



**Implementación del Análisis de Ciclo de Vida en transformadores de energía: aplicaciones,
beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales**

Jenny Paola Cantillo Sepúlveda

Especialista en Gestión Ambiental

Asesora

Elizabeth Ocampo Montoya, Magíster (MSc) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	(Cantillo, 2023)
Referencia	Cantillo Sepúlveda, J. P. (2023). <i>Implementación del Análisis de Ciclo de Vida en transformadores de energía: aplicaciones, beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte II.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	6
1. Introducción	8
2. Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
3. Marco Teórico.....	10
4. Metodología	12
Proceso de investigación	12
Análisis de los resultados de Análisis de Ciclo de Vida	13
5. Resultados	14
6. Análisis de Resultados	17
7. Conclusiones	19
Bibliografía.....	21

Lista de tablas

Tabla 1. Huella de Carbono de Producto de 4 transformadores con diseño diferente16

Lista de figuras

Figura 1. <i>Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 1</i>	14
Figura 2. <i>Huella de Carbono de Producto Empresa 1</i>	15
Figura 3. <i>Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 2</i>	15
Figura 4. <i>Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 3</i>	15

Resumen

En este escrito, se busca presentar de manera detallada las aplicaciones, beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales derivados de la realización de un Análisis de Ciclo de Vida en la manufactura de transformadores de energía. Inicialmente, se realiza una investigación de casos de éxito de realización de Análisis de Ciclo de Vida en empresas dedicadas a la producción de transformadores de energía. Con esto, se realiza un análisis detallado de los resultados obtenidos por 3 empresas diferentes. A partir de este análisis, se definen con precisión las aplicaciones, beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales asociadas. Se destaca que las pérdidas de energía durante la etapa de uso del transformador en las 3 empresas constituyen el mayor impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de este producto. Con esto, es importante que las empresas del sector enfoquen esfuerzos en diseños que mejoren la eficiencia de los transformadores de energía y en lograr obtener materia prima amigable con el medio ambiente. Adicionalmente, se exploran beneficios y aplicaciones que podrían derivarse estas empresas al implementar el ACV, como el desarrollo y mejora del desempeño ambiental, cálculo de indicadores ambientales para identificar puntos críticos y la detección de oportunidades de mejora en el desempeño ambiental del producto en diferentes etapas del ciclo de vida.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, impacto ambiental, transformadores de energía.

Abstract

The purpose of this paper is to present in detail the applications, benefits and environmental impact mitigation strategies derived from a Life Cycle Assessment in the manufacture of power transformers. Initially, an investigation of successful cases of Life Cycle Assessment in companies dedicated to the production of power transformers is carried out. With this, a detailed analysis of the results obtained by 3 different companies is carried out. From this analysis, the applications, benefits and associated environmental impact mitigation strategies are precisely defined. It is highlighted that energy losses during the transformer use stage in the 3 companies constitute the greatest environmental impact throughout the life cycle of this product. Therefore, it is important that the companies in the sector focus their efforts on designs that improve the efficiency of energy transformers and on obtaining environmentally friendly raw materials. Additionally, the benefits and applications that these companies could derive from implementing the LCA are explored, such

as the development and improvement of environmental performance, calculation of environmental indicators to identify critical points and the detection of opportunities for improvement in the environmental performance of the product at different stages of the life cycle.

Keywords: Life Cycle Analysis, environmental impact, energy transformers.

1. Introducción

El siglo XXI ha sido testigo de una creciente preocupación global sobre el cambio climático, impulsada por el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La mayoría de los gases de efecto invernadero son de origen natural, pero en las últimas dos décadas, su concentración en la atmósfera ha aumentado debido a acciones humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, cambios en el uso de la tierra, producción ganadera, fertilización, manejo de desechos y procesos industriales (IPCC, 2019). En el año 2017, el CO₂ representó aproximadamente el 81,6% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en EE. UU. a raíz de las actividades del ser humano. La combustión de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel fue la fuente de emisiones de CO₂ más grande en ese año con aproximadamente el 34% del total de emisiones de CO₂ en EE. UU. y el 27,7% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en este mismo país (EPA, 2023).

Durante los últimos años, en el centro de la comunidad profesional del sector de la energía ha aumentado el interés por conocer y reducir el impacto ambiental provocado por la utilización de ciertos productos que hacen parte de toda la red de distribución, producción y uso de la energía, con el objetivo de promover la transición energética, utilizando la metodología del Análisis de ciclo de vida (ACV) u otras metodologías para la definición de los impactos ambientales. Los transformadores de energía, como cualquier producto de origen industrial, generan una serie de impactos ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida. Utilizando el método de ACV para identificar los puntos críticos de los equipos de las compañías eléctricas, y para la fabricación de equipos de transporte, instalación y mantenimiento durante la construcción de la futura red eléctrica, toda la cadena de equipos eléctricos está acelerando el proceso para ser más ecológico y de descarbonización (Gao, y otros, 2022)

El Análisis de Ciclo de Vida es la base metodológica de diferentes herramientas de gestión sostenible como la huella de carbono de productos y huella hídrica. En las últimas décadas se ha evidenciado la importancia de evaluar los impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida, lo cual ha aumentado el interés por el desarrollo de métodos y herramientas para comprender mejor la sostenibilidad ambiental del producto y tratar esos impactos. El Ciclo de Vida (CV) o Life Cycle (LC) de un producto considera todas las fases o etapas que intervienen en él,

desde su origen, abarcando la extracción y procesamiento de materias primas, seguido por la producción, transporte y distribución. Luego, incluye el uso, mantenimiento, posibilidad de reutilización, proceso de reciclaje y, finalmente, su disposición en vertedero al llegar al final de su vida útil (Eurofins, 2023).

Hay normas específicas disponibles para etiquetas y declaraciones medioambientales basadas en ACV. La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha clasificado las etiquetas medioambientales existentes en tres tipologías –tipos I, II y III– y ha especificado los principios y procedimientos preferentes para cada una de ellas. Una Declaración Ambiental de Producto (EPD), también conocida como declaración ambiental tipo III, es una herramienta estandarizada (ISO 14025) y basada en ACV para comunicar el desempeño ambiental de un producto (Schmincke, E., & Grahl, B., 2007). Las empresas productoras de transformadores de energía comúnmente realizan Análisis de Ciclo de Vida de sus productos para tener la declaración ambiental de producto, certificarse y lograr cumplir con lo exigido por sus clientes en temas contractuales. Estas empresas realizan sus Declaraciones Ambientales, un documento corto, en donde se especifica la unidad declarada, el límite de sistema que se evaluará, los impactos a modelar según la PRC, los limitantes y lo que se asumió, análisis del inventario, resultados generales del ACV, entre otros.

A lo largo de este escrito se pretende hacer una investigación de casos de éxito de realización de Análisis de Ciclo de Vida del Producto enfocado a empresas del sector energético que produzcan transformadores de energía. Con esto, lograr tener un análisis de los resultados que estas empresas obtuvieron al integrar esta metodología a sus productos y realizar una comparación para llegar a conclusiones generales de impactos ambientales en este sector industrial. Teniendo en cuenta lo obtenido anteriormente, se busca definir esas aplicaciones, beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales derivados del Análisis de Ciclo de Vida que las empresas fabricantes de transformadores de energía pueden optar para tener una mejor sostenibilidad ambiental en su cadena de valor.

2. Objetivos

Objetivo General

Presentar de manera detallada las aplicaciones, beneficios y estrategias de mitigación de impactos ambientales derivados del Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la fabricación de transformadores de energía.

Objetivos Específicos

- Identificar las posibles aplicaciones del Análisis de Ciclo de Vida en la fabricación de transformadores de energía a partir de la literatura y experiencia personal.
- Analizar de manera detallada los beneficios derivados del uso del ACV para los transformadores de energía, enfocándose en la toma de decisiones informada, la optimización de procesos y la reducción de impactos ambientales.
- Investigar casos reales o ejemplos de cómo el ACV ha sido implementado exitosamente en la fabricación de transformadores de energía, destacando los resultados y mejoras logradas.
- Detallar estrategias específicas basadas en los resultados del ACV para reducir impactos ambientales

3. Marco Teórico

El Análisis de Ciclo de Vida puede mostrar los impactos ambientales que se generan desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este concepto se basa en la idea de que los productos no solo tienen un impacto ambiental directo durante su uso, sino también a través de todas las etapas de su producción, transporte, distribución y eliminación. Las fases del análisis del ciclo de vida, definidas por las normas ISO 14040 y 14044, constan de cuatro etapas. En la primera fase, se establecen los objetivos y el alcance, determinando qué aspectos se evaluarán, el método utilizado y la profundidad del análisis. Por ejemplo, al examinar el ACV de una camiseta con el objetivo de hacerla más sostenible, se analiza su impacto ambiental desde la producción hasta su disposición, considerando factores como el transporte. La segunda fase, el análisis del inventario, implica la recopilación de datos sobre las contribuciones y el impacto del producto o servicio, abarcando materias primas, energía, consumo de agua y emisiones ambientales. Esta etapa puede

ser compleja y requiere especialistas familiarizados con normativas y estándares. La tercera fase, evaluación del impacto ambiental, implica la evaluación de los resultados utilizando métodos y métricas claras, como la huella de carbono, eutrofización o acidificación (Trazable, s.f.)

La primera evaluación de ciclo de vida se le atribuye a la empresa Coca Cola. En 1969, la Coca-Cola venía en botellas de vidrio individuales. Coca-Cola buscaba determinar si seguía usando envases de vidrio, ya que era un material natural y reciclable, o si se cambiaban a envases de plástico que también eran reciclables, además se podría reducir su peso para bajar los costos de transporte y producir en sus propias instalaciones. Para soportar esta decisión Coca-Cola (en EE. UU), encargó al Midwest Research Institute (MRI), en 1969 (según la fecha indicada en el informe, fue en 1970) un estudio con el objeto de determinar las cantidades de energía, materiales e impactos ambientales asociados al ciclo de vida de envases de diferentes materiales (metal, plástico y vidrio). El estudio reveló que los envases plásticos eran la mejor opción en cuanto a impactos ambientales, contrario a lo que todos (Darnay & Nuss, 1971). También sirvió como precedente a los análisis del perfil ambiental y de recursos (Resources and Environmental Profile Analysis, REPA) que se realizaron a partir de la década de los 70s, entre ellos el titulado “Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternatives: Final Report”, publicado en 1974 por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (Environmental Protection Agency, EPA). Este REPA evaluó los impactos ambientales de nueve envases de bebidas de refresco e hizo que esta metodología fuera conocida por más personas.

A nivel mundial, el pensamiento de ciclo de vida se ha implementado cada vez más en políticas en todo el mundo en las últimas tres décadas (Sonnemann , y otros, 2018). Con el tiempo, se desarrollaron algunos estudios para evaluar el nivel de implementación del ACV en las políticas, centrándose en algunos casos en casos específicos. El enfoque de ciclo de vida se ha aplicado en el desarrollo e implementación de políticas en varios países, incluidos los EE. UU. (a través de la Independencia Energética y Ley de Seguridad de 2007 (EPA , 2020), China (por ejemplo, promoviendo el uso de ACV en el diseño de productos) y Tailandia (implementando ACV para evaluar el Plan de Adquisiciones Verdes de Tailandia) (Sonnemann , y otros, 2018). México, Chile, Colombia y Brasil han utilizado el ACV en varias políticas, en un contexto de conciencia emergente

de los formuladores de políticas en estas economías emergentes (Sala, Amadei, Meylot, & Ardene, 2021)

Por otro lado, hace poco, se realizó la incorporación de la perspectiva de ciclo de vida en los Sistemas de Gestión Ambiental en las empresas, de acuerdo con la última versión ISO 14001:2015, respecto a las versiones anteriores, es ir más allá del tradicional enfoque de preocuparse por los problemas ambientales que ocurren sólo en las instalaciones de la fábrica. Gracias a esta nueva versión de la norma ISO 14001, a día de hoy las organizaciones deben determinar los aspectos ambientales y sus impactos ambientales asociados, también "aguas arriba" y "aguas abajo". Lo anterior quiere decir que para determinar los aspectos y los impactos ambientales que de ellos se deriven, la organización está obligada a considerar las etapas del ciclo de vida que pueden estar bajo su control o influencia, sin que esto signifique que tenga que realizar un ACV detallado (ISO 14001:2015).

4. Metodología

El presente escrito adopta un enfoque metodológico mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos para abordar de manera integral los objetivos planteados.

Proceso de investigación

Para obtener información integral y lograr identificar las mejores prácticas en cuanto a beneficios y mitigación de impactos ambientales en la fabricación de transformadores de energía, es necesario realizar una investigación exhaustiva. Este proceso implica explorar detalladamente casos de éxito de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicados por empresas especializadas en la fabricación de estos productos. La realización de un ACV proporciona una evaluación completa de los aspectos ambientales asociados a cada etapa del ciclo de vida del transformador, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

En este contexto, la investigación se centra en empresas que no solo han llevado a cabo el análisis de manera sistemática, sino que también han documentado y comunicado de manera transparente los resultados obtenidos en informes detallados. Acceder a estos informes no solo facilita la recopilación de datos cuantitativos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos y otros impactos ambientales, sino que también permite identificar las

estrategias y prácticas específicas que han llevado a estas empresas a destacar en términos de sostenibilidad ambiental en la fabricación de transformadores de energía. Este enfoque riguroso de investigación contribuirá significativamente a la fundamentación de recomendaciones prácticas y la promoción de mejores prácticas en la industria.

Análisis de los resultados de Análisis de Ciclo de Vida

Una vez recopilada la información resultante del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de diferentes empresas especializadas en la fabricación de transformadores de energía, se inicia una parte importante de la investigación que implica un análisis detenido y comparativo de estos resultados. Este proceso no se limita simplemente a la revisión superficial de los datos; más bien, implica una evaluación profunda de los puntos críticos identificados en cada etapa del ciclo de vida. Se busca no solo entender las diferencias cuantitativas entre los impactos ambientales de diversas empresas, sino también identificar patrones y tendencias recurrentes que podrían revelar prácticas óptimas y áreas de mejora comunes en la industria.

Al comparar los resultados del ACV, se presta especial atención a las categorías que se ven más afectadas durante el ciclo de vida de los transformadores de energía. Este enfoque permite discernir qué aspectos específicos del proceso de fabricación tienen un impacto más significativo en términos ambientales. Al destacar estos puntos críticos comunes entre las empresas, se sientan las bases para generar conclusiones más robustas y generalizadas sobre el ACV en la industria de transformadores de energía en su conjunto.

Definir aplicaciones, beneficios del ACV en transformadores de energía y establecer las estrategias de mitigación de impactos ambientales según la literatura y experiencia.

Finalmente, tomando en consideración el análisis exhaustivo de los resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y respaldados por la experiencia previa en procesos similares de modelación de ACV, se abre la oportunidad de definir con mayor precisión las aplicaciones más acertadas de esta metodología específica para las empresas dedicadas a la fabricación de transformadores de energía. Este proceso de definición no se limita simplemente a la identificación

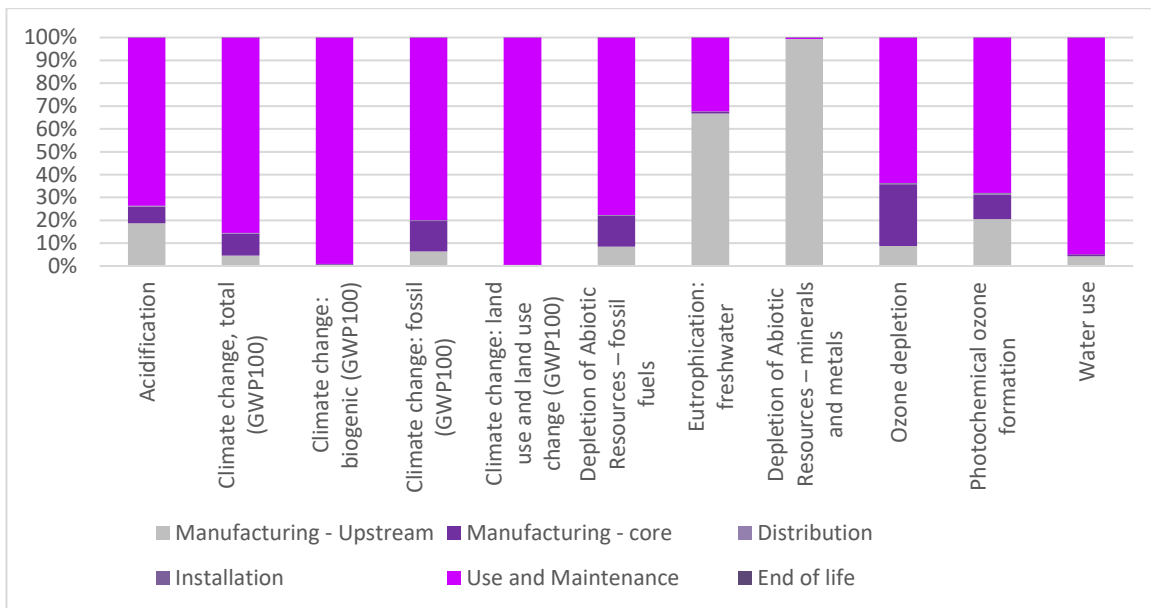
de áreas de impacto ambiental; también implica la evaluación de cómo el ACV puede integrarse de manera efectiva en las prácticas empresariales cotidianas.

Más allá de la mera cuantificación de impactos ambientales, el ACV puede servir como una herramienta estratégica para la toma de decisiones informadas. Al comprender los puntos críticos en la cadena de suministro y producción, las empresas pueden desarrollar estrategias específicas de mitigación. Estas estrategias no solo están enfocadas en la reducción de los impactos ambientales, sino también en la optimización de procesos, la eficiencia de recursos y la mejora general de la sostenibilidad operativa.

5. Resultados

Para obtener la información necesaria y cumplir con el objetivo general, se realizó la investigación de casos de éxito de Análisis de Ciclo de Vida de transformadores de energía de diferentes empresas. Se obtuvieron datos de los resultados de la modelación del Ciclo de Vida y se obtuvieron los siguientes resultados:

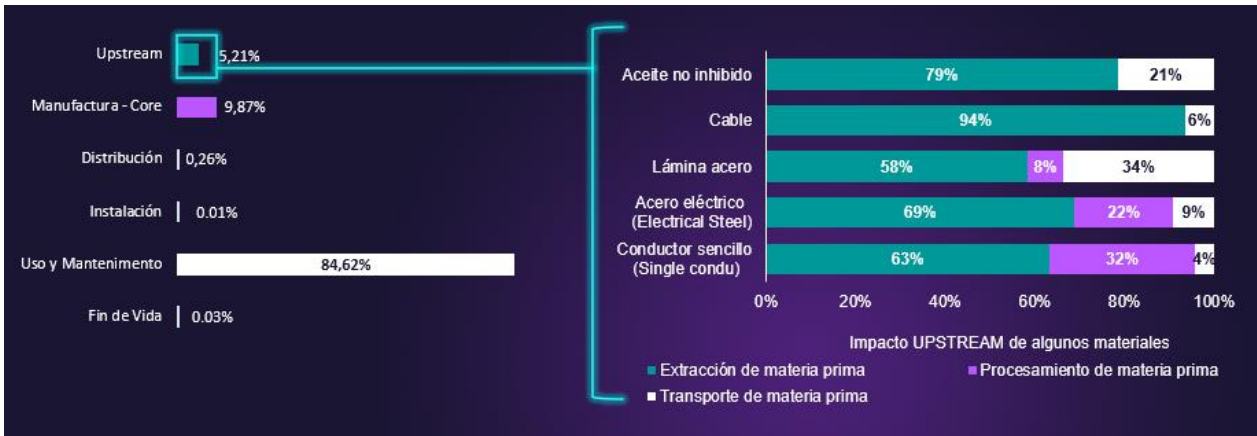
Figura 1.
Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 1



Nota. Fuente Datos Obtenidos de <https://www.epditaly.it/> Gráfica propia

Figura 2.

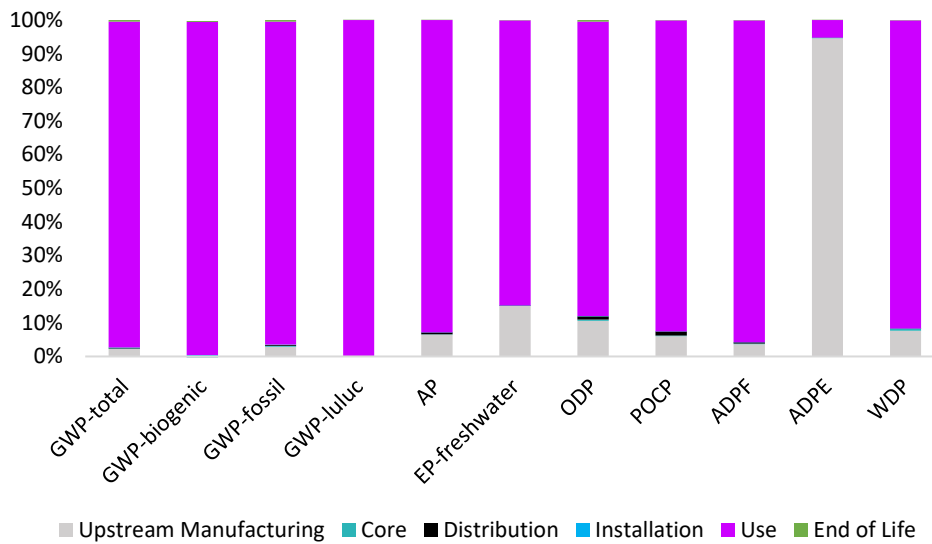
Huella de Carbono de Producto Empresa 1.



Nota. Fuente Datos Obtenidos de <https://www.epditaly.it/>

Figura 3.

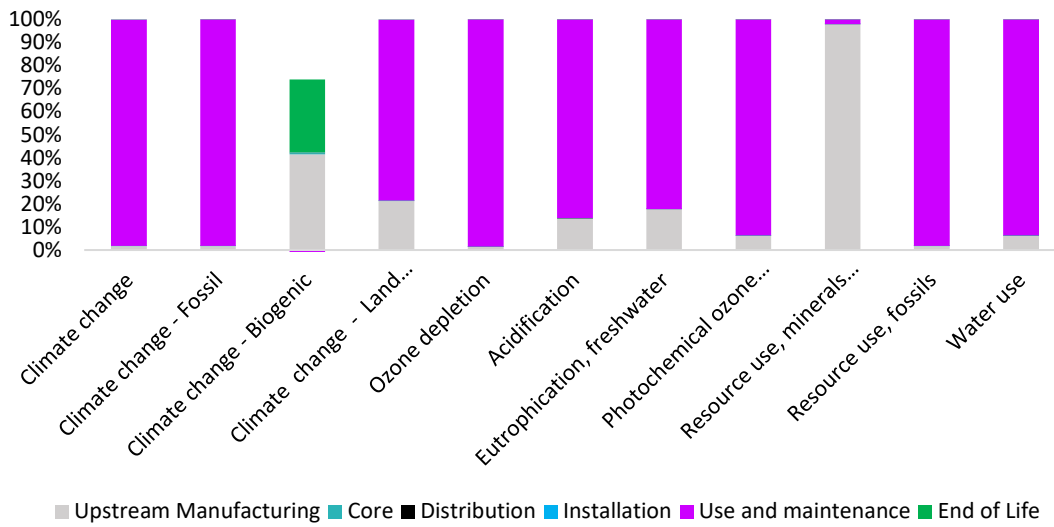
Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 2



Nota. Fuente Datos Obtenidos de <https://www.epditaly.it/> Gráfica propia

Figura 4.

Resultado Análisis de Ciclo de Vida Empresa 3



Nota. Fuente Datos Obtenidos de <https://www.epditaly.it/> Gráfica propia

Además, se logró identificar la siguiente tabla que presenta una comparativa de resultados entre cuatro diseños de transformadores con distintos niveles de eficiencia.

Tabla 1.

Huella de Carbono de Producto de 4 transformadores con diseño diferente

Life Cycle Boundary	Life Time Carbon Footprint (Tons)			
	Design 1	Design 2	Design 3	Design 4
Raw Material production	10.343	11.386	13.485	13.256
Transport of Raw Materials	0.38	0.44	0.483	1.476
Manufacture of Components & Sub-assemblies	0.24	0.24	0.24	0.24
Transport of components & sub-assemblies	0.08	0.08	0.08	0.08
Manufacture of Product	0.45	0.45	0.45	0.45
Installation of product	0.06	0.06	0.06	0.06
Operation of product for 25 years	489.45	446.10	340.70	260.80
Disposal of product including recycling	-3.98	-6.043	-7.328	+352
Total Tons	497.022	452.713	348.89	276.714
%	100	91	70	56

Nota. Fuente <https://ieeexplore.ieee.org/document/9353301>

6. Análisis de Resultados

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, primero, es importante mencionar que las empresas de transformadores de energía han realizado Análisis de Ciclo de Vida de algunos de sus productos por solicitud del cliente. Es decir, en la parte de oferta del transformar, los clientes hoy en día están solicitando tener una Declaración Ambiental de Producto (EPD) de todos sus posibles proveedores para así poder comparar los resultados entre sí y ver a modo general cómo cada una de las empresas está impactando el medio ambiente a lo largo del Ciclo de Vida con el posible producto que se va a comprar. Sin embargo, estas empresas que fabrican transformadores no van más allá después de realizar el análisis y no conocen las aplicaciones y beneficios que trae realizar el modelado de análisis de ciclo de vida en sus productos.

Los fabricantes de transformadores de energía pueden emplear el Análisis de Ciclo de Vida no solo para desarrollar Declaraciones de Producto destinadas a sus clientes, sino también par

1. Calcular indicadores clave de sostenibilidad. Entre estos se incluyen la huella de carbono, que evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, así como la huella hídrica, que mide el consumo y la contaminación del agua asociados con la fabricación y uso de los transformadores. Estos indicadores no solo brindan una visión integral de los impactos ambientales, sino que también permiten a las empresas adoptar enfoques más holísticos hacia la sostenibilidad en la industria.
2. Identificar los aspectos ambientales más significativos de sus productos. Este enfoque permite adaptar el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) a la última versión de la norma ISO 14001:2015, que requiere un enfoque de ciclo de vida. Al alinear el SGA con los resultados del Análisis de Ciclo de Vida, las empresas pueden mejorar la eficacia de sus prácticas ambientales y cumplir con los requisitos normativos vigentes.
3. Impulsar el desarrollo y la mejora del desempeño ambiental y sostenible de sus productos. Este enfoque integral no solo proporciona información valiosa para la

comunicación externa, sino que también sirve como base para la optimización continua de prácticas ambientales en línea con los principios de sostenibilidad.

Estas empresas también deberían reconocer los beneficios inherentes al realizar un Análisis de Ciclo de Vida. Este proceso no solo respalda la toma de decisiones relacionadas con problemas ambientales internos, sino que también identifica oportunidades de mejora en el desempeño ambiental del producto a lo largo de su ciclo de vida. Además, el Análisis de Ciclo de Vida respalda estrategias de economía circular al proporcionar información detallada sobre la eficiencia de los recursos y las posibilidades de reciclaje. Asimismo, su implementación puede otorgar a las empresas una ventaja competitiva al destacar su compromiso con la sostenibilidad y la toma de decisiones informada, entre otros beneficios que fortalecen su posición en el mercado.

Por otro lado, estas empresas tienen la capacidad de llevar a cabo la implementación de estrategias de mitigación específicas en respuesta a los impactos ambientales cuantificados mediante el Análisis de Ciclo de Vida. Entre las estrategias potenciales que podrían ser consideradas se destaca la mejora en el diseño del transformador, orientada a la reducción de pérdidas energéticas. Este enfoque implica la revisión y optimización de los componentes y procesos de fabricación con el objetivo de maximizar la eficiencia energética, contribuyendo así a la disminución de los impactos ambientales asociados a las fases de uso del producto. La implementación de estrategias de este tipo no solo representa un paso proactivo hacia la sostenibilidad, sino que también puede generar beneficios adicionales, como la mejora en la eficiencia operativa y la satisfacción de los clientes que valoran productos ecoeficientes.

Además, otra estrategia que podría implementarse consiste en optar por la adquisición de materia prima reciclada o reutilizada. Esta medida no solo contribuiría a reducir la demanda de recursos naturales, sino que también respaldaría los principios de la economía circular al dar nueva vida a materiales previamente utilizados. Al adoptar esta práctica, las empresas no solo están directamente abordando los impactos ambientales asociados con la extracción de materias primas, sino que también refuerzan su compromiso con la sostenibilidad y fomentan prácticas responsables en toda la cadena de suministro. También, la empresa puede asegurar la utilización de energía proveniente de fuentes renovables durante el proceso de producción, respaldándose, por ejemplo,

mediante la adquisición de certificados I-REC's (International Renewable Energy Certificates). Esta medida no solo contribuiría a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la generación de energía, sino que también promovería activamente el uso sostenible de recursos naturales y respaldaría la transición hacia prácticas más ecoeficientes. Comparando el GWP de las 3 empresas, se evidencia un valor mucho más bajo en la empresa 1 pues es la única que utiliza energía renovable en su producción.

Finalmente, otra estrategia muy importante que deberían aplicar es establecer una cadena de suministro sostenible, en la cual se seleccione cuidadosamente materiales y materias primas con el menor impacto ambiental posible. Un ejemplo ilustrativo de esta práctica sería la preferencia por el uso de aceite vegetal en lugar de aceite mineral, lo que no solo apunta a reducir los impactos ambientales asociados con la extracción y procesamiento de materias primas, sino que también promueve la adopción de alternativas más sostenibles a lo largo de la cadena de suministro.

7. Conclusiones

Concluyendo, se destaca la necesidad de que las empresas fabricantes de transformadores de energía adopten una perspectiva renovada hacia el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Este enfoque va más allá de una mera herramienta de evaluación ambiental; se presenta como una herramienta estratégica que puede aportar beneficios significativos a nivel operativo y sostenible. Al comprender las aplicaciones concretas del ACV, las empresas pueden no solo identificar y abordar áreas críticas de impacto ambiental, sino también capitalizar beneficios tangibles, como la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia operativa y el fortalecimiento de su imagen empresarial como actores comprometidos con la sostenibilidad.

Al adoptar una perspectiva más amplia, las empresas pueden utilizar los resultados del ACV para guiar decisiones estratégicas informadas. La capacidad de desarrollar estrategias de mitigación personalizadas, basadas en datos concretos proporcionados por el ACV, se convierte en un diferenciador clave en un mundo empresarial cada vez más enfocado en la sostenibilidad. Este cambio de perspectiva no solo responde a las demandas crecientes de responsabilidad ambiental, sino que también coloca a las empresas en una posición proactiva para liderar la transformación

hacia prácticas más sostenibles en la industria de fabricación de transformadores de energía. En resumen, el Análisis de Ciclo de Vida no solo es una herramienta técnica, sino un facilitador estratégico esencial para el éxito a largo plazo y la sostenibilidad de estas empresas en un entorno empresarial dinámico y cada vez más centrado en la responsabilidad ambiental.

Bibliografía

- CHINT. (2023). *Environmental Product Declaration Power Transformer SFZ-40000/115-111087*.
- Darnay, A., & Nuss, G. (1971). *Environmental Impacts of Coca.-Cola Beverage Containers*.
- Dormer, A., Finn, D., Ward, P., & Cullen, J. (Julio de 2013). Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. *ELSEVIER*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261300019X>
- EPA . (2020). *The Energy Independence and Security Act*. Obtenido de <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-independence-and-security-act>
- EPA. (7 de Junio de 2023). *EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Eurofins*. (2023). Obtenido de <https://www.eurofins-environment.es/es/analisis-de-ciclo-de-vida-que-es/>
- Gao, M., Fu, M., Zhuo, R., Jia, L., La, Y., & Zhong , L. (2022). *Carbon Footprint of Power Transformer by Life Cycle Assessment*. Guangzhou.
- He, B., Qian, S., & Li, T. (Mayo de 2023). Modeling product carbon footprint for manufacturing process. *ELSEVIER*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623009630>
- IPCC, G. I. (2019). *Calentamiento Global de 1.5°C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf
- ISO 14067:2018. (s.f.). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>.
- Krishnan, R., & Nair, K. (2019). *Carbon Footprint of Transformer and the Potential for Reduction of CO2 Emissions*.
- Sala, S., Amadei, A., Meylot, A., & Ardene, F. (2021). *The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01893-2#ref-CR123>
- Schmincke, E., & Grahl, B. (2007). *The part of LCA in ISO type III environmental declarations. International Journal of Life Cycle Assessment,*.
- Schryver, A., & Zampori, L. (31 de Enero de 2022). *Pre-sustainability*. Obtenido de <https://pre-sustainability.com/articles/product-carbon-footprint-standards-which-standard-to->

