña mejora, ambos ladrillos tienen un impacto relativamente alto en este aspecto, lo que refleja las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con su producción.

14. Non-renewableenergy (Energía no renovable, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 1.8560
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 2.3031
- Mejora Ambiental: 19.42%

Interpretación: El ladrillo ecológico usa menos energía no renovable en su producción, lo que implica que es más eficiente en términos de consumo de recursos fósiles, como el petróleo o el gas natural.

15. Mineral extraction (Extracción mineral, μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0020
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0026
- Mejora Ambiental: 22.63%

Interpretación: El ladrillo ecológico tiene un impacto ambiental menor en términos de extracción de minerales. Esto indica que se utilizan menos recursos naturales no renovables en la producción del ladrillo ecológico.

Total (μ Pt)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 10.2848
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 11.7626
- Mejora Ambiental: 12.56%

Interpretación: A nivel global, el ladrillo ecológico tiene un menor impacto ambiental, con una mejora del 12.56% en comparación con el ladrillo tradicional.

La figura 4 y la tabla 7 presentan la evaluación por categoría de daños de la comparativa de ladrillos en puntuación única y evaluación del daño respectivamente. Obsérvese que las 4 categorías presentan mejora ambiental en el ladrillo blanco con respecto al ladrillo rojo, obteniendo una mejora ambiental global de 12.56%. Y para profundizar en cada uno de los daños, se realiza una interpretación con base en su puntuación obtenida en sus diferentes unidades de medida, detallando mejoras y riesgos ambientales que permiten una mayor y mejor concientización en procura de minimizarlos al momento de la toma de decisiones.

209

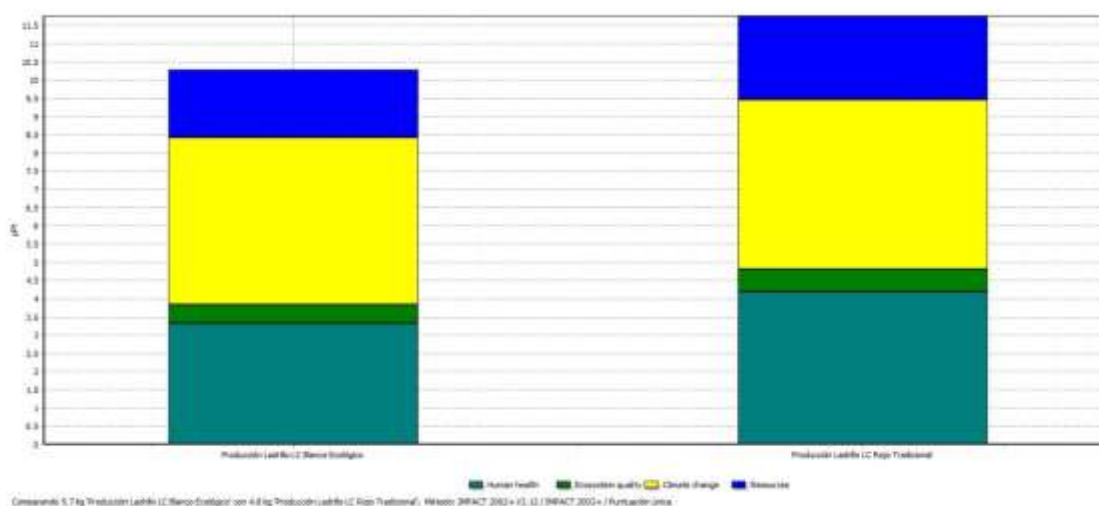


FIGURA 4: Comparativa de Ladrillos por Puntuación Única: Categoría de Impactos.

Fuente: Elaboración propia, *Software SimaPro®*

Tabla 7. Comparativa de Ladrillos por Puntuación Única: Categoría de Impactos Fuente: Elaboración propia.

Daño de categoría	Unidad	Producción Ladrillo LC Blanco Ecológico	Producción Ladrillo LC Rojo Tradicional	Mejora Ambiental %
Human health	DALY	2.3631E-08	2.9643E-08	20.28183
Ecosystemquality	PDF*m2*yr	0.00670751	0.00862185	22.20341
Climatechange	kg CO2 eq	0.04559586	0.04601756	0.91638
Resources	MJ primary	0.28236058	0.35040568	19.41895

Al analizar la tabla 7, que incluye diferentes categorías de impacto ambiental, con unidades específicas de medición para cada tipo de daño, se observa que:

1. Human Health (Salud humana)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 2.36312E-08 DALY
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 2.96434E-08 DALY
- Mejora Ambiental: 20.28%

Interpretación: La unidad DALY (Disability-Adjusted Life Years) mide la carga de enfermedad que produce un producto. Un valor menor indica un menor impacto en la salud humana. El Ladrillo LC Blanco Ecológico tiene un impacto más bajo en la salud, lo que refleja una menor carga de enfermedad derivada de su producción. La mejora ambiental del 20.28% sugiere que su proceso de fabricación es más saludable, con menos efectos negativos en la salud de las personas.

2. EcosystemQuality (Calidad del ecosistema)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.006707506 PDF*m²*yr

- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.008621851 PDF*m²*yr
- Mejora Ambiental: 22.20%

Interpretación: La unidad PDF*m²*yr (Potentially Disappeared Fraction of species per square meter per year) mide la pérdida de biodiversidad debido a la producción del producto. Un valor menor indica menor impacto en los ecosistemas. El Ladrillo LC Blanco Ecológico tiene un impacto ambiental menor, lo que significa que su producción es menos perjudicial para la biodiversidad y los ecosistemas. Con una mejora del 22.20%, el ladrillo ecológico contribuye significativamente menos a la pérdida de especies.

211

3. Climate Change (Cambio climático)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.0456 kg CO₂ eq
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.0460 kg CO₂ eq
- Mejora Ambiental: 0.92%

Interpretación: Esta categoría mide las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂ equivalente). La diferencia en emisiones entre ambos tipos de ladrillos es muy pequeña (0.92% de mejora a favor del ladrillo ecológico). Aunque hay una mejora mínima, ambos tipos de ladrillos siguen contribuyendo al cambio climático de manera similar. Sin embargo, el Ladrillo LC Blanco Ecológico emite ligeramente menos CO₂, lo que es positivo para el medio ambiente.

Se ratifica que el ladrillo ecológico blanco, como el Ladrillo LC Blanco Ecológico, presenta un impacto ambiental significativamente menor que el ladrillo rojo tradicional. Esto se evidencia en los datos proporcionados, según lo obtenido en el sub punto 14. Non-renewableenergy (Energía no renovable, μPt), donde el ladrillo blanco registra un valor de 1.8560, inferior al del ladrillo rojo tradicional con 2.3031. La mejora ambiental asociada al ladrillo blanco es del 19.42%. La reducción en el impacto ambiental se debe principalmente al

menor consumo de energía y recursos naturales durante su fabricación, y a la generación de menores emisiones de CO₂. Factores como el tipo de combustible y el horno utilizado en la producción, que en este caso influyen en las emisiones. Este tipo de ladrillo blanco, también conocido como ecoladrillo, puede fabricarse con materiales reciclados o utilizando procesos de producción más eficientes, lo que reduce su huella ambiental.

Por otra parte, la fabricación de ladrillo rojo tradicional, que se hace a partir de arcilla cocida, requiere un proceso que consume grandes cantidades de energía y genera emisiones de carbono, además de otras contaminantes. De ahí que, al comparar los impactos ambientales de ambos tipos de ladrillo, se observa que el ladrillo blanco ecológico presenta una menor huella de carbono, una menor demanda de recursos y una menor emisión de contaminante

4. Resources (Recursos)

- Ladrillo LC Blanco Ecológico: 0.2824 MJ (megajulios) de energía primaria
- Ladrillo LC Rojo Tradicional: 0.3504 MJ de energía primaria
- Mejora Ambiental: 19.42%

Interpretación: Esta categoría mide el consumo de energía primaria (principalmente no renovable) durante la producción de los ladrillos. Como se expuso en el punto anterior el Ladrillo LC Blanco Ecológico usa menos energía, lo que significa que su proceso de fabricación es más eficiente y depende menos de recursos energéticos no renovables. La mejora del 19.42% es considerable, lo que refleja una mayor eficiencia energética en la producción del ladrillo ecológico.

Discusión por caracterización de Impactos

Con base en la evaluación de impactos y daños ambientales que generan productos y servicios, se obtuvo mediante el *software SimaPro*® (SIMAPRO-Cadis, 2023), que el ladrillo rojo convencional afecta en mayor medida que un ladrillo blanco fabricado con materiales recuperados o que son desechos de otras industrias (Cano et al., 2017). Siendo el calentamiento global (Mann et al., 2008; Uhlig, 2020; Pallmall, 2021), el que supone mayor impacto al medio ambiente y al cambio climático en la categoría de daños (Castaño et al., 2021). Por lo anterior y en procura de lograr una simbiosis industrial es recomendable utilizar materiales y procesos que son desechos de otras empresas y se convierten en materia prima amigable para nuevos procesos de fabricación tal como es el caso del ladrillo blanco.

A lo largo de este análisis, hemos comparado los impactos ambientales de la producción del Ladrillo LC Blanco Ecológico frente al Ladrillo LC Rojo Tradicional en diferentes categorías, utilizando diversas unidades y métricas para evaluar los daños en la salud humana, la calidad de los ecosistemas, el cambio climático y el uso de recursos. A continuación, se discuten los principales hallazgos:

1. **Salud humana:** El Ladrillo LC Blanco Ecológico presenta un impacto significativamente menor en términos de la carga de enfermedad (DALY), con una mejora del 20.28% en comparación con el ladrillo tradicional. Esto sugiere que la producción del ladrillo ecológico es menos perjudicial para la salud humana, posiblemente debido a la utilización de materiales menos tóxicos y procesos de fabricación más limpios.
2. **Calidad de los ecosistemas:** En cuanto a la biodiversidad, la producción del Ladrillo LC Blanco Ecológico tiene un impacto considerablemente menor, con una mejora del 22.20% en comparación con el ladrillo

tradicional. Esto refleja que el ladrillo ecológico genera menos daño a los ecosistemas, lo cual es crucial en un contexto global donde la pérdida de biodiversidad es una preocupación creciente.

3. **Cambio climático:** La diferencia en las emisiones de CO₂ entre los dos tipos de ladrillo es relativamente pequeña (0.92%), lo que indica que, en términos de cambio climático, ambos tipos de ladrillos contribuyen de manera similar al calentamiento global. Sin embargo, el Ladrillo LC Blanco Ecológico emite ligeramente menos CO₂, lo que es un paso positivo, aunque el impacto global sigue siendo modesto.
4. **Uso de recursos:** En términos de eficiencia energética, el Ladrillo LC Blanco Ecológico es más eficiente en el uso de recursos, mostrando una mejora del 19.42% en comparación con el ladrillo tradicional. Esto implica que su proceso de producción es más sostenible desde el punto de vista del consumo de energía primaria, lo que contribuye a una reducción en el uso de recursos no renovables y un menor impacto sobre los ecosistemas.
5. **Carcinógenos y No carcinógenos:** El Ladrillo LC Blanco Ecológico presenta una mejora significativa en la reducción de carcinógenos (22.30%) y sustancias no carcinógenas (22.61%). Esto sugiere que su producción involucra menos sustancias peligrosas para la salud humana, lo que lo hace más seguro tanto para los trabajadores como para los usuarios finales.

6. **Ecotoxicidad acuática y terrestre:** En cuanto a la ecotoxicidad, el ladrillo ecológico presenta una mejora del 22.65% en la ecotoxicidad acuática y del 22.62% en la terrestre. Esto implica que su producción afecta menos a los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo cual es crucial dado que la contaminación de estos ecosistemas puede tener efectos a largo plazo sobre la biodiversidad. La ecotoxicidad acuática y terrestre se reduce al utilizar materiales reciclados, como plásticos, que evitan su incineración y la liberación de sustancias tóxicas.
7. **Uso del suelo y recursos naturales:** El impacto en la ocupación del suelo y la extracción mineral también es menor en el ladrillo ecológico (22.65% y 22.63%, respectivamente). Esto indica que el ladrillo ecológico requiere menos tierra y recursos naturales para su producción, lo que puede contribuir a una gestión más eficiente y menos destructiva del entorno natural.
8. **Calentamiento global y energía no renovable:** Aunque la mejora en el calentamiento global es pequeña (0.92%), y ambas opciones presentan un impacto relativamente alto debido a las emisiones inherentes a su producción, el ladrillo ecológico aún muestra una leve ventaja. Además, en términos de energía no renovable, el ladrillo ecológico tiene un impacto un 19.42% menor, lo que refleja una mayor eficiencia energética. Por ello, la visión propositiva y prospectiva es que algunos ladrillos ecológicos, caso del ladrillo blanco, pueden ser diseñados para mejorar la eficiencia energética de las construcciones, reduciendo el consumo de energía.

9. **Otras categorías:** En otras áreas, como la depleción de la capa de ozono, los respiratorios orgánicos y la acidificación terrestre, el Ladrillo LC Blanco Ecológico también presenta mejoras destacables. Esto refleja que, en general, su producción es menos contaminante en diversos aspectos clave.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió con el objetivo general del presente trabajo, que consistió en la evaluación y comparación de impactos. Se aplicó el Análisis de Ciclo de Vida es la metodología que se utiliza actualmente para evaluar la carga medioambiental de un producto-proceso o actividad en todo su ciclo de vida que pretende evaluar los potenciales impactos ambientales causados durante todas las etapas, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

Actualmente existen numerosos softwares que brindan apoyo para realizar este análisis detalladamente, tal es el caso de SimaPro®; que es un software para el análisis de ciclo de vida de diferentes productos, es una herramienta para identificar, analizar y hacer seguimiento a la sostenibilidad de productos y servicios. SimaPro® fue utilizado para comparar la carga medio ambiental de los ladrillos llamados listón corto tanto del rojo como del blanco, donde con base en los resultados:

- El Ladrillo LC Blanco Ecológico tiene un impacto ambiental considerablemente menor en casi todas las categorías. Las mejoras más notables se encuentran en áreas como la reducción de carcinógenos, ecotoxicidad acuática y terrestre, y la ocupación del suelo, lo que lo convierte en una opción más amigable con el medio ambiente que el Ladrillo LC Rojo Tradicional. El Ladrillo LC Blanco Ecológico presenta un impacto ambiental significativamente menor en varias categorías clave:

- **Salud humana:** Reducción del 20.28% en la carga de enfermedad.
- **Calidad del ecosistema:** Mejora del 22.20%, lo que sugiere un menor daño a la biodiversidad.
- **Cambio climático:** La diferencia es pequeña (0.92%), pero el ladrillo ecológico tiene una leve ventaja en cuanto a menores emisiones de CO₂.
- **Recursos:** El ladrillo ecológico es un 19.42% más eficiente en el uso de energía primaria.

El Ladrillo LC Blanco Ecológico es una opción superior desde el punto de vista ambiental en comparación con el Ladrillo LC Rojo Tradicional. Las mejoras en la mayoría de las categorías de impacto ambiental, como carcinógenos, ecotoxicidad, uso del suelo y recursos naturales, son notables.

A pesar de la pequeña diferencia en términos de calentamiento global, el ladrillo ecológico presenta un impacto global significativamente menor, con una mejora general del 12.56%. Esto hace del Ladrillo LC Blanco Ecológico una opción más sostenible, favoreciendo su adopción en la construcción para reducir el impacto ambiental y promover prácticas más responsables con el entorno natural.

Por consiguiente, considerando que el presente trabajo tiene su contexto de acción enfocado a la huella de carbono y cambio climático, las perspectivas futuras de la construcción mexicana con el empleo del ladrillo rojo tradicional apuntan al Ecodiseño y Ecoeficiencia en procesos industrializados de ladrillos ecológicos, como una alternativa más sostenible para la construcción de mampostería, ya que desde la sostenibilidad, reduce significativamente, entre otros, los impactos ambientales de la producción y uso de ladrillos tradicionales. Los ladrillos ecológicos, al utilizar materiales reciclados y reducir

las emisiones de CO₂, contribuyen a una construcción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro, J. L., Y Jiménez, M. A.** (2010). Reparto de competencias y responsabilidades cartográficas en España. Cómo se organiza la cartografía oficial en España. Catastro: formación, investigación y empresa: Selección de ponencias del I Congreso Internacional sobre catastro unificado y multipropósito.
- 14 040, A. U.-E.** (2006). Gestión Medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. ISO Madrid, España.
- Alonso, O. S., Benito, G. D., Duarte, C. M., Montes, C. P. y Valladares, R. F.** (2010). Cambio Global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/27310/1/cambioGlobal.pdf>
- Broecker, W. S.** (1975). Cambio climático: ¿Estamos al borde de un calentamiento global pronunciado? Revista Ciencia, 189(4201), 460–463. <http://doi.org/10.1126/science.189.4201.460>
- Cano, J. H. y Posada, D. M.** (2017). Innovación a la M: experiencias innovadoras en Medellín. Universidad EAFIT.
- Cardona, C. M. y Ochoa, B. C.** (2013). La huella hídrica un indicador de impacto en el uso del agua. Tecnogestión: Una mirada al ambiente, 10, (1).
- Castaño, J. C., Zona, M. C. y Suárez, F. A.** (2021). Sobre el concepto de cambio climático e implicaciones: Construcción desde el aula. Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa, 1, (2), 87-102.
- Chávez, C. B.** (2018). Fuentes emisoras de contaminación atmosférica y su influencia en la calidad del aire de la ciudad de Huánuco 2016. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4096>
- Espíndola, C., y Valderrama, J. O.** (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Información tecnológica, 23, (1), 163-176.
- Fiksel, J.** (1997). Ingeniería en Diseño Medioambiental DFE Desarrollo Integral de productos y procesos ecoeficientes. Madrid: Mc Graw Hill.
- Fontalvo-Porras, E. D. y Gutiérrez-Robles, E. J.** (2014). Diseño de un horno para cocción de ladrillos refractarios en una empresa del sector ladrillero. <http://hdl.handle.net/11619/816>

- González, A. D. y Carlsson, K. A.** (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. Avances en energías renovables y medio ambiente, 11. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/90830>
- Gutiérrez-Yurrita, P. J.** (2009). Perspectiva ecológica para mejorar la aplicación de la ley ambiental de cara al cambio climático global. Revista Aranzadi de Derecho Ambiental, 15, (1): 81-92.
- Guzmán, M. L., Villarruel, M. S. y Guzmán, J. O.** (2022). Diseño e innovación de productos sustentables. Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad, 16, (16), 877-898.
- Guzmán-Mares, L., Castellanos-Villarruel, M., Chávez-Bautista, S. y Salcedo-Delgadillo, L.** (2019). Análisis de Ciclo de Vida de Productos ambientalmente integrados con Ecodiseño, Innovación y la Ecoeficiencia. Los sistemas de calidad en las operaciones fomentando la competitividad de las empresas, 167-170.
- Huber, M. y Knutti, R.** (2012). Calentamiento antropogénico y natural inferido de cambios en el equilibrio energético de la Tierra. Naturaleza Geociencia, 5, 31-36. doi:10.1038/ngeo1327. <http://www.nature.com/ngeo/journal/v5/n1/pdf/ng>
- INEGI.** (2015). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Kennedy, C., y Lindsey, R.** (2018). ¿Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático? <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/%C2%BFcu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-el-calentamiento-global-y-el-cambio-clim%C3%A1tico#:~:text=El%20calentamiento%20global%20se%20refiere,o%20las%20sequ%C3%ADas%20m%C3%A1s%20frecuentes>
- López, A. R., Solís, E. A., A., P. E., Rosas, N. C., Trasgallo, Q. M. y Ortiz, M. N.** (2015). Informe final: Análisis de Mercado del Sector de la Construcción y proyecto piloto a Nivel Región basado en un portafolio de políticas públicas con el objetivo de reducir los CCVC de Ladrilleras artesanales en México. https://www.ccacalition.org/sites/default/files/resources/Informe%20final_VF_pub.pdf
- Luján, M. y Guzmán, D.** (2015). Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales. Acta Nova, 7(2), 165-193.
- Mann, M., Zhang, Z., Hughes, M., Bradley, R., Miller, S. y Rutherford, S.** (2008). Reconstrucciones basadas en proxy de las variaciones de la temperatura de la superficie global y hemisférica durante los últimos dos milenios. Recuperado el 21 de 09 de 2023, de Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 105(36), 13252-13257. doi: 10.1073/pnas.0805721105.

- Martínez, M. F. y Osnaya, P.** (2004). Cambio climático: una visión desde México. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Melillo, J. M., Terese, R. y Gary, W. Y.** (2014). Impactos del cambio climático en los Estados Unidos: la tercera evaluación nacional del clima. Programa de Investigación del Cambio Global de EE. UU. Recuperado el 21 de 09 de 2023, de doi:10.7930/J0Z31WJ2
- National-Geographic.** (2022). ¿Qué es la huella de carbono y cómo medirla? <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/que-es-huella-de-carbono-como-se-mide>
- Organización Metereológica Mundial.** (2022). Se suceden las malas noticias para el planeta: los niveles de gases de efecto invernadero alcanzan nuevos máximos. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/se-suceden-las-malas-noticias-para-el-planeta-los-niveles-de-gases-de>
- Pallmall, A. O.** (2021). El cambio climático, una amenaza global. El cambio climático, una amenaza global. Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa, Vol. 1, N° 2.
- Pérez, G., Islas-Samperio, J. M., Manzini, F., Suárez, R., Barahona-Pérez, L. F. y Aguillón, J. E.** (2022). Huella ambiental de la producción de biodiésel utilizando *Jatropha curcas* mexicana cultivada en suelos marginales. Revista Internacional de Contaminación, 38, 22-33.
- Pré-Consultants, B.** (1999). User Manual, SimaPro©©. Pré consultants B.V. Amerfoort, Netherlands.
- Pupo, R.** (2013). Evaluación de los impactos ambientales potenciales durante el ciclo de vida de la maquinaria agrícola. Master'sthesis, Universidad de Holguín, Centro de Estudio de Gestión Empresarial.
- Rafiee, S., Khoshnevisan, B., Mohammadi, I., Aghbashlo, M. y Clark, S.** (2016). Evaluación de la sostenibilidad de la producción de leche pasteurizada con un enfoque de evaluación del ciclo de vida: un estudio de caso iraní. Ciencia del Medio Ambiente Total.
- Ramírez, O. A. y Vélez, V.** (2014). Análisis de ciclo de vida con el Software SimaPro©©. Obtenido de <https://aciclovidaSimaPro©©.wordpress.com/category/SimaPro©©/>
- Salomón, S.** (2007). Cambio climático 2007: la base de la ciencia física. E.U.A: contribución del grupo de trabajo I al cuarto informe de evaluación del IPCC (Vol. 4). Prensa de la Universidad de Cambridge.
- SEMANART.** (2016a). Ladrilleras Artesanales en México: Análisis de Mercado Sector Construcción. Proyecto Piloto Regional basado en Portafolio Políticas Públicas. https://www.gob.mx/inecc/documentos/2015_cgc_v_analisis-de-mercado-del-

sector-de-la-construccion-y-proyecto-piloto-a-nivel-region-basado-en-un-portafolio-de-politicas-publicas-con-el-objetivo-de-reducir-los-ccvc-de-ladrilleras-artesanales-en-mexico?state=p

SEMARNAT. (2016b). Análisis de mercado del sector de la construcción y proyecto piloto a nivel región, basado en un portafolio de políticas públicas, con el objetivo de reducir los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), de ladrilleras artesanales de México. <http://www.gob.mx/inecc>

SIMAPRO©-Cadis. (2023). Toma decisiones basadas en métrica ambiental. <https://www.SimaPro©.mx/>

Stocker, T. (2014). Cambio climático 2013: la base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Prensa de la Universidad de Cambridge.

Uhlig, S. (2020). ¡CO₂= calentamiento global= cambio climático!, ¿Y qué pasaría si todo fuera más complejo?: Los continuos cambios climáticos: aspectos geológicos, arqueológicos y astrofísicos. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Revista de Xeoloxía.

Villota-Carranza, D. (2023). Cálculo de la Huella de Carbono para la fabricación de ladrillos artesanales en la parroquia Sinincay. Cuenca: Tesis doctoral.

Weart, S. (2008). Línea de tiempo (Hitos). En el descubrimiento del calentamiento global. Instituto Americano de Física.

Chen, Liu; Tan, Yiqi; Lv, Gengpei; Cai, Weiguang; Gao, Xiaofeng y Li, Rui. (2024). "Uncovering the coupling effect with energy-related carbon emissions and human development variety in Chinese provinces. Journal of Environmental Sciences (China), 139, 527-542.

Penikas, H. y Vasilyeva, E. (2024). Redefining the degree of industry greenness using input-output tables. International Review of Economics and Finance, 89 (PA), 1073–1090. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.08.008>

García-Pérez, D., Xamán, J., Zavala-Guillén, I., Chávez-Chena, Y., Simá, E. y Arce, J. (2023). Evaluación anual de un muro modificado con PCM para reducir el consumo de energía y emisiones de CO₂ en el Sureste de México. Energía y Edificación, 29, 113129.

Mohammadpourkarbasi, H., Riddle, B., Liu, C. y Sharples, S. (2023). Life cycle carbon assessment of decarbonising UK's hard-to-treat homes: A comparative study of conventional retrofit vs EnerPHit, heat pump first vs fabric first and ecological vs petrochemical retrofit approaches. Energy and Buildings, 296, 113353. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113353.