

5

**Análisis del ciclo de vida como herramienta para la
evaluación del comportamiento ambiental de un proceso.
Caso de estudio central eléctrica de fuel oil 110 kv en la
provincia de Granma – Cuba.**

Edilberto Llanes Cedeño

*Recibido: febrero 2017
Aprobado: mayo 2017*

Análisis del ciclo de vida como herramienta para la evaluación del comportamiento ambiental de un proceso. Caso de estudio central eléctrica de fuel oil 110 kv en la provincia de Granma - Cuba

Life cycle assessment as a tool for the evaluation of the environmental behavior of a process. Case of study electrical central of fuel oil 110 kv in the province of Granma - Cuba

Edilberto Llanes Cedeño
Universidad Internacional SEK
email: antonio.llanes@uisek.edu.ec

Resumen

Los procesos de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles son fuentes de contaminación ambiental, siendo una preocupación actual de los países en desarrollo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto ambiental de la generación distribuida de electricidad en una central de 110 kV por medio del Análisis del Ciclo de Vida para la determinación de mejoras en el proceso. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se realiza de acuerdo con los requisitos establecidos en la NC ISO 14040: 2009, utilizando el Eco-indicador 99 del software Sima Pro 7.1. Los impactos ambientales se evalúan a partir de un análisis de inventario en cada una de las etapas del proceso, contabilizando las entradas y salidas de materias primas, energía y emisiones al aire, agua y suelo, para lo cual se realiza un diagrama de flujo del proceso. A partir del análisis de los flujos, se determinó que los parámetros condenatorios en el caso de los efluentes, sólo se cumple para el pH y la conductividad eléctrica, en el caso de las emisiones al aire se viola con el NO₂ y SO₂. Los resultados muestran que la etapa de mayor contribución se concentra en el área de generación y los productos más agresivos al ambiente son el consumo de fuel oil (80 % para la salud humana, 53 % para el ecosistema y para los recursos naturales 95 %) y el producto residual de la limpieza de los materiales de explotación (en el caso del ecosistema 35 %).

Palabras claves: análisis del ciclo de vida (ACV), generación distribuida de electricidad, impacto ambiental

Abstract

The electricity generation process from fossil fuels its source of environmental pollution, being a current concern at developing countries. The objective of the present work was to evaluate the environmental impact of the distributed electricity generation in a 110-kV oil fuel power station using the Life Cycle Assessment method to determinate improvements in the process. The Life Cycle Assessment (LCA) was perform according to the requirements established in the NC ISO 14040: 2009, using Eco-indicator 99 with software Sima Pro 7.1. The environmental impacts were evaluate starting from an inventory analysis in each stage of the process, accounting the inputs and outputs of raw materials, energy and emissions to the air, water and soil; a flow diagram of the process was generated for the assessment. From the analysis of the flows, it was determined that the condemnatory parameters in the case of effluents, is only met for the pH and electrical conductivity, in the case of air emissions is violated with on the NO₂ and SO₂. The results, show that the stage with the greatest contribution is concentrated in the generation area, and the most aggressive products to the environment are the consumption of fuel oil (human health 80 %, ecosystem 53 % and natural resources 95 %) and the residual product of the cleaning of the exploitation materials (35 % in the case of the ecosystem).

Keywords: life cycle assessment (LCA), distributed generation of electricity, environmental impact

1. Introducción

En la actualidad el problema ambiental, agravado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases contaminantes (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y los clorofluorocarbonos), reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la realización de acciones y toma de medidas urgentes [1, 2]. El ambiente, se considera como un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales. Esta interpretación por su contenido explica que su estudio, tratamiento y manejo, debe caracterizarse por la integralidad y el vínculo con los procesos de desarrollo.

Para frenar el deterioro del ambiente es necesario desarrollar combustibles alternativos, sustituir tecnologías ineficientes, intensificar el uso de fuentes alternativas de energía y aplicar la eficiencia energética; todo esto para reducir el impacto de los productos, no solo en su producción o en su eliminación, sino en todas y cada una de las fases por las que el producto cumple su ciclo de vida (extracción de la materia prima, fabricación, distribución, consumo del producto y gestión de los residuos) [2].

Una de las herramientas es el ACV, que permite establecer estrategias de mercado y planear actividades preventivas concretas para la aplicación de una producción más limpia en la industria [3, 4, 5]. Autores como Young [6], han obtenido hasta un 10 % de mejoras en los cálculos de los efectos ambientales con la utilización del ACV en comparación con los métodos simples de valoración.

Cuba, que no es un país desarrollado ni cuenta con un alto desarrollo industrial, lleva a cabo programas gubernamentales con vistas a realizar acciones para la mejora energética en el ámbito productivo y social, se realizan inversiones económicas en las ramas de la industria, transporte y en los servicios.

En los últimos años el país se proyecta en realizar mejoras en el Ministerio de Industria Básica (MINBAS), fundamentalmente en la rama de generación distribuida de energía eléctrica. La adquisición de nuevas tecnologías más eficientes que las termoeléctricas están siendo implementadas, pero estas, sin un diagnóstico diario sobre el correcto funcionamiento, no se podrán obtener los resultados esperados.

En los años setenta, factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y de demanda eléctrica (alta tasa de crecimiento) a nivel mundial, plantearon la necesidad de alternativas tecnológicas para asegurar, por un lado, el suministro oportuno y de calidad de la energía eléctrica, y por el otro, el ahorro y uso eficiente de los recursos naturales. Una de estas alternativas tecnológicas es generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar del consumo. En Cuba, más del 50 % de la capacidad de generación eléctrica está basada en plantas generadoras distribuidas de

pequeña escala, las cuales en mayor escala utilizan los combustibles fósiles (*fuel oil* y diésel) para garantizar la energía eléctrica demandada por el sector industrial y residencial, agravando en su uso las afectaciones al ambiente.

Estas tecnologías han tenido un impacto positivo en el ambiente, tienen menores tasas de consumo específico (210 g/kWh), frente a las plantas termoeléctricas basadas en la quema de petróleo crudo (284 g/kWh en promedio). Sin embargo, la contaminación local (producción de ruido, emisiones de gases como los NO_x, SO₂, partículas de muy pequeño tamaño y contaminación de las aguas fluviales) es un problema cuya solución está siendo estudiada.

Por lo anterior se presenta la problemática de ¿Cómo proponer mejoras ambientales en un proceso de generación distribuida de electricidad a partir del empleo de *fuel oil*?

Para solucionar la problemática, en el trabajo se plantea el objetivo de evaluar el impacto ambiental de la generación distribuida de electricidad en una central de *fuel oil* de 110 kV, mediante el Análisis del Ciclo de Vida para la determinación de mejoras en el proceso.

2. Materiales y Métodos

Para la implementación del ACV en un proceso, implica la consecución de cuatro etapas: definición del sistema (no es considerada una etapa, pero algunos autores la toman en cuenta), análisis del inventario, evaluación de impactos y evaluación de mejoras [7, 8, 9, 10].

Para su aplicación es necesario definir la unidad funcional y los procesos primarios y secundarios a considerar, afectando el análisis de inventario y las etapas subsecuentes.

Las variables de impactos son referenciadas a 11 categorías: combustibles fósiles, minerales, uso de la tierra, acidificación, ecotoxicidad, capa de ozono, radiación, cambio climático, respiración inorgánica, respiración orgánica y efectos carcinógenos, las cuales han sido tratadas por autores como Von Blotnitz [11] y Wardenaar [12].

Todos los análisis, valoraciones y sugerencias para la aplicación del ACV en motores de combustión interna (MCI) están en correspondencia con la norma cubana [13].

La investigación se desarrolló en un período de 3 meses (comprendido entre abril, mayo y junio de 2016). Se aplicaron los métodos empíricos (observación, medición de las emisiones gaseosas - líquidas y la experimentación al procesar la información y calcular las medias aritméticas de las emisiones entre los meses considerados.

La unidad funcional considerada en el estudio fue la producción de electricidad en Mega Watt (MW) mensual, esto responde a que los planes de producción se realizan y se cuantifican de forma mensual. En esta etapa del estudio se conoció el proceso, las operaciones unitarias que lo conforman y el flujo de materiales y energía existentes entre ellas.

Los elementos considerados en el ACV son:

- Incluir el proceso de transportación de las materias primas (aditivos, diésel, *fuel oil*, lubricante mineral, etc.) desde la comercializadora de derivados del petróleo (CUPET) hasta la Central.
- En el proceso de producción de energía eléctrica se tiene en cuenta el consumo de electricidad, agua y su tratamiento, diésel, lubricante mineral y *fuel oil* con su respectivo tratamiento y aditivos.
- Incluir los procesos de transportación utilizados en el tratamiento a los desechos líquidos resultantes (combustible residual).

Durante el estudio del ACV, en muchas ocasiones no se dispone de todos los datos o se desprecian los que no resultan significativos, menos del 2 % [14, 15].

2.1. Análisis del inventario

Para este análisis, como primer paso se llevó a cabo la preparación para la recopilación de los datos, posteriormente su compilación, validación y su relación con los procesos unitarios obtenidos por la empresa, proveedores, clientes y otros medios según modelo.

Durante el período de los 3 meses tomados como muestra para la investigación, se analizaron las emisiones producto de la combustión y efluentes, definiéndose si entre los meses existen diferencias significativas, para lo cual fue empleado el programa STATGRAPHICS Centurion XV (Trial versión 15.2.06, StatPoint Inc., USA). El criterio del peor mes fue tomado para ingresar en el ACV, como medida preventiva de que acciones de mejoras respondan a todos los periodos.

Para la determinación de los componentes en los gases de escape fue empleado el analizador de gases TELEGAN gas monitoring. “Tempest 100”, comparándose los valores obtenidos con los límites establecidos por la Unión Nacional Eléctrica y con la norma cubana de calidad del aire [16, 17].

Para el análisis de los desechos líquidos generados del proceso, se tomaron 6 muestras y se procesaron en el laboratorio de la propia entidad, corroborándose en el laboratorio de la Empresa de Recursos Hidráulicos, comparándola con los valores límites dados por la norma cubana [18].

2.2. Evaluación del impacto del ciclo de vida

Para la evaluación del impacto, se utiliza el software SimaPro 7.1, usando el método del Eco-indicador 99.

2.3. Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización

Se consideran para la selección, las categorías de impacto incluidas en el Eco-indicador 99 (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, carcinogénesis, respiración orgánica, respiración inorgánica, radiación ionizante, uso del terreno, acidificación/eutrofización, ecotoxicidad, agotamiento de combustible fósiles y agotamiento de minerales) las cuales son producto del consumo de materias primas, energía y desechos generados del proceso.

Estas categorías son resumidas en tres grandes grupos (daño a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos) de acuerdo a la asignación del software Simapro 7.1. Estas guardan estrecha relación con el caso de estudio, debido a los elementos tomados en cuenta en el análisis de inventario.

2.3.1. Clasificación. Se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado, lo cual representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos del sistema en estudio.

2.3.2. Caracterización. Se considera para la caracterización, el modelo a partir del cual el software Simapro 7.1 relaciona el inventario de ciclo de vida con los puntos centrales (Indicadores de categorías de impacto) y los puntos finales (categorías de daño). Las sustancias se agrupan teniendo en cuenta el análisis de su destino (aire, agua o suelo), exposición y análisis de consecuencia.

Según los análisis realizados se establecen los indicadores de categoría de impacto expresados en años de vida ajustados a la incapacidad (DALY, por su sigla en inglés), fracción potencialmente disipada en un área determinada durante cierto periodo de tiempo (PDF*m²), fracción potencialmente afectada en un área determinada durante cierto periodo de tiempo (PAF*m²) y energía excedente (MJ *surplus*).

2.3.3. Ponderación. En este caso se realiza la evaluación mediante el software profesional Sima Pro 7.1, el cual contiene esta metodología y ofrece múltiples variantes para la expresión de los resultados, tanto en forma gráfica como tabulada, posibilitando su exportación a otras aplicaciones.

2.4. Interpretación del ciclo de vida

En esta fase se analizan los resultados teniendo en cuenta los objetivos y alcance definidos, considerando el uso de técnicas como la verificación de integridad.

Se determina en qué fase del ciclo de vida se generan las principales cargas contaminantes, se

3.1.1. Balance de materiales, agua, energía y productos químicos. En la Tabla 1, se relaciona el inventario de las entradas de materiales, agua, energía y productos químicos, utilizados para la generación de electricidad en la central eléctrica en un mes. El balance

de estos productos permitirá conocer la distribución de cargas ambientales en el proceso.

Tabla 1. Inventario de materiales para la generación de electricidad en central de *fuel oil*

Flujos	Unidad	Cantidad	Observaciones
<i>Fuel oil</i> (generación)	T	2 433,03	Combustible fundamental para el funcionamiento de los MCI
Diésel (generación)	T	33,58	Empleado para los momentos de arranque y parada de los grupos electrógenos
Aceite motor	L	8 709	Lubricación y refrigeración del motor
Vapen 220	L	4	Aditivo utilizado en las calderas
Vapen 300	L	2,4	Aditivo utilizado en el tratamiento del agua
Hidróxido de Sodio	kg	2	Aditivo para el tratamiento del agua
Anti-Escalante VAPEN 230	L	15	Aditivo para el tratamiento del agua de refrigeración en el MCI
Electricidad consumida	MWh	325,877	Energía eléctrica consumida del SEN
Potencia eléctrica generada	MW	10 365 428	Potencia eléctrica generada por los grupos electrógenos
Agua tratada	kg	405	Refrigerar los motores y producir vapor en las calderas
Residual lodo	T	6,2	Residuo generado de la purificación del <i>fuel oil</i> y del aceite
Diésel transporte	T	2,47	Combustible empleado en la transportación del <i>fuel oil</i> , diésel y aceites materias primas necesarias en el proceso y en el traslado del residual lodo
Agua de desecho de la planta de tratamiento.	kg	405	Agua de desecho contiene mayor cantidad de sales, no contiene productos químicos
Agua residual de la trampa tecnológica.	kg	3 000	Se estiman que 3 000 kg se decanta, filtra y luego se vierte al terreno

3.1.2. Emisiones al aire. Las emisiones de gases contaminantes fueron determinadas mediante el analizador de gases TELEGAN, “Tempest 100”, mostrándose los resultados en la Figura 2.

Los mismos se determinaron sobre la base de 2,3 de exceso de aire, salida de los gases con una temperatura de 340 °C y 13 % de oxígeno.

Por los resultados obtenidos se determinó, según los parámetros condenatorios para motores *fuel oil*, que las

emisiones gaseosas se encuentran dentro de la norma [16], a excepción del NO₂ (653,5 ppm = 16,5 mg/m³) y SO₂ (321,4 = 11,3 mg/m³).

En la Figura 2, se verifica el comportamiento entre los meses de estudio, donde las diferencias significativas solo se presentan en el caso del NO₂ y SO₂ en el mes de junio con relación al resto de los meses, lo cual permite establecer como mes de referencia para la aplicación del ACV.

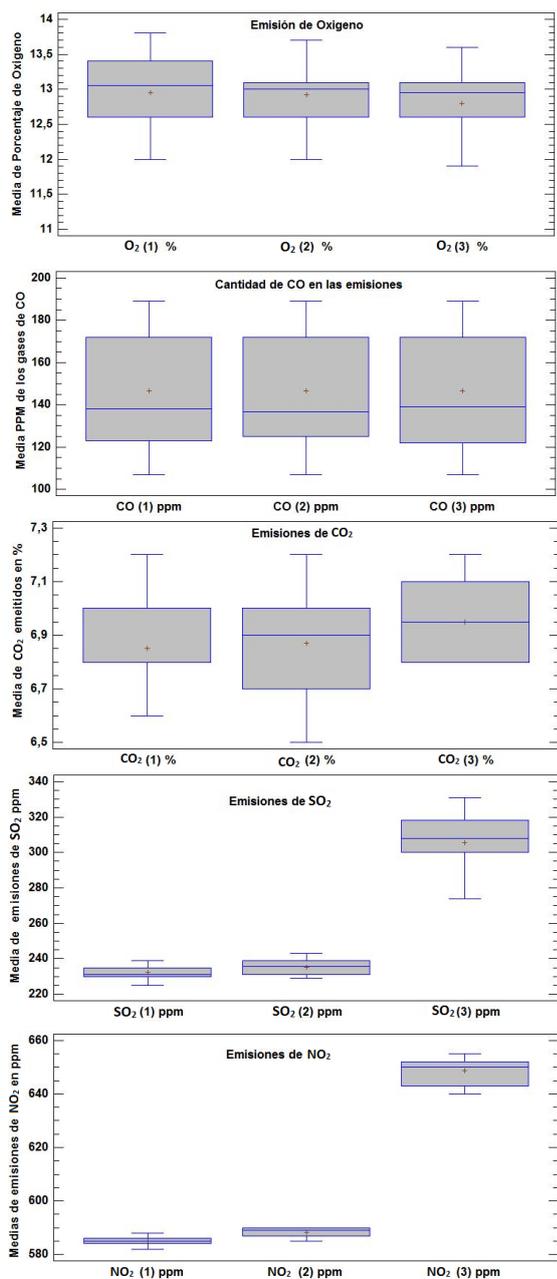


Figura 2. Rangos de medias de las respuestas observadas por meses.

3.1.3. Residuales líquidos. Se estimaron los residuales líquidos generados, 3 000 kg/mes teniendo en cuenta la cantidad de agua luego de ser decantada y procesada en la trampa tecnológica y sistemas de filtros.

Las aguas residuales generadas son de tipo industrial, provenientes de la limpieza de los equipos tecnológicos, de la instalación en general y las aguas de las precipitaciones. Los resultados del análisis de los residuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características físico química de las aguas residuales (27.4 °C)

Parámetro	Media de las mediciones
pH	6,76
CE (µS/cm)	650,00
ST (mg/L)	<u>706,25</u>
STS (mg/L)	<u>318,25</u>
STF (mg/L)	<u>387,83</u>
QO (mg/L)	<u>841,64</u>
G y A (mg/L)	<u>381,72</u>
HC (mg/L)	<u>271,22</u>

CE: Conductividad eléctrica, ST: Sólidos totales, STV: Sólidos totales suspendidos, STF: Sólidos filtrables, DQO: Demanda química de oxígeno, G y A: Grasas y aceites, HC: Hidrocarburos.

De acuerdo a lo establecido en la norma cubana [18], donde se establecen los límites máximos permisibles promedios (LMPP) para las descargas en los diferentes cuerpos receptores y teniendo en cuenta el valor medio de los resultados analíticos realizados al efluente (aguas oleosas) provenientes del proceso de centrifugado del *fuel oil* y aceite, cumple con los requisitos de calidad para su vertimiento en cualquier cuerpo receptor en los parámetros: pH (6 - 9) y conductividad eléctrica (CE < 4 000). No se cumple en los demás parámetros analizados para ningún cuerpo receptor. En la norma no se contempla el parámetro hidrocarburo (HC: petróleo y sus derivados) porque está prohibido su vertimiento a cualquier cuerpo receptor.

3.2. Evaluación del impacto del ciclo de vida

3.2.1. Caracterización. En la Figura 3, se muestra la caracterización del proceso de generación de electricidad a partir de datos asignados a cada categoría de impacto, observando que todas las categorías tienen valores positivos (perjudiciales) para el ambiente. Estas categorías están asociadas a las emisiones al aire, al agua y al suelo, de compuestos inorgánicos, orgánicos, metales, etc.; principalmente óxido de nitrógeno, partículas en suspensión, dióxido de azufre, dióxido de carbono, etc.

Los problemas ambientales objetos de estudio se ven afectados de forma general por el uso de combustible fósiles (*fuel oil*) y a la generación de residuales líquidos (residuales producto de la limpieza de los materiales de explotación) en el caso específico del problema ambiental uso del suelo, coincidiendo con los resultados obtenidos por Rodríguez [19], donde se realiza una comparativa del impacto ambiental entre varias centrales eléctricas alimentadas con varios combustibles para 1MWh de electricidad generado, obteniéndose para todos los casos que las categorías con mayor predominancia fueron el agotamiento de recurso, uso del agua y el calentamiento global, dado por el empleo de combustibles y aceites.

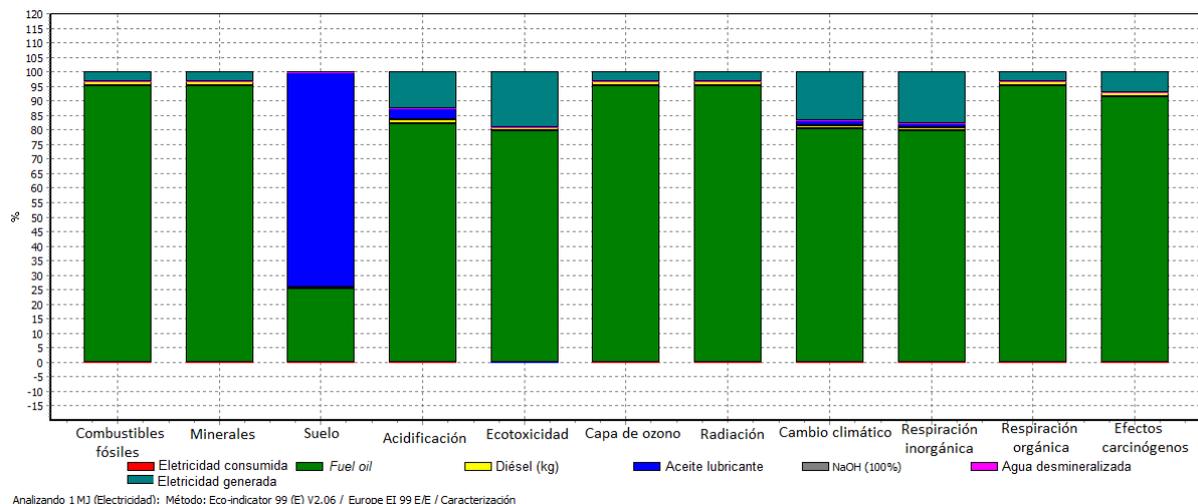


Figura 3. Caracterización de la generación de electricidad

3.2.2. Ponderación. Al analizar el impacto ambiental generado por el proceso productivo en la generación de electricidad teniendo en cuenta las diferentes categorías de impacto que presentan valores perjudiciales al ambiente, se observa que se encuentran con mayores contribuciones las categorías del uso de combustible fósiles, la respiración de compuestos inorgánicos, el uso del suelo, la acidificación/eutrofización, cambio climático y ecotoxicidad.

Los resultados obtenidos son producto del consumo de combustible *fuel oil* para la generación de energía eléctrica aumentando de esta manera las emisiones a la atmósfera, unido al consumo de diésel y aceites como materias primas principales para el proceso, y a la generación de residuales líquidos los que se vierten al suelo, afectando la flora, la fauna y la calidad del ecosistema. (Ver Figura 4)

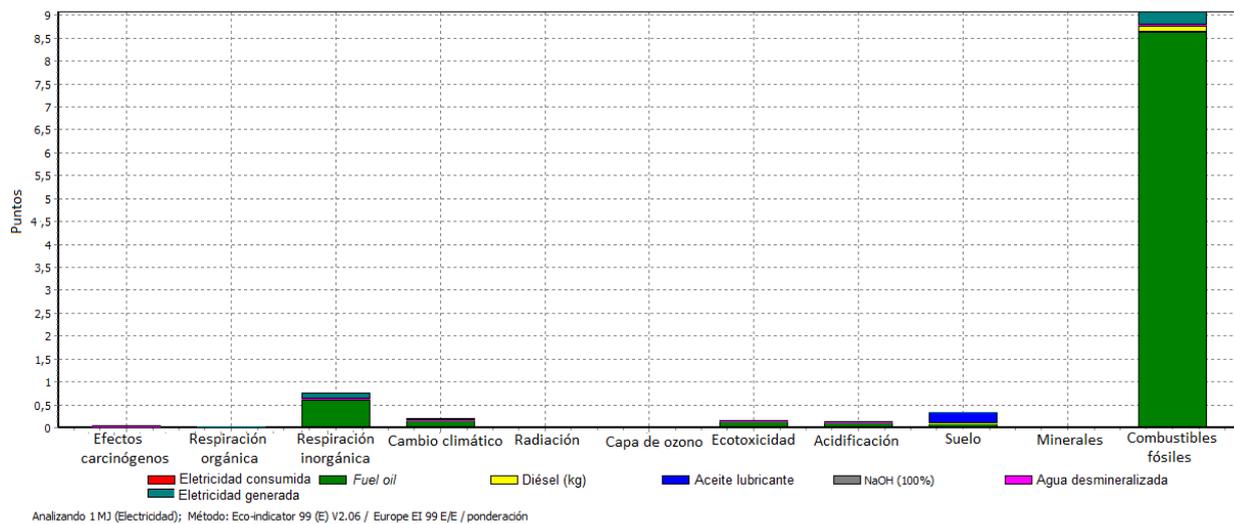
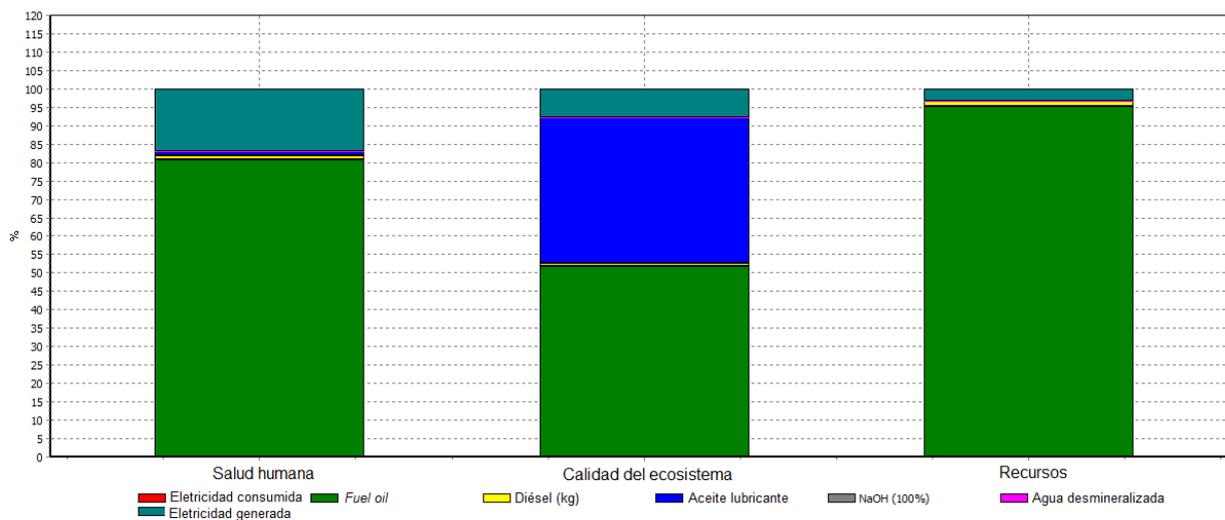


Figura 4. Ponderación del proceso de generación de electricidad

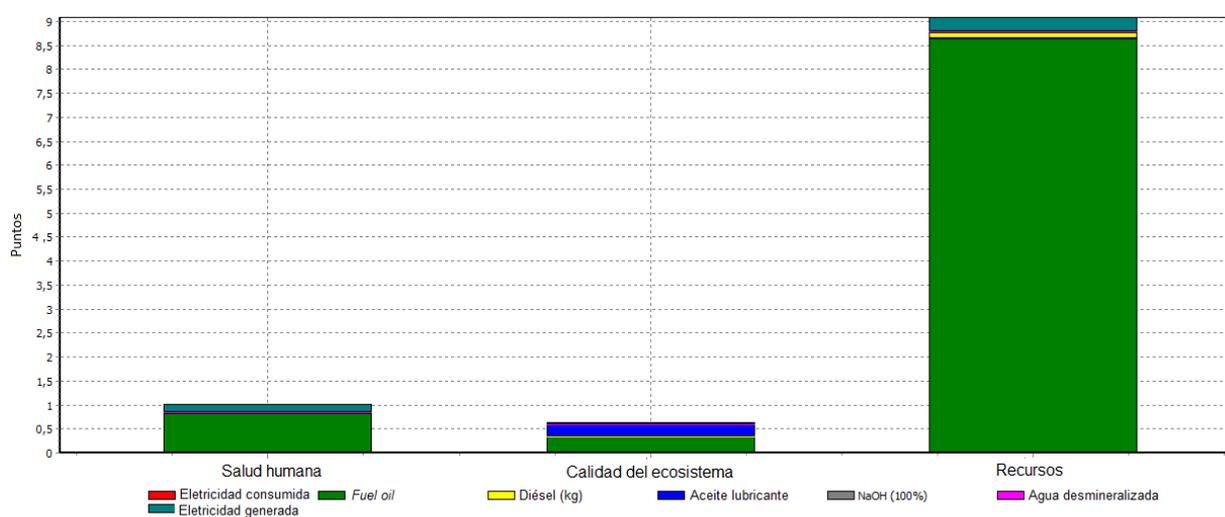
Las Figuras 5 y 6, muestran el impacto que produce el proceso de generación de electricidad a partir de centrales eléctricas *fuel oil* en las tres categorías de impacto (daño a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos), coincidiendo con los resultados obtenidos según Rodríguez [19].

En estos casos se reafirma como productos más agresivos al ambiente, el consumo de *fuel oil* (salud humana, ecosistema y los recursos naturales) y el desecho de los residuales provenientes de la limpieza de los materiales de explotación (en el caso del ecosistema).



Analizando 1 MJ (Electricidad); Método: Eco-indicator 99 (E) V2.06 / Europe EI 99 E/E / evaluación del daño

Figura 5. Evaluación ambiental en las tres categorías de impacto



Analizando 1 MJ (Electricidad); Método: Eco-indicator 99 (E) V2.06 / Europe EI 99 E/E / ponderación

Figura 6. Ponderación de las tres categorías de impacto

3.3. Interpretación del ciclo de vida

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación del impacto del ciclo de vida, se concluye, que la mayor parte de las cargas contaminantes que afectan a la flora, la fauna y la calidad del ecosistema urbano, están generadas en primer lugar por la emisión de gases contaminantes producto de la combustión en los MCI, y en segundo lugar a los residuales líquidos vertidos al suelo y agua.

4. Conclusiones

Los componentes NO_2 y SO_2 de los gases producto de la combustión de *fuel oil* no cumplen con la norma cubana NC 1020: 2014.

Los componentes de los residuales líquidos no cumplen con la norma cubana NC 27: 1999, a excepción del pH y la CE.

El consumo de *fuel oil* es el que más incide en las 11 categorías de impacto ambientales.

La emisión de residuales líquidos producto de la limpieza de los materiales de explotación influye de manera significativa al suelo.

La aplicación de la metodología del ACV permite conocer las áreas y flujos que más inciden en los impactos ambientales objeto de estudio y por consiguiente posibilita establecer medidas de mejoras para minimizar los daños al ambiente; en el estudio realizado están dirigidas sobre el consumo de *fuel oil* y el vertimiento de los residuales líquidos al suelo.

5. Recomendaciones

Con vistas a minimizar los daños al ambiente producto de la generación eléctrica a partir del uso de *fuel oil*, es necesario implementar medidas a corto, mediano y largo plazo; desde bajos presupuestos hasta inversiones

con montos más elevados dentro de las cuales se pueden mencionar:

1. Reparar trampa tecnológica (impermeabilización de los muros de hormigón).
2. Sustitución de piezas en mal estado a los MCI para reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
3. Cambio de los filtros de piedra y carbón activado en la trampa tecnológica.
4. Cambio de inyector en los MCI cuando presenten altas temperatura en los cilindros.
5. Recogida de todos los desechos sólidos (estopas, paños de limpieza, etc.)
6. Recogida de los desechos líquidos en depósitos herméticos.
7. Eliminar salideros de combustibles y vapor.
8. Gestionar la reutilización de los desechos generados.
9. Instalar filtros en las chimeneas de salida de los gases producto de la combustión.

6. Referencias

- [1]. DE LA CONCEPCIÓN, M. (2011, April). Aplicación del análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación del impacto ambiental asociado a la generación de energía eléctrica. In *IV Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida, CILCA, Coatzacoalcos, Veracruz, México* (pp. 462-483).
- [2]. Cherubini, F., & Strømman, A. H. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 102(2), 437-451.
- [3]. Zimmermann, T. (2013). Parameterized tool for site specific LCAs of wind energy converters. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(1), 49-60.
- [4]. Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the total environment*, 409(19), 3578-3594.
- [5]. Cluzel, F., Yannou, B., Millet, D., & Leroy, Y. (2014). Exploitation scenarios in industrial system LCA. *The international journal of life cycle assessment*, 19(1), 231-245.
- [6]. Bok, Y. J., Tae, S. H., Kim, T. Y., & Yang, K. H. (2015). The Development of Concrete Life Cycle Assessment System. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 752, pp. 715-719). Trans Tech Publications.
- [7]. Sánchez, O. J., Cardona, C. A., & Sánchez, D. L. (2012). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: Una aproximación cualitativa. *Revista Universidad EAFIT*, 43(146), 59-79.
- [8]. Cherubini, F. (2010). GHG balances of bioenergy systems—Overview of key steps in the production chain and methodological concerns. *Renewable Energy*, 35(7), 1565-1573.
- [9]. RODRÍGUEZ, B. (2011, April). Eco-Speed, a New Life Cycle Impact Assessment Methodology for Latin American Countries. In *IV Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida, CILCA, Coatzacoalcos, Veracruz, México* (pp. 795-814).
- [10]. Cedeño, E. A. L., López, B. S., & Bastida, L. (2006). Metodología para la determinación de los impactos ambientales en procesos productivos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(3), 60-64.
- [11]. Von Blottnitz, H., & Curran, M. A. (2007). A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of cleaner production*, 15(7), 607-619.
- [12]. Wardenaar, T., van Ruijven, T., Beltran, A. M., Vad, K., Guinée, J., & Heijungs, R. (2012). Differences between LCA for analysis and LCA for policy: a case study on the consequences of allocation choices in bio-energy policies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 1059-1067.
- [13]. NC. (2009). *Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura*. NC ISO 14040: 2009. Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización. 19 p.
- [14]. Rieradevall, J., Doménech, X., Bala, A., & Gazulla, C. (2000). Ecodiseño de envases, el sector de la comida rápida. *Elisava Editions*.
- [15]. Lozano, R. G. (2013). Ecodiseño y envase. *Infopack: packaging & etiquetaje industrial, diseño, innovación & tendencias*, (193), 4-7.
- [16]. NC. (2014). *Calidad del aire – Contaminantes – Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*. NC 1020: 2014. Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- [17]. García, A. C. (2011). Los Índices de Calidad del Aire: Alcances y Limitaciones. *Conciencia Tecnológica*, (42), 74-76.
- [18]. NC. (1999). *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado especificaciones*. NC 27:1999. Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- [19]. Rodríguez Pérez, B., Fernández Rodríguez, M., & Fernández Ocampo, N. (2014). Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida en Cienfuegos. *Ingeniería Energética*, 35(3), 274-285.