

Análisis de Ciclo de Vida en la fabricación de concentrador solar para producción de polines de polietileno alta densidad reciclado

Life Cycle Analysis of solar concentrator manufacturing for the
production of poles made from recycled high-density
polyethylene

Julio Cesar Brito Reyna

julio.brito@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6450-1507>

Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Morelos – México

Alexis Iván Luna Sánchez

alexis.luna.54051@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-4263-9245>

Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Morelos – México

Gabriela Hernández Luna

gabriela.hernandez@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3767-3965>

Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Morelos – México

Rosenberg J Romero Domínguez

rosenberg@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2625-7464>

Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Morelos – México

Juan Carlos García Castrejón

jgarcia@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1650-2932>

Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Morelos – México

Continente Elizalde Domínguez

profe_6389@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2612-6571>

Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo
Pachuca – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4454>

Artículo recibido: 29 de mayo de 2025

Aceptado para publicación: 01 de
septiembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4454>

Análisis de Ciclo de Vida en la fabricación de concentrador solar para producción de polines de polietileno alta densidad reciclado

Life Cycle Analysis of solar concentrator manufacturing for the production of poles made from recycled high-density polyethylene

Julio Cesar Brito Reyna

julio.brito@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6450-1507>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Morelos – México

Alexis Iván Luna Sánchez

alexis.luna.54051@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-4263-9245>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Morelos – México

Gabriela Hernández Luna¹

gabriela.hernandez@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3767-3965>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Morelos – México

Rosenberg J Romero Domínguez

rosenberg@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2625-7464>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Morelos – México

Juan Carlos García Castrejón

jpgarcia@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1650-2932>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Morelos – México

Continente Elizalde Domínguez

profe_6389@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2612-6571>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Pachuca – México

Artículo recibido: 29 de mayo de 2025. Aceptado para publicación: 01 de septiembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El presente trabajo evalúa y analiza los impactos—ambientales, salud humana y agotamiento de recursos— generados a través de un enfoque teórico-metodológico a partir de la fabricación de un concentrador solar cilíndrico parabólico (cscp) para la producción de polines de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado. Utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) específicamente para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero junto con el consumo

¹ Autor de correspondencia.

energético en la fase de manufactura y se recurre a la teoría fundamentada (tf) como enfoque cualitativo complementario para identificar, codificar y categorizar los impactos ambientales observados, generando un modelo interpretativo a partir de los resultados cuantitativos del ACV. Los resultados tras analizar cada uno de los componentes del cscp muestran que el Acero de baja aleación junto con el Aluminio son los materiales con mayor contribución a la categoría de Calentamiento Global y al Agotamiento de recursos fósiles, representando más del 90% de las emisiones de CO₂eq, mientras que la categoría de Toxicidad humana está dominada por el Acero cromado y el Acero de baja aleación. La implementación del cscp resulta una excelente oportunidad para reducir significativamente los impactos en el reciclado de termoplásticos, en comparación con tecnologías convencionales basadas en fuentes fósiles, su fabricación aún depende de materiales con una alta carga ambiental. Estos hallazgos refuerzan la importancia de adoptar estrategias de economía circular y tecnologías renovables en la reutilización de plásticos reciclados, promoviendo un equilibrio entre sostenibilidad ambiental y eficiencia industrial.

Palabras clave: reciclaje, análisis de ciclo de vida, energías renovables, impacto ambiental, economía circular

Abstract

This paper evaluates and analyzes the environmental, human health, and resource depletion impacts generated through a theoretical and methodological approach in the manufacture of a parabolic trough solar concentrator (PTSC) for the production of recycled high-density polyethylene (HDPE) poles. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology is used specifically to quantify greenhouse gas emissions and energy consumption during the manufacturing phase, and grounded theory (GT) is used as a complementary qualitative approach to identify, codify, and categorize the observed environmental impacts, generating an interpretive model from the quantitative LCA results. The results from the analysis of each of the PTSC components show that low-alloy steel, along with aluminum, are the materials with the greatest contribution to the Global warming and Fossil resource depletion categories, representing more than 90% of CO₂eq emissions, while the Human toxicity category is dominated by chrome-plated steel and low-alloy steel. The implementation of the PTSC represents an excellent opportunity to significantly reduce the impacts of thermoplastic recycling compared to conventional fossil-based technologies, as their manufacture still relies on materials with a high environmental burden. These findings reinforce the importance of adopting circular economy strategies and renewable technologies for the reuse of recycled plastics, promoting a balance between environmental sustainability and industrial efficiency.

Keywords: recycling, life cycle analysis, renewable energy, environmental impact, circular economy

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Brito Reyna, J. C., Luna Sánchez, A. I., Hernández Luna, G., Romero Domínguez, R. J., García Castrejón, J. C., & Elizalde Domínguez, C. (2025). Análisis de Ciclo de Vida en la fabricación de concentrador solar para producción de polines de polietileno alta densidad reciclado. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (4), 2611 – 2628.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4454>

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de plásticos ha aumentado aceleradamente en las últimas décadas, alcanzando aproximadamente 400 millones de toneladas anuales, de las cuales se estima que solo el 9 % han sido recicladas. Se proyecta que esta cifra podría duplicarse para el año 2040 (Naciones Unidas, 2022). El desarrollo industrial ha impulsado la innovación en la síntesis de materiales plásticos, destacando el polietileno de alta densidad (PEAD) por sus propiedades mecánicas, durabilidad y versatilidad en diversas aplicaciones. No obstante, el impacto ambiental asociado a su fabricación continúa siendo una preocupación global, especialmente por las emisiones generadas durante los procesos de producción (Royer et al., 2018).

Frente a los desafíos ambientales asociados al cambio climático, se ha incrementado el interés por transitar hacia modelos productivos más sostenibles. La economía circular emerge como una estrategia clave para enfrentar el problema del agotamiento de recursos naturales y la acumulación de residuos sólidos al proponer un cambio de paradigma: pasar de un modelo lineal de producción (extraer–producir–desechar) a un modelo circular que promueve la reutilización, el reciclaje y la valorización de residuos (Cerdá y Khalilova, 2016).

En este contexto, el reciclaje de plásticos, como el PEAD, representa una oportunidad significativa para mitigar impactos ambientales, especialmente si su procesamiento se realiza mediante tecnologías basadas en energías renovables. La propuesta de utilizar un concentrador solar cilíndrico parabólico (cscp) se alinea con este enfoque, al integrar un sistema de aprovechamiento térmico solar en la cadena de producción de polines, lo cual podría reducir la dependencia energética de fuentes fósiles.

Diversos estudios han demostrado que la transición de fuentes energéticas convencionales a renovables puede reducir significativamente la huella de carbono, así como otros impactos asociados a la producción de plásticos (Majid y Kumar, 2020). En este sentido, investigaciones recientes (Alevizos et al., 2023; Ioshchikhin et al., 2024) han resaltado la importancia del uso de herramientas de software profesional con bases de datos actualizados, como OpenLCA, para llevar a cabo análisis detallados del ciclo de vida, con énfasis en categorías como la salud humana, el agotamiento de recursos y la calidad de los ecosistemas.

Los polines de PEAD reciclado presentan aplicaciones diversas en el sector de la construcción, tales como la delimitación de superficies, la fabricación de estructuras ligeras (como cabañas o cercas), elementos de decoración y recubrimientos. Su uso representa una alternativa viable a materiales convencionales como la madera o el concreto, ofreciendo ventajas en términos de durabilidad además del aprovechamiento de residuos plásticos.

METODOLOGÍA

Para evaluar los impactos ambientales asociados a la fabricación del cscp, este estudio se apoya en la metodología de ACV y el software OpenLCA, herramienta que permite cuantificar los flujos de entrada y salida de materiales y energía a lo largo del ciclo de vida de un producto. Esta metodología resulta fundamental para identificar puntos críticos en términos de emisiones de GEI y consumos energéticos asociados a los materiales utilizados en la fabricación del concentrador (Aranda y Zalbaza, 2010).

Adicionalmente se implementó la tf como herramienta metodológica cualitativa, a fin de analizar los resultados generados a través del ACV y generar un modelo interpretativo basado en los impactos observados. Este proceso se desarrolló en cinco etapas: (1) recopilación de datos a través de la base de datos CML-IA Baseline, 2016 que ofrece OpenLCA; (2) codificación abierta, mediante la identificación de conceptos clave a partir de los datos cuantitativos; (3) codificación axial, donde se organizaron y

clasificaron los materiales; (4) codificación selectiva, permitiendo la construcción teórica y conceptual; y finalmente (5) a través de un modelo interpretativo coherente sobre los impactos se determinó un esquema de identificación de impactos y análisis de atención, ver Tabla 1. Resumen de fases y técnicas empleadas en la investigación.

Tabla 1

Resumen de fases y técnicas empleadas en la investigación

Fase	Método aplicado	Descripción	Resultado
1. Recopilación de datos	ACV (OpenLCA)	Bases de datos en OpenLCA	Identificación de base de datos para el tratamiento de la información requerida, es decir, la Base de datos CML-IA Baseline, 2016
2. Codificación abierta	Teoría fundamentada tf	Inventario detallado de componentes y materiales del cscp	Identificación de materiales clave
3. Codificación axial	Teoría fundamentada tf	Análisis de la participación porcentual de cada material respecto al peso total del cscp	Clasificación preliminar de impacto ambiental por material
4. Codificación selectiva	Teoría fundamentada tf + ACV	a) Interpretación de datos del ACV en OpenLCA b) Asignación de impactos a categorías específicas	Construcción teórica y conceptual
5. Modelo interpretativo	Teoría fundamentada tf + ACV	Cuantificación de impactos ambientales durante la fabricación del concentrador	Esquema de identificación de impactos y análisis de atención

Fuente: elaboración propia.

DESARROLLO

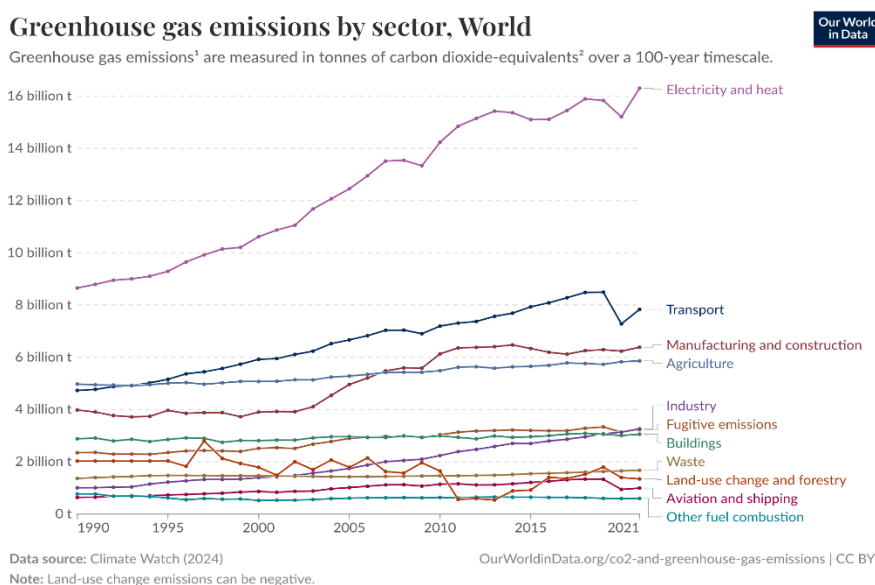
El cambio climático constituye una de las principales problemáticas ambientales contemporáneas, caracterizado por variaciones en las temperaturas promedio del planeta y modificaciones en los patrones climáticos (Molina et al., 2017; Uvidia, 2020). Este fenómeno intensifica la frecuencia y severidad de eventos extremos como olas de calor, sequías prolongadas y tormentas de alta intensidad. Aunque algunos de estos sucesos pueden tener causas naturales, existe amplio consenso científico en torno al carácter antropogénico del cambio climático, es decir, su estrecha vinculación con las actividades humanas, particularmente aquellas relacionadas con la emisión de gases de efecto invernadero [GEI] (Zaar, 2021).

El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Su concentración en la atmósfera ha aumentado considerablemente desde la Revolución Industrial, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y calor (32%), el transporte (16%), la manufactura y construcción (13%) y, en menor proporción, la industria (6%), según datos correspondientes al año 2025. Este comportamiento refleja la fuerte dependencia del modelo económico mundial actual respecto a fuentes energéticas no renovables, impulsado por patrones de consumo que privilegian el crecimiento económico por encima de los límites ecológicos del planeta (Our World in Data [OWD], 2025).

El gráfico 1, presenta la distribución de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero por sector, ilustrando el impacto desproporcionado entre sectores ante en la crisis climática.

Gráfico 1

Emisiones anuales de CO2 en el mundo por sector

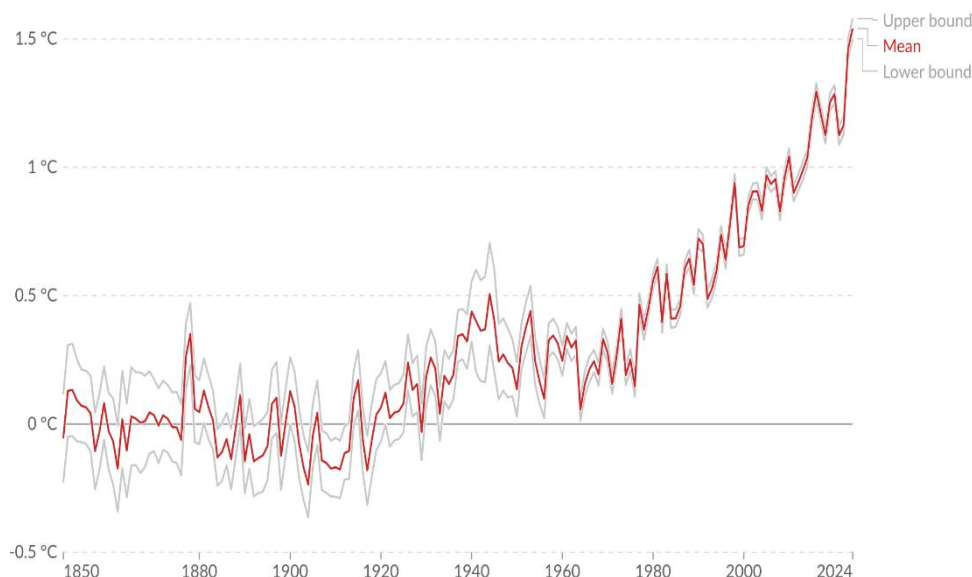


Fuente: (Our World Data [OWD], 2025). De acuerdo a los datos mostrados en el gráfico 1, se observa que el sector de la industria se encuentra entre los cinco sectores con mayores impactos ambientales en términos de emisiones de GHG (GEI, por sus siglas en inglés). No obstante, es fundamental considerar que su contribución al cambio climático no se limita únicamente a las emisiones directas, sino que también incluye un alto consumo de electricidad y calor, los cuales suelen generarse a partir de fuentes fósiles. Este escenario refuerza la necesidad de adoptar tecnologías limpias dentro de los procesos industriales, especialmente en los sectores de manufactura y construcción.

Por otra parte, los registros históricos de anomalía de la temperatura promedio del planeta muestran una tendencia creciente directamente correlacionada con el incremento sostenido de las emisiones globales de dióxido de carbono. Esta relación positiva entre ambos indicadores —temperatura y concentración de GHG, específicamente CO₂— evidencia con claridad la influencia de las actividades humanas en el calentamiento global, y subraya la urgencia de reducir las emisiones asociadas a los sistemas de producción, ver gráfico 2.

Gráfico 2

Anomalías de temperatura anual en relación con el período preindustrial



Fuente: (Our World Data [OWDb], 2025).

Desde mediados del siglo XX, tras la Segunda Guerra Mundial, los plásticos han sido incorporados en una amplia gama de aplicaciones en la vida cotidiana: desde la industria textil y automotriz hasta el embalaje de alimentos y materiales eléctricos. Esta versatilidad ha convertido a los plásticos en insumos esenciales para múltiples sectores productivos. Sin embargo, su dependencia de fuentes energéticas fósiles tanto en la síntesis como en el procesamiento ha generado importantes impactos negativos en la salud humana, en la calidad de ecosistemas y en el agotamiento de recursos. Si bien es innegable que su uso ha facilitado innumerables procesos, también es incuestionable su huella ambiental, ya que aproximadamente el 99 % de los plásticos proviene de recursos fósiles (Espinosa y García, 2021). A esto se suma la emisión de GEI como el metano (CH_4) y etileno (C_2H_4) durante su degradación por exposición solar, contribuyendo al agravamiento del cambio climático (Royer et al., 2018).

Ante este panorama, se vuelve imperativo buscar alternativas tecnológicas con menor impacto ambiental, que permitan disociar el desarrollo económico del deterioro ecológico. En este contexto, los termoplásticos representan aproximadamente el 80 % de la producción global de plásticos, con un valor económico estimado en 1 billón de dólares anuales, equivalente al 5 % del valor total de mercancías a nivel mundial (Barrowclough et al., 2020). Sin embargo, a pesar de su relevancia, los niveles de reciclaje son bajos; en el caso del PEAD, los porcentajes de reciclaje son aún menores y varían según la región (Geyer et al., 2017; Bataineh, 2020).

Actualmente hay propuestas para extender la vida útil de estos materiales, la mayoría de las tecnologías actuales siguen dependiendo de fuentes fósiles para su funcionamiento. Frente a este desafío, se plantea el uso de un cscp como una solución innovadora y sostenible. Esta tecnología se basa en los principios de los concentradores de canal parabólico (CCP), los cuales emplean espejos parabólicos para concentrar la radiación solar sobre una línea focal. En dicho foco se coloca un tubo receptor por el que circula un fluido térmico —como agua, aceite térmico o sales fundidas— que

absorbe y transporta la energía térmica concentrada hacia diversas aplicaciones industriales (Cetina-Quiñones et al., 2017).

Los CCP han sido ampliamente utilizados en la generación de energía solar térmica, el calentamiento de fluidos industriales y la desalinización de agua (Kalogirou, 2004; Paredes, 2012; Ordaz, 2013; Venega, 2013; Cruz et al., 2013; Ajbar, 2019; Almaraz y Vitaliano, 2020). El cscp propuesto en este estudio retoma dicha tecnología, adaptándola al proceso de reciclado térmico de PEAD, representando una innovación tanto tecnológica como estrategia para el cuidado ambiental, al reducir la dependencia energética de fuentes fósiles en los procesos de valorización de residuos plásticos.

Premisas

En 2023 se presentó la primera fase de esta línea de investigación bajo el título Análisis teórico de impactos ambientales en la producción de polines a partir de PEAD (Brito et al., 2023), con el objetivo de explorar alternativas sostenibles a los materiales convencionales de construcción. En dicho estudio se compararon dos escenarios: (1) la producción de un polín de concreto armado empleando tecnología basada en energía fósil, y (2) la producción de un polín mediante tecnología renovable, utilizando energía solar como fuente principal. En ambos casos se utilizó la metodología de ACV, apoyada por el software OpenLCA (Green Delta, 2022), considerando únicamente los insumos involucrados en la etapa de manufactura.

Los resultados en esa primera fase del proyecto, evidenciaron la comparativa de ambos escenarios, constituyendo a la producción del polín mediante tecnología renovable (PET-ER) como una estrategia eficaz para la valorización de residuos plásticos, promoviendo la prolongación de la vida útil de los residuos. A partir de estos hallazgos, el presente estudio se enfoca en analizar con mayor profundidad el sistema de producción sustentado en la fabricación e instalación de un concentrador solar cilíndrico parabólico cscp, como base tecnológica para la transformación de PEAD reciclado en polines útiles para la construcción.

Objetivo

El objetivo de este estudio ha sido evaluar y analizar los impactos ambientales asociados a la fabricación de un cscp destinado a la producción de polines de PEAD reciclado. Para ello, se aplica la metodología de ACV, con énfasis en la cuantificación de GEI, específicamente el dióxido de carbono (CO₂) —ubicado en las categorías de impacto como Calentamiento global—, consumos energéticos, impactos en la salud humana, la calidad de ecosistemas y el agotamiento de recursos. Paralelamente, se recurre a la teoría fundamentada como enfoque cualitativo complementario para identificar, codificar y categorizar los impactos ambientales observados, generando un modelo interpretativo a partir de los resultados cuantitativos del ACV. Esta doble aproximación teórico-metodológica permite una comprensión integral de los procesos involucrados, así como una base sólida para la formulación de estrategias orientadas a la sostenibilidad y la economía circular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implementación de las fases:

Recopilación de datos

El ACV se aplicó de acuerdo con la norma ISO 14040 (2006), cuantificando emisiones y consumos energéticos asociados a los materiales utilizados en la fabricación del cscp. El análisis se ejecutó en el software OpenLCA, utilizando la Base de datos CML-IA Baseline, 2016 como fuente de inventarios, agrupados en categorías como: Agotamiento de fuentes fósiles (MJ), Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq), Calentamiento global (kg CO₂eq), entre otras.

Codificación abierta

Se elaboró un inventario detallado de los elementos y materiales empleados en la fabricación del cscp, identificando su composición y dimensiones. Las Figuras 1 y 2 muestran los componentes principales del sistema, mientras que en Tabla 2 se presentan detalles del código correspondiente a cada elemento, la Figura 3 presenta el cscp completamente ensamblado y listo para operación experimental.

Figura 1

Composición y elementos del concentrador solar cilíndrico parabólico cscp

Fuente: elaborado por el Arq. Santiago Jair González Ruíz y Arq. Edgar David Castrejón Román.

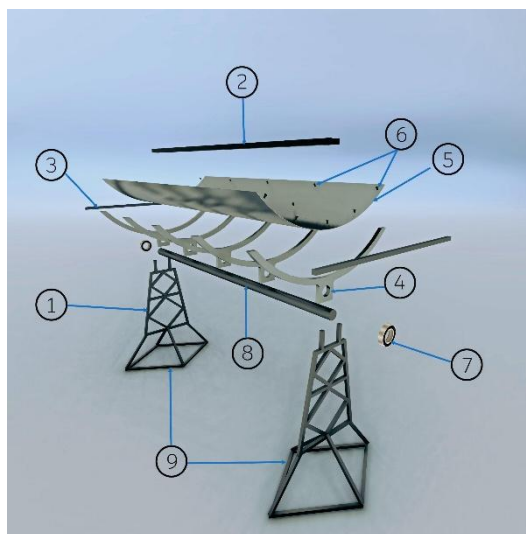


Figura 2

Composición y elementos del concentrador solar cilíndrico parabólico cscp



Fuente: elaborado por el Arq. Santiago Jair González Ruíz y Arq. Edgar David Castrejón Román.

Figura 3

Ensamblado de concentrador solar cilíndrico parabólico cscp.



Fuente: elaborado por el Arq. Santiago Jair González Ruíz y Arq. Edgar David Castrejón Román.

La Figura 4 presenta al cscp colocado en la zona experimental en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, CIICAp, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, UAEM.

Figura 4

Sistema del cscp montado en la superficie experimental



Fuente: elaborado por el Arq. Santiago Jair González Ruíz y Arq. Edgar David Castrejón Román.

Codificación axial

En esta etapa se identificaron los materiales con mayor participación porcentual en el peso total del cscp. Este análisis permitió establecer categorías preliminares de efecto, evidenciando que el Acero de baja aleación representa el material de mayor impacto potencial, seguido por el Aluminio, el Acero cromado y la Resina vinílica, como se presenta en la Tabla 2. Estas tendencias fueron verificadas posteriormente mediante el ACV.

Tabla 2

Elementos y componentes del concentrador solar cilíndrico parabólico cscp

Material	Elemento	Especificaciones	Código Figura 3a y 3b	Cantidad	Peso (kg) total		Participación (%)	
Acero baja aleación	Bases PTR	1 1/4" Calibre 14	1	2	27.770	43.570	41.90	65.74
	Tubular de colector	N2 Calibre 40	2	1	12.500		18.86	
	Extremos parábolas PTR	1 1/4" Calibre 14	3	2	03.300		04.98	
Aluminio	Parábola	Fundición aluminio	4	5	14.450	18.706	21.81	28.23
	Láminas alta reflectividad	–	5	4	04.240		06.40	
	Remaches	–	6	16	00.016		00.02	

Acero cromado	Rodamientos	6312-2RS, URB	7	2	01.180	2.693	01.78	04.06
	Poste metálico	Calibre 26	8	1	01.513		02.28	
Resina vinílica	Recubrimiento	Esmalte anticorrosivo	9	1	01.300	1.300	01.97	01.97
						66.269	100.00	

Fuente: elaboración propia.

Codificación selectiva

Una vez reunida la información pertinente, finalmente, se aplicó el ACV utilizando el software mencionado, permitiendo identificar así como también cuantificar los impactos generados durante la etapa de fabricación del cscp. Para ello se, se establecieron límites del sistema bajo un enfoque cuna a puerta (cradle-to-gate), es decir, se consideraron exclusivamente las etapas que comprenden desde la extracción y procesamiento de materias primas hasta la salida del producto terminado, excluyendo las fases de uso y disposición final del cscp.

Los resultados del análisis están directamente relacionados con la información de la Tabla 3, donde se detallan las contribuciones de cada material a las distintas categorías de impacto que ofrece la base de datos seleccionada.

Tabla 3

Impactos ambientales derivados del ACV en la etapa de fabricación del concentrador solar cilíndrico parabólico cscp

Categoría de impacto	Unidad de referencia	Acero baja aleación		Aluminio		Acero cromado		Resina vinílica		Totales	
		masa	%	masa	%	masa	%	masa	%	masa	%
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	0.010	50.00	0.010	50.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.020	100.00
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	0.520	58.43	0.280	31.46	0.060	6.74	0.030	3.37	0.890	100.00
Eutrofización	kg PO4-- eq	3.370	62.36	1.660	30.63	0.310	5.72	0.080	1.48	5.420	100.00
Acidificación	kg SO2 eq	4.380	43.20	4.470	43.98	0.890	8.78	0.400	3.94	10.140	100.00
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	20.070	75.62	3.240	12.21	3.160	11.91	0.070	0.26	26.540	100.00
Calentamiento Global	kg CO2 eq	935.925	45.61	918.358	44.75	163.727	7.98	34.093	1.66	2,052.103	100.00
Ecotox acuático de agua dulce	kg 1,4-DB eq	1,510.530	42.97	1,491.820	42.43	492.600	14.01	20.690	0.59	3,515.640	100.00
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	4,162.457	56.98	501.928	6.87	2,615.650	35.81	24.840	0.34	7,304.880	100.00
Agotamiento de fuentes fósiles	MJ	3,978.260	40.86	4,491.100	46.13	831.500	8.54	434.600	4.46	9,735.470	100.00

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del ACV evidencian la relación directa de los materiales con categorías específicas de impacto ambiental, permitiendo establecer correlaciones significativas entre material, uso y tipo de impacto ambiental, ver Tabla 4.

En particular, el Acero de baja aleación muestra una marcada contribución en categorías como Toxicidad humana (56.98%), Calentamiento Global (45.61%) y Agotamiento de fuentes fósiles (40.86%). Esta fuerte presencia en múltiples categorías sugiere que su ciclo de producción —desde la extracción minera, la fundición hasta el transporte y procesamiento— representa un vector concentrado de impactos ambientales intensivos.

Del mismo modo, el Aluminio, aunque ampliamente valorado por su ligereza y durabilidad, implica procesos de alta demanda energética, como la electrólisis en la producción de alúmina (IAI, 2023), explicando su alta participación en el Calentamiento Global (44.75%) y el Agotamiento de fuentes fósiles (46.13%). Este escenario coloca al Aluminio en una posición ambivalente: técnicamente eficiente, pero ambientalmente costoso.

En el extremo opuesto, materiales como la Resina vinílica y el Acero cromado, aunque menos prevalentes, impactan de forma específica en categorías como Oxidación fotoquímica y Ecotoxicidad acuática, vinculándose con emisiones de compuestos orgánicos volátiles además de la liberación de sustancias químicas (Hischier et. al., 2007) durante su vida útil o desecho.

Tabla 4

Materiales con mayor impacto

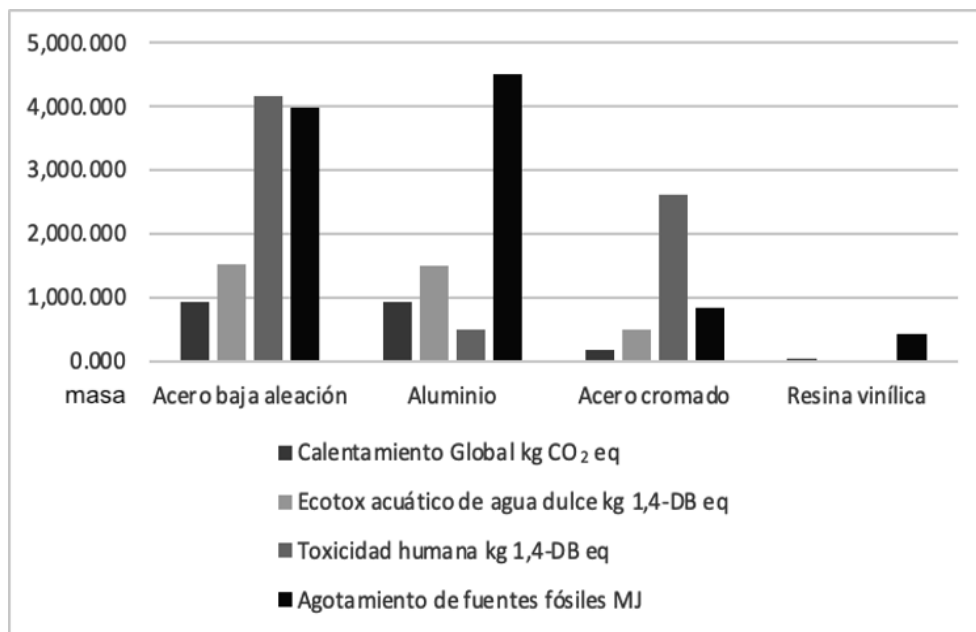
Acero de baja aleación	Aluminio
1. Presenta el mayor impacto en la mayoría de las categorías. 2. Contribuye significativamente a la Toxicidad humana (56.98%), el Calentamiento Global (45.61%) y el Agotamiento de fuentes fósiles (40.86%).	1. Tiene un impacto ambiental alto, especialmente en el Calentamiento Global (44.75%) y el Agotamiento de fuentes fósiles (46.13%).
Materiales con menor impacto	
Resina vinílica	Acero cromado
1. Contribuye solo con el 1.66% del impacto en el Calentamiento Global, pero podría generar otros efectos ambientales a largo plazo.	1. Su impacto es relevante en categorías como Toxicidad humana y Ecotox acuático de agua dulce

Fuente: elaboración propia.

El gráfico 3 ilustra la contribución de cada uno de los materiales utilizados en la fabricación del cscp en las categorías con un mayor y un menor impacto.

Gráfico 3

Desglose de categorías de impacto por participación de elementos del concentrador solar cilíndrico parabólico cscp



Fuente: elaboración propia.

Modelo interpretativo

La Figura 5 presenta un modelo interpretativo que sintetiza las relaciones causales entre los materiales evaluados, las categorías de impacto ambiental más relevantes, y la potencial mitigación de dichos impactos a través de la incorporación del PEAD reciclado en procesos industrializados basados en energía renovables.

Figura 5

Modelo interpretativo, relaciones causales-categorías de impacto-potencial de mitigación



Fuente: elaboración propia.

En el modelo se identifican tres niveles de análisis:

Materiales con alta carga ambiental: El Acero de baja aleación y el Aluminio concentran los mayores porcentajes de impacto en categorías críticas como Toxicidad humana, Calentamiento global y Agotamiento de fuentes fósiles, lo cual podría explicarse por su intensidad energética en extracción, procesamiento y transporte.

Categorías de impacto: Estas se agrupan en tres dimensiones:

- Agotamiento de recursos
- Calidad de ecosistemas
- Salud humana

Estrategia de mitigación: La adopción del PEAD reciclado, particularmente en aplicaciones no estructurales del concentrador, se propone como un insumo con menor huella ambiental que puede reducir la carga de impacto total, especialmente en la fase de operación del sistema. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, ya que promueve la valorización de residuos plásticos de un sólo uso postconsumo en procesos energéticamente eficientes.

Consideraciones generales

El Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la fabricación del concentrador solar cilindro parabólico permitió identificar que el Acero de baja aleación y el Aluminio son los materiales con mayor impacto ambiental. De las nueve categorías de impacto consideradas —Agotamiento abiótico, Oxidación fotoquímica, Eutrofización, Acidificación, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad acuático en agua dulce, Toxicidad humana, Agotamiento de fuentes fósiles y Calentamiento global—, estos dos materiales destacan especialmente en esta última. En efecto, contribuyen conjuntamente con más del 90 % de las emisiones de CO₂ eq, lo que subraya su papel central en la configuración de la huella de carbono del sistema evaluado.

En contraste con tecnologías convencionales, dependen de maquinaria industrial de gran escala y operan con un consumo energético continuo generadoras de emisiones constantes de GEI (Rivas-Cantos et al., 2024), el cscp representa una alternativa sostenible al integrar el aprovechamiento de energía solar en el reciclaje de plásticos, específicamente el planteado en esta investigación.

Entre las principales características de esta propuesta destacan:

Transición: El uso de energía solar concentrada se alinea con los principios de la economía circular, al fomentar procesos productivos con menor huella ambiental sin incrementar significativamente las emisiones durante la etapa de fabricación de PEAD.

Reducción: A diferencia de los sistemas tradicionales que requieren operación continua y alto consumo de energía fósil, el cscp aprovecha de manera eficiente la radiación solar, reduciendo tanto el consumo energético como las emisiones asociadas al consumo de recursos fósiles.

Optimización: El diseño del cscp permite prescindir de maquinaria pesada, lo que podría disminuir costos de operación, mantenimiento y mano de obra especializada.

Cierre de ciclo: La integración del reciclaje de PEAD con energía solar promueve un modelo circular al reutilizar plásticos de difícil manejo y reducir el impacto ambiental de su disposición final.

Desde una perspectiva práctica, la incorporación del cscp en la producción de polines de PEAD reciclado no solo amplía la vida de los residuos plásticos, sino que también abre oportunidades para el desarrollo de procesos sostenibles en sectores como la construcción y la industria.

No obstante, uno de los desafíos persistentes identificados es la dependencia de energía fósil en la obtención y transformación de los materiales base para la fabricación del cscp, lo que sigue representando una carga ambiental significativa. Si bien el cscp reduce el impacto durante la etapa operativa, su fabricación inicial sigue condicionada por prácticas industriales convencionales. En este sentido, futuras investigaciones podrían explorar alternativas como el uso de Acero reciclado, materiales compuestos o tecnologías de bajo impacto ambiental para la fabricación de sus componentes.

CONCLUSIÓN

Este estudio evaluó los impactos ambientales asociados a la fabricación de un cscp mediante un enfoque metodológico que integra el ACV y la teoría fundamentada. Los hallazgos indican que, aunque esta tecnología ofrece ventajas sustanciales en términos de sostenibilidad, su mayor potencial depende de la mejora en la selección de materiales y en los procesos de manufactura. Su implementación en el reciclaje de PET es una posible pauta hacia modelos productivos sostenibles y circulares.

REFERENCIAS

Ajbar, W. (2019). Sistema de concentradores solares de canal parabólico para la generación de calor de proceso: diseño, construcción y modelado matemático. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Recuperado de: <https://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/614/AAXWXS07T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diciembre de 2024.

Alevizos, V., Georgousis, I., y Kapodistria, A. (2023). Toward Climate Neutrality: A Comprehensive Overview of Sustainable Operations Management, Optimization, and Wastewater Treatment Methods. *Pollutants*, 3(4), pp. 521-543. DOI: 10.3390/pollutants3040036

Almaraz A., y Vitaliano, V. (2020). Análisis de eficiencia térmica del calentamiento solar de aire mediante un concentrador de canal parabólico como sistema auxiliar en el proceso de secado. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/500/Almaraz%20Almaraz%2c%20V.%20V.%20%282020%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Marzo de 2025.

Aranda Usón y Zalbaza Bribián, I. (2010). Ecodiseño y análisis de ciclo de vida (Serie Eficiencia Energética), (178), pp. 7-8. Pressas Universitarias de Zaragoza. ISBN: 978-84-92774-95-1.

Barrowclough, D., Deere, B., y Christen, J. (2020). United Nations Conference on Trade and Development. UNCTAD Research Paper No. 53. Recuperado de: https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2020d12_en.pdf. Marzo de 2025

Bataineh, K. M. (2020). Life-Cycle Assessment of Recycling Postconsumer High-Density Polyethylene and Polyethylene Terephthalate. *Advances in Civil Engineering*, 2020. DOI: 10.1155/2020/8905431

Brito R. J., Luna S. A., Hernández-Luna, G., J Romero, R., y García J. C. (2023). Análisis teórico de impactos ambientales en la producción de polines a partir de PEAD. *Tendencias en energías Renovables y Sustentabilidad*, 2(1), pp. 28–29. DOI: 10.56845/terys.v2i1.307

Cerdá, E., y Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), pp. 11-20. Recuperado de: <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>

Cetina-Quiñones, A., Bassam, A., Hernández-Chan, G., Benítez, J., Reyes, I., y Chávez, D. (2017). Modelación térmica de un colector solar de canal parabólico mediante el método de elementos finitos. *Ingeniería*, 21(1), pp.1-12. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46752305001.pdf>. Mayo de 2025.

Cramer, W., G. W. Yohe, M. Auffhammer, C. Huggel, U. Molau, M. A. Solow, D. A. Stone y L. Tibig. (2014). Detección y atribución de los impactos observados. En: *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos globales y sectoriales*, pp. 979-1037. DOI: 10.1017/CBO9781107415379.023

Cruz M., González G., Licona M., Castro G., y Ramírez G. (2013). Propuesta de un prototipo de concentrador solar para la destilación de mezcal en la región mixteca oaxaqueña. *TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 16(49), 13-21. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT. Recuperado de: <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/221>. Enero de 2025.

Espinosa A., y García F. (2021). *Amigos de la Tierra y Justicia Alimentaria. Plastívoros. La verdad sobre el ingrediente más tóxico de nuestra generación*. Madrid. Recuperado de

<https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Plastivoros-la-verdad-sobre-el-ingrediente-mas-toxico-de-nuestra-alimentacion>. Enero de 2025.

Geyer, R., Jambeck, J. R., y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782

Green Delta. (2022). Open LCA. <https://www.openlca.org/>. Marzo 2025

Hischier, R. Wager, P., y Eisenmenger, N. (2007). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Ecotoxicity and Human Toxicity (ecoinvent report No. 13, v2.0). Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

International Aluminum Institute. (2023). Recuperado de: <https://international-aluminium.org/> Mayo de 2025

Ioshikhes, B., Frank, M., y Weigold, M. (2024). A systematic review of expert systems for improving energy efficiency in the manufacturing industry. *Energies*, 17(19), pp. 4780. DOI: 10.3390/en17194780

Kalogirou, S. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), pp. 231-295. DOI: 10.1016/j.pecs.2004.02.001

Majid, M. y Kumar, C. (2020). Renewable energy for sustainable development in India: current status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), pp.1-36.

Molina, M., Sarukhán, J., y Carabias, J. (2017). El cambio climático: causas, efectos y soluciones. Fondo de Cultura Económica.

Naciones Unidas. (2022). Lo que necesitas saber sobre la resolución de contaminación plástica. Recuperado de: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/what-you-need-know-about-plastic-pollution-resolution>. Marzo de 2025

Ordaz F., A. (2013). Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en transición de fases (líquido-vapor) en un sistema de calentamiento solar de agua. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/78405>. Marzo de 2025

Our World in Data. (2025). Recuperado de: <https://ourworldindata.org/grapher/ghg-emissions-by-sector?showSelectionOnlyInTable=1> <https://ourworldindata.org/grapher/ghg-emissions-by-sector?showSelectionOnlyInTable=1>. Marzo de 2025

Our World in Data b. (2025). Recuperado de: <https://ourworldindata.org/grapher/temperature-anomaly>. Marzo de 2025.

Paredes V. (2012). Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: https://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf. Marzo de 2025.

Rivas-Cantos, E., Morejón, P., y San Andrés-Zevallos, G. (2024). Matriz de polímeros reciclados industriales, propuesta de aplicación en la construcción: Portoviejo y Medellín. *Revista San Gregorio*, 1(60), pp. 71–79. DOI: 10.36097/rsan.v1i60.2924

Royer S-J., Ferrón S., Wilson S.T., Karl D.M. (2018). Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PLoS ONE*13(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0200574

Uvidia Zambrano, K. Y. (2020). Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018 (Tesis de Licenciatura, Quito, 2020).

Venega Reyes, E. (2013). Diseño, construcción y evaluación de un arreglo de Concentradores de Canal Parabólico para Calor de Proceso. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000690840>. Enero de 2025.

Zaar, M. H. (2021). 250. Cambio climático antropogénico y decrecimiento. Ar@cne. Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales, 25. DOI:10.1344/ara2021.250.33232

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .