



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

TÍTULO: VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD EN LA CENTRAL ELÉCTRICA FUEL OIL BAYAMO 110 KV DE GRANMA.

Diplomante: Jorge Iván Villavicencio Calvopiña.

Bayamo. M.N.
CURSO ACADÉMICO 2017-2018



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

TÍTULO: VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD EN LA CENTRAL ELÉCTRICA FUEL OIL BAYAMO 110 KV DE GRANMA.

Diplomante: Jorge Iván Villavicencio Calvopiña.

Tutor: Dr.C.Ing. Alain de la Rosa Andino. Prof. Auxiliar.

Jefe Disciplina Integradora: Dr.C. Ing. Alexis Alvarez Cabrales. Prof. Auxiliar.

Bayamo. M.N.
CURSO ACADÉMICO 2017-2018

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Los abajo firmantes hacemos constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Granma; certificando que el mismo ha sido realizado según lo indicado en la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REDACCIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMES DE TRABAJOS DE DIPLOMA Y PROYECTOS DE CURSO DEL INGENIERO MECÁNICO DE LA UNIVERSIDAD DE GRANMA y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura.

Dr. Ing. Alain de la Rosa Andino.
Tutor

Dr.C. Ing. Alexis Alvarez Cabrales.
Jefe Disciplina Integradora

Luego de estudiada la exposición del diplomante: Jorge Iván Villavicencio Calvopiña, así como las opiniones del tutor y el oponente del presente trabajo de diploma, el tribunal emite la calificación de_____.

Presidente del Tribunal
Nombre y Apellidos. Firma.

Secretario
Nombre y Apellidos. Firma.

Vocal
Nombre y Apellidos. Firma.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor de este Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Granma, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma: _____



Jorge Iván Villavicencio Calcopiña.

Jorge Iván Villavicencio Calcopiña autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia CreativeCommons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en:<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Jorge Iván Villavicencio Calcopiña autoriza al Departamento de Ingeniería Mecánica adscrito a la Universidad de Granma a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia CreativeCommons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en:

<ftp://fct.udg.co.cu/Documentos/0-INGENIERIA%20MECANICA/TESIS/>

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quien me trasmitió elevados valores y el amor por la vida.

A mis tutores por la revisión detallada del documento manuscrito y la conducción exitosa de la tesis hasta su culminación

A todas aquellas personas que de una forma u otra influyeron en mi formación y en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de estudio y de trabajo.

A todos muchas gracias.

Jorge Villavicencio.

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos, por su comprensión y por estar siempre al tanto de mí.

A mis padres, mis guías espirituales.

A mis amigos, por su apoyo incondicional.

Al colectivo de profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica, gracias por estar atentos a mis dudas.

A TODOS GRATITUD Y RESPETO.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la **Central Eléctrica Fuel Oil Bayamo 110 kV**, con la finalidad de proponer alternativas de mejoras en los procesos de producción para la generación de energía eléctrica y con ello hacer un mejor manejo del ecosistema urbano. La aplicación de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida se realiza según los requisitos establecidos en la ISO 14040 (2009), mediante el Eco-indicador 99 y utilizando el software *Sima Pro 7.1*. Los impactos ambientales evaluados se realizan partiendo de un minucioso análisis de inventario con cada una de las entradas y salidas del sistema objeto de estudio. Teniendo como resultado, que la etapa de mayor contribución al impacto medio ambiental se concentra en el área de generación, se demostró que las categorías de mayor impacto al medio ambiente son el uso de combustible fósiles, la respiración de compuestos inorgánicos, el uso del terreno, la acidificación/ eutrofización, cambio climático y ecotoxicidad.

ABSTRACT

The present work was developed in the 110 kV Fuel Oil Power Plant Bayamo, with the purpose of proposing alternatives of improvements in the production processes for the generation of electrical energy and with this, to make a better management of the urban ecosystem. The application of the Life Cycle Analysis methodology is performed according to the requirements established in ISO 14040 (2009), through the Eco-indicator 99 and using the software Sima Pro 7.1. The evaluated environmental impacts are made based on a thorough inventory analysis with each of the inputs and outputs of the system under study. With the result that the stage of greatest contribution to environmental impact is concentrated in the generation area, it was demonstrated that the categories of greatest impact to the environment are the use of fossil fuels, the breathing of inorganic compounds, the use of the land , acidification / eutrophication, climate change and eco-toxicity.

TABLA DE CONTENIDO

I –INTRODUCCIÓN	11
II - DESARROLLO	16
CAPÍTULO 1. Antecedentes y estado actual de la generación distribuida de electricidad y sus impactos al medio.....	16
1.1 Panorama energético mundial.....	16
1.1.1 Panorama energético de América.....	17
1.1.2 Panorama energético en Cuba.....	18
1.2 Aspectos medioambientales relacionados con la energía.....	21
1.3 Generación de electricidad.....	26
1.3.1 Sistemas alternativos de generación de electricidad.....	28
1.3.1.1 Generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.....	28
1.3.2 Sistemas convencionales de generación de electricidad.....	35
1.3.2.1 Generación eléctrica a partir de grupos electrógenos.....	36
1.4 Herramientas de generación ambiental.....	37
1.4.1 Reseña histórica del Análisis de Ciclo de Vida.....	38
1.4.2 Metodología para el Análisis de Ciclo de Vida.....	40
1.4.2.1 Definición del objetivo y alcance del ACV.....	43
1.4.2.2 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.....	44
1.4.2.3 Evaluación del impacto del Ciclo de Vida.....	47
1.4.2.3.1 Clasificación.....	48
1.4.2.3.2 Caracterización.....	49
1.4.2.3.3 Valoración.....	50
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	52
2.1 Caracterización de la Central Eléctrica de Fuel Oil Bayamo 110 kV.....	52
2.2 Definición del objetivo, alcance y análisis del inventario de Ciclo de Vida (ISO 14041, 1999).....	53
2.2.1 Objetivo.....	53
2.2.2 Alcance.....	53
2.3 Unidad funcional y descripción del sistema.....	53
2.3.1 Límites del sistema.....	53
2.3.2 Descripción de las categorías de datos.....	54
2.3.3 Suposiciones y limitaciones.....	54
2.3.4 Requisitos de calidad de los datos.....	55
2.3.5 Análisis del inventario (ISO 14041, 1999).....	55
2.4 Evaluación del impacto del ciclo de Vida.....	57
2.4.1 Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.....	58
2.4.2 Clasificación.....	58
2.4.3 Caracterización.....	59
2.4.4 Ponderación.....	59

2.5 Interpretación del ciclo de vida.....	59
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	60
3.1 Objetivo y Alcance.....	60
3.1.1 Unidad funcional y descripción del sistema.....	60
3.1.2 Límites del sistema.....	63
3.1.2.1 Procedimientos de asignación de asignación de cargas ambientales.....	63
3.1.3 Limitaciones y suposiciones.....	64
3.2 Análisis de inventario.....	64
3.2.1 Balance de materiales, agua, energía y productos químicos.....	64
3.2.2 Emisiones del aire.....	65
3.2.3 Residuales líquidos.....	66
3.2.4 Conformación del inventario.....	68
3.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida.....	68
3.3.1 Caracterización.....	68
3.3.2 Ponderación.....	69
3.4 Interpretación del ciclo de vida.....	71
3.4.1 Propuesta de opciones de mejoras para disminuir el impacto ambiental.....	71
III - CONCLUSIONES	73
IV - RECOMENDACIONES.....	74
V - BIBLIOGRAFÍA.....	75
VI - ANEXOS	

I –INTRODUCCIÓN

En los días que está viviendo nuestra humanidad, se está presentando un problema que afecta a todos: LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE, siendo en estos momentos el primer y más preocupante problema que les compete a los países desarrollados, principales responsables de lo insostenible que se presenta dicho problema por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases contaminantes, el CO₂, Metano, Óxido Nitroso y los Cloro-fluorocarbonatos, 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. El medio ambiente se considera como un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales, que evoluciona a través del proceso histórico de la sociedad que abarca la naturaleza, la sociedad, el patrimonio histórico cultural, lo creado por la humanidad, la propia humanidad, como elemento de gran importancia las relaciones sociales y la cultura. 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. (CITMA, 2007)

La primer medidas que se debe de tomar por la comunidad internacional es el desarrollo de combustibles alternativos, sustitución de tecnologías obsoletas por otras más eficientes, que contribuyan a la disminución de la contaminación del medio ambiente, el vertimiento de residuales líquidos a ríos y lagos, el aumento del tráfico en ciudades, elevados períodos de explotación de las tecnologías, un estado técnico deficiente y el desarrollo de tecnologías consumidoras de combustible fósil para la generación de energía eléctrica, elevan el número de las emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente.

Otras medidas están relacionadas con la intensificación de la utilización de fuentes alternativas de energía y la eficiencia energética, esta última es uno de los elementos de vital importancia, con la aplicación de medidas eficientes sobre los portadores

energéticos y el agua, tanto en el área de los servicios como en las esferas productivas, no sólo se pueden ahorrar estos recursos sino que además se mejoran las condiciones medio-ambientales, implementar el tratamiento a residuales líquidos y gaseosos antes de verter y expulsarlos al medio ambiente.

Por otra parte la progresiva constatación de que todas las actividades desarrolladas en el seno de una empresa producen impactos en el medio ambiente, lleva a muchas empresas a considerar la necesidad de analizar con más detalle todas sus acciones. Así algunas comienzan a asumir la obligación de reducir el impacto de sus productos, no sólo 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. Una de las herramientas de la producción más limpia es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que permite establecer estrategias de mercado y planear actividades preventivas concretas para la aplicación de una producción más limpia en la industria(González, 2009).

Hoy en día nuestro país que no es 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, en los servicios. En los últimos años el país se proyecta en realizar mejoras en el MINBAS, fundamentalmente en la rama de generación distribuida de energía eléctrica, la adquisición de nuevas tecnologías más eficientes que las termo eléctricas, pero si no mantenemos un diagnóstico diario sobre el correcto funcionamiento de las tecnologías, no obtendremos los resultados esperados. En nuestro país se utiliza en mayor escala el combustible fósil (fuel Oil y diesel) para garantizar la energía eléctrica demandada por el sector industrial y residencial, agravando en su uso las afectaciones al medio ambiente.

Junto con la instalación de las tecnologías se realizan inversiones económicas para la adquisición de equipos de diagnóstico, teniendo control sobre los productos utilizados en estos procesos, basándonos en un análisis de inventario y la aplicación del ACV, podemos detectar, proponer y tomar acciones que eviten o minimicen los daños al medio ambiente.

Uno de los grandes retos que han de abordar los países en los próximos años, en función de las actuales tendencias de una sociedad más sostenible, lo constituyen las grandes transformaciones que se experimentan en el ámbito energético y ambiental.

Por lo anteriormente planteado se nos presenta el siguiente problema científico.

Problema de Investigación:

En el ámbito de la provincia cubana de Granma, no se cuenta con un estudio integral y sistemático del impacto ambiental de la generación distribuida de electricidad a partir del empleo de fuel oil.

Objeto de Estudio: Las etapas del proceso de generación distribuida de electricidad mediante fuel oil.

Campo de Acción: Valoración del impactos ambiental generado en las etapas principales de la generación distribuida de electricidad.

Hipótesis:

El estudio integrado de las principales etapas que conforman la generación distribuida de electricidad a partir del fuel oil con un enfoque de Vida, se convierte en una herramienta probable que permitiría evaluar de manera integral los impactos al medio ambiente.

Objetivo General:

Evaluar el impacto ambiental de la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de fuel oil Bayamo provincia de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de Vida.

Objetivos Específicos:

1. Realizar el análisis de inventario en cada una de las etapas del proceso de generación eléctrica.
2. Medir las emisiones gaseosas y líquidas generadas en el proceso de generación de electricidad.

3. Determinar la contribución de cada uno de los elementos inventariados, a los problemas ambientales de: daños a la salud humana, consumo de recurso y calidad al ecosistema.

Tareas de investigación:

1. Revisión del estado del arte sobre la generación distribuida de electricidad y sus impactos al medio ambiente.
2. Caracterización de las etapas principales del proceso de generación distribuida de electricidad con el fin de valorar sus aspectos críticos y la contribución de cada uno de los elementos inventariados en el impacto al medio ambiente.
3. Valoración de la factibilidad técnico-económica de la investigación desarrollada.

Métodos de investigación.

Durante el desarrollo del trabajo se utilizaron métodos teóricos, como los de análisis y síntesis, las apreciaciones verbales, además de los métodos estadísticos.

Los métodos de análisis y síntesis posibilitaron descomponer el objeto de investigación (etapas de la generación distribuida de electricidad) en sus diferentes componentes, de manera que se pudo revelar en el orden teórico conceptual los posibles impactos que pudieran causar al medio ambiente, así como las causas probables, especialmente las que provienen de los motores que consumen fuel oil. Luego se estableció la integración entre las partes previamente analizadas y permitió descubrir las múltiples relaciones e interdependencias entre sus componentes.

Las apreciaciones verbales permitieron establecer las características del proceso de generación distribuida de energía eléctrica a partir de los grupos electrógenos, las tendencias actuales en las políticas de cuidado del medio ambiente y evaluación de impactos y su relación con la gestión de ciclo de vida, y realizar una comparación con sentido crítico de los documentos revisados. La observación fue aplicada fundamentalmente durante la toma de los datos, recogiéndose como información las

manifestaciones del comportamiento de las emisiones en los motores objeto de estudio, no obstante, éste método se encuentra siempre presente durante el desarrollo de toda la investigación.

II - DESARROLLO

CAPÍTULO 1. Antecedentes y estado actual de la generación distribuida de electricidad y sus impactos al medio.

1.1 Panorama Energético Mundial

Los umbrales del siglo XXI fueron muy inestables y se caracterizaron por la incertidumbre en los mercados energéticos, situación reflejada principalmente en el incremento en los precios del petróleo crudo los cuales fueron los más altos de los últimos 20 años.

La explotación de las reservas mundiales de hidrocarburos continúa en ascenso, por estudios realizados se cuenta aproximadamente con reservas de petróleo para cubrir la demanda actual de energía por 40 años y en el caso del gas natural en 60 años. Se continúan realizando estudio de nuevos yacimientos de reservas energéticas, por lo cual la seguridad energética de los países pasa más por un análisis de la distribución de las mismas y por un déficit de la oferta.

Con relación al consumo mundial del petróleo, este se incrementó con relación a su promedio histórico de 10 años en 2.1 %, especialmente por el consumo de Asia el cual se incrementó en 4 % con relación al 2002. El consumo de gas natural se incrementó en 2 %, a pesar de la contracción en 5 % del mayor demandante de este energético que es Estados Unidos de Norte América (EE.UU).

Por su parte la producción mundial del petróleo se vio afectada por acontecimientos ocurridos como la guerra de Irak y el paro petrolero de Venezuela, sin embargo la producción de los demás países de la OPEP contrarrestaron estas disminuciones.

Así mismo, la producción de los países no miembros de la OPEP también se incrementó de manera importante, principalmente en Rusia.

Con relación a otros energéticos, el consumo de carbón registró un notable aumento con relación al 2004 del 3.9 % especialmente por el consumo de China y EE.UU. La generación de energía nuclear se contrajo en un 2 %, la generación hidroeléctrica se incrementó en apenas un 1.4 % especialmente por el consumo de América Latina y Asia, siendo esta energía la más barata amortiguando sus costos de inversión en un menor tiempo, siendo la que menos daños le ocasiona al medio ambiente, su único inconveniente se necesitan condiciones geográficas adecuadas.

Finalmente, se espera que en los siguientes años el consumo de energía siga liderado por la demanda de petróleo, aunque seguida muy de cerca por la demanda de gas natural, que pasara a ser el segundo energético más demandado. Para este escenario será determinante el crecimiento de la demanda de gas natural que registre Asia, continente que guiará la tasa de desarrollo de este mercado (OLADE, 2004).

1.1.1 Panorama Energético de América

SECTOR HIDROCARBUROS

El crecimiento energético en la región estuvo liderado particularmente por la producción de gas natural, con un 3,21 % de crecimiento y de carbón con un importante ascenso en 12.67 %, mientras que la de petróleo se redujeron aproximadamente en un 1.85 %.

Venezuela, miembro de la OPEP, se ha mantenido entre los 10 primeros productores de petróleo del mundo, a pesar de problemas ocurridos en el 2003. El país es por tanto, clave para los mercados energéticos mundiales, con sus reservas probadas de petróleo estimadas en más de 77 mil millones de barriles.

Argentina, con unos 3,2 mil millones de barriles de reservas probadas de petróleo, es también un importante participante en el mercado de hidrocarburos en Latinoamérica.

Ecuador también es uno de los mayores exportadores de hidrocarburos de Latinoamérica. El país recientemente completó su segundo oleoducto, el cual ha duplicado la capacidad de transporte de crudos en el Ecuador.

La capacidad total de combustible a refinar en Ecuador es de 185.000 bbl/d. Petroindustrial, la subsidiaria de Petroecuador encargada de esta rama de la industria, opera las tres refinerías del país: Esmeraldas, Amazonas, y La Libertad, Petroecuador también está considerando la construcción de una nueva refinería que costaría \$1,1 mil millones para procesar 110.000 bbl/d de crudo pesado (OLADE, 2004).

EN EL SECTOR ELECTRICO

La capacidad instalada de generación eléctrica en Cuba para el año 2009 se encontraba en el orden de los 3910 MW, se cuenta con 2224 MW generados en las siete termoeléctricas existentes en el país, 1396 MW con el servicio de la Generación Distribuida, 210 MW con Energas en Matanzas y 80 MW con otras tecnologías. Brasil, México y Argentina son los países con mayores potencias instaladas para producir electricidad. El 52 % de la potencia instalada es hidroeléctrica, el 45 % termoeléctrica, el 2 % núcleo eléctrica y el 1 % utiliza fuentes como geotermia, eólica, solar y biomasa.

Uno de los problemas críticos en muchos países de la región, es el alto nivel de pérdidas de energía eléctrica, pues en conjunto se tiene un 19 %, aproximadamente, que es alto comparado con el valor adecuado del orden de 10 %, que corresponde a pérdidas técnicas inevitables, en líneas, transformadores y otros elementos. Hay países que están por debajo de ese valor referencial y otros que llegan en ocasiones más del 30 %.

El gobierno Ecuatoriano aprobó la construcción y operación de la Central Hidroeléctrica Mazar de 180 MW a HIDROPAUTE S. A, el embalse de esa central mejorará las condiciones de funcionamiento de la actual central Paute, que es la principal del Ecuador.

1.1.2 Panorama Energético en Cuba

Los portadores naturales que se producen en Cuba y de los cuales se dispone de información estadística según Borroto (1997), Rodríguez (2001) y ONEI (2016) son:

- Petróleo

- Gas Natural
- Hidroenergía
- Leña
- Biomasa cañera (Bagazo)

Los principales productos que se obtienen en las refinerías de petróleo en Cuba son los siguientes.

- Gas Licuado
- Gasolina y Nafta
- Keroseno
- Fuel oil
- Diesel oil
- Coque solventes
- Asfaltos

Cuba carece de grandes recursos energéticos y satisface la mayor parte de sus necesidades con la importación de combustibles fósiles. No obstante, los recursos energéticos nacionales se desarrollan y aprovechan cada vez más ante los imperativos económicos y medioambientales del país y del mundo, siendo el petróleo crudo, el bagazo y el gas natural los portadores nacionales de mayor peso (PTS, 2006).

Generación Distribuida (GD) en Cuba: cambio a un nuevo paradigma energético

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 el uso eficiente de los recursos naturales. Una de estas alternativas tecnológicas es generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar del consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria eléctrica, incorporando ahora las ventajas

de la tecnología moderna y el respaldo eléctrico de la red del sistema electroenergético, para compensar cualquier requerimiento adicional de compra o venta de energía eléctrica. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como Generación *In-Situ*, Generación Dispersa, o más cotidianamente, Generación Distribuida

Más del 50 % de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a diesel y fuel oil. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético. Hoy día, el país trabaja en la aplicación de proyectos de tecnologías energéticas renovables a escala nacional.

La mayoría de las nuevas instalaciones de Generación Distribuida en el país son generadores y motores que consumen combustibles fósiles (diesel y fuel oil), así como pequeños generadores de emergencia ubicados en centros de elaboración de alimentos, hospitales, objetivos estratégicos.

Estas tecnologías han tenido un impacto positivo en el medio 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 y emisiones de gases como los NO_x, SO₂ y de partículas de muy pequeño tamaño) es un problema cuya solución está siendo estudiada.

La generalización de la Generación Distribuida significó una verdadera revolución energética en sí misma, porque fue necesario cambiar la forma tradicional en que se generó la electricidad en el país. Aunque las grandes centrales térmicas habían desempeñado un papel importante en el desarrollo del país, muchas de estas habían quedado obsoletas, ineficientes y necesitando grandes sumas de dinero en inversión para poder mantenerlas en explotación.

La capacidad total interconectada en Cuba llegó en 1980 a 2 212 MW, en el año 1992 a 3 676 MW, de este último valor, correspondían 544 MW a plantas industriales (488

MW en centrales azucareros), y 3132 MW a unidades generadoras atendidas por la UNE (88,4%), en el 2004 el SEN tenía una capacidad instalada de 4048 MW, de estos el 79 % era generado por unidades de la UNE, aumentando el porcentaje de energía eléctrica obtenida por cogeneración.

De estos 4048 MW solo el 1,58 % era aportado por generación distribuida, el 12 % por ENERGAS y el resto por las centrales térmicas del país ONEI (2016).

Hoy en día Cuba tiene una capacidad de generación eléctrica de 4750 MW aproximadamente sobre la base de la generación distribuida, en menos de dos años de intenso trabajo, se instalaron más de 1 400 MW que son generados de forma distribuida por Grupos Electrógenos diesel en 116 de los 169 municipios del país. Posteriormente se dio paso a una segunda etapa del proceso con la instalación de grupos de mayores potencias consumiendo fuel oil, de tecnologías **HYUNDAI y MAN**, hasta cubrir una capacidad instalada de alrededor 952 MW, cogeneración 529 MW y otras tecnologías energéticas renovables 69 MW (ONEI, 2016).

1.2 Aspectos medioambientales relacionados con la energía

El ahorro de energía se ha convertido en la actualidad en una necesidad, no solo por el agotamiento de los recursos naturales, sino también por los problemas medioambientales que el uso de la energía tiene asociados. El efecto invernadero, la reducción de la capa de ozono y las lluvias ácidas, principalmente, han hecho realidad el conocido principio de que “la energía que menos contamina es la que no se consume”.

Las principales sustancias que ocasionan desequilibrios medioambientales pueden ser agrupadas en cuatro grandes núcleos: polvo (partículas en suspensión), gases (tóxicos o inflamables), calor y ruido.

Los contaminantes atmosféricos suelen ser (Aránguez *et al.*, 1999; Ayes, 2003):

- Sólidos: humo, hollín, cenizas, polvo natural, etc.
- Líquidos: niebla de ácido sulfúrico.

- Gaseosos: dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y “sprays”.

La producción de energía es hoy la causante de los mayores problemas de contaminación ambiental del planeta. A continuación se exponen algunos de los gases más contaminantes y sus efectos.

Contaminación por Dióxido de Carbono (CO₂)

Tiene su origen en los procesos de combustión y en muchos procesos naturales como la respiración animal. La generación de energía eléctrica y consumo de la misma es responsable del 80 % de las emisiones globales de CO₂ por la combustión de combustible fósiles. Autores como Carrasco (2002), plantean que el CO₂, se produce como emisión neta a la atmósfera no sólo en la combustión de los productos fósiles, sino también durante aquellos procesos de utilización de la biomasa ligados a una disminución de la cantidad total de la misma en la biosfera, como ocurre en los procesos de deforestación. Su efecto más notable radica en el llamado efecto invernadero, que se presenta por que el CO₂ junto con el vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera cerca de la superficie terrestre, son capaces de absorber las radiaciones solares refractadas por la tierra, no dejando que se libere su calor, lo que conduce al aumento del calentamiento global del planeta. La concentración de este gas, ha pasado de unas 280 ppm en 1800, al principio de la era industrial, hasta las 350 ppm en 1989. Para poder mantener el nivel de CO₂ en la atmósfera en torno a 580 ppm que es el nivel considerado máximo admisible por los ecosistemas en los próximos cien años, se precizaría reducir el consumo de combustible fósil en un 40 % respecto al valor de 1988 (Carrasco, 2002).

Se ha registrado un aumento de la temperatura de la tierra de 0.5 °C desde 1860 hasta la fecha, los pronósticos climatológicos vaticinan un aumento de 0.3 °C por década, de no limitarse las emisiones de CO₂(Wagner, 1996).(Centeno, 2006)

Según Alfonso (1996), se estima un aumento entre 2 y 4 °C de la temperatura atmosférica para los próximos años.

El CO₂ no presenta características tóxicas, la muerte en una atmósfera cargada de CO₂ sería por ausencia de oxígeno (asfixia).

El CO₂ presente en el organismo puede ocasionar:

- ❖ Asfixia por falta de oxígeno
- ❖ Excitación del sistema nervioso central
- ❖ Dolor de cabeza
- ❖ Vértigo
- ❖ Sueño
- ❖ Inconsciencia

Una exposición de pocos minutos en una concentración del 10 % de CO₂, puede ser fatal.

El protocolo resultante de la Cumbre de Kyoto, celebrada durante los primeros diez días de diciembre de 1997, donde se dieron cita delegaciones de 175 países, significa el establecimiento, por primera vez, de compromisos concretos para todos los países industrializados, en particular en lo referente a los objetivos de reducción de emisiones de gas con efecto invernadero.

Contaminación por Dióxido de Azufre (SO₂)

Se produce en la combustión de los combustibles y en algunos procesos industriales por la oxidación del azufre, la naturaleza lo ha producido por medio de la actividad volcánica. El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación gestatoria a concentraciones de 0.3 a 10 ppm en el aire. A concentraciones mayores de a 30 ppm (1ppm = 2.6 mg/m³) el gas tiene un olor acre e irritante y afecta al organismo (López, 1997). (Alfonso, 1996; López, 1997 y OPS, 2004).

Los óxidos de azufre SO₂ y SO₃ producen sus efectos más notables en la contaminación atmosférica a manera de:

- ❖ Lluvias ácidas al mezclarse con el agua con un pH medio inferior a 5.6.
- ❖ Acidificación de las fuentes naturales de agua.

- ❖ Lixiviación de los nutrientes del suelo, que pueden llegar a una pérdida de sus características productivas e incluso a un cambio en su vegetación natural.

El SO_2 ataca especialmente al sistema respiratorio, acentúa la bronquitis en las personas propensas a dicha enfermedad, al penetrar a los pulmones forman trazas de ácido sulfúrico con la humedad allí presente.

La presencia de SO_2 en el organismo se manifiesta por los siguientes malestares:

- ❖ Irritación de las vías respiratorias.
- ❖ Inflamación de los pulmones.
- ❖ Falta de respiración.
- ❖ Tos fuerte y continua con irritación de la mucosa.
- ❖ Dolor de cabeza con debilidad general.
- ❖ Trastornos digestivos.

El SO_2 en exceso también ocasiona daños a la vegetación manifestándose con un color blancuzco o de marfil en las áreas afectadas, la espinaca, lechuga y otros vegetales con hojas son más sensibles (Pérez, 1996).

Contaminación por Trióxido de Azufre (SO_3)

Es producto resultante de la emisión directa del SO_2 y su oxidación atmosférica en presencia de la luz solar. En combinación con la humedad del aire se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4) proporcionando las consecuencias anteriormente expuestas.

La afectación es similar a la del SO_2 , pudiendo también reaccionar con la humedad para formar ácido sulfúrico con mayor facilidad.

Contaminación por Compuestos de Nitrógenos (NO_x)

Tiene su origen por reacción del oxígeno y el nitrógeno del aire, debido a las altas temperaturas procedentes de los procesos de combustión.

En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógenos reaccionan con la luz solar y forman una nube fotoquímica. Los componentes de la nube más dañinos para las plantas y perjudiciales para la salud del hombre son los óxidos fotoquímicos (Pérez, 1996). La principal fuente de emisión son los motores de combustión interna.

Efecto sobre la salud:

- El óxido nítrico (NO), produce su mayor efecto cuando reacciona con la hemoglobina de la sangre para formar nitroso y hemoglobina, que produce rápidamente una cianosis (Cárdenas, 1997).
- El dióxido de nitrógeno (NO₂), es muy irritante y de olor desagradable, por lo cual se detecta muy fácilmente. Sus efectos van desde simples irritaciones en la nariz y los ojos hasta fuerte con gestión pulmonar, que puede ser mortal, según su concentración y tiempo de exposición (Cárdenas, 1997).(OPS, 2004)

Las emisiones típicas de los contaminantes, evaluadas por el informe energético de la OLADE (2002), que se obtienen a partir de los combustibles utilizados se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Emisiones típicas de contaminantes por kg de combustible equivalente (kg de contaminante).

Combustibles	CO₂	CO	NO_x	SO₂	HC	Partículas
Gasolina	2.979	0.608	0.017	0.0028	0.0029	0.0017
Diesel	3.088	0.0026	0.052	0.0028	0.0062	0.0184
Combustóleo	3.268	0.0005	0.0086	0.059	0.0039	0.0285
Gas Natural	2.347	0.0008	0.0104	0.0004	0.0003	0.0011
G. L. P.	2.657	0.0010	0.012	0.0010	0.0015	0.0012
Carbón	3.941	0.0004	0.031	0.0227	0.0002	0.0070

Fuente: Programa Integral contra la contaminación atmosférica: Ciudad de México.

Contaminación por Formación de Partículas Sólidas en Suspensión

El material particulado (MP), son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, esas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0.005 a 100 μm de diámetro aerodinámico. Antes se creía que todas las partículas suspendidas en el aire (partículas totales en suspensión) afectaban la salud de la misma forma. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que las partículas que más afectan la salud son aquellas con diámetro aerodinámico menor de 10 μm (MP 10) y, más aún, aquellas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm (MP 2,5) (OPS, 2004).

El MP se produce por la quema incompleta del combustible para motores diesel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón. El MP también se puede producir por la condensación de vapores ácidos y compuestos orgánicos semi volátiles y mediante una serie de complejas reacciones del NO_2 y SO_2 en la atmósfera que finalmente forman nitratos y sulfatos, respectivamente.

- **Salud humana:** el MP puede agravar enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causar daño al tejido pulmonar (Sandström *et al.*, 2005). Los grupos más vulnerables a los efectos del MP son las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños.
- **Materiales:** deteriora los materiales de construcción y otras superficies.
- **Vegetación:** interfieren en la fotosíntesis.
- **Medio ambiente:** disminuye la visibilidad y provocan la formación de nubes.

1.3 Generación de electricidad

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Principio de inducción

Entre los polos de un imán se genera un campo magnético produciendo unas líneas de fuerzas que parten desde el polo norte y se dirigen hacia el polo sur.

Si se logra poner los polos enfrentados y mover un conductor cortando las líneas de fuerza, se producirá una diferencia de potencial entre los extremos de este. Si dejamos fijo el conductor o lo movemos paralelamente a las líneas de fuerza la diferencia de potencial desaparece. Si se conectan dichos extremos a un circuito, se producirá una circulación de corriente eléctrica a través del mismo. La circulación de corriente cambia su sentido de acuerdo a la dirección de desplazamiento del conductor dentro del campo magnético.

Principio de generación de corriente alterna

El fenómeno de inducción electromagnética fue descubierto por FÁraday en el año 1830, llegando a demostrar que "cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético cortando líneas de fuerza, se engendra en él una fuerza electromotriz, que es directamente proporcional al flujo cortado, e inversamente proporcional al tiempo empleado en hacerlo.

Teniendo un imán permanente como inductor estático y un rotor con una espira como inducido tendremos un generador elemental al recibir movimiento, la espira cortará las líneas de fuerza y se producirá una fuerza electromotriz.

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un generador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

1.3.1 Sistemas alternativos de generación de electricidad

Los sistemas alternativos de generación de electricidad son fuentes de obtención de energías sin destrucción del medio ambiente, renovables, que han sido investigadas y desarrolladas con algunas intensidades en las últimas décadas.

Una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

1.3.1.1 Generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía

Las fuentes de energía renovables, provienen de fuentes inagotables, principalmente el Sol y la Tierra y su disponibilidad no disminuye con el tiempo. El Sol y la Tierra seguirán proveyéndonos de energía durante algunos millones de años más, y con él los vientos, la fotosíntesis de las plantas, el ciclo del agua, las fuerzas del mar y el calor al interior de la tierra.

Algunas de ellas son:

- ❖ Energía eólica
- ❖ Energía solar
- ❖ Energía geotérmica
- ❖ Energía de la biomasa
- ❖ Energía hidroeléctrica
- ❖ Energía mareomotriz
- ❖ Energía nuclear
- ❖ Energía mediante celdas de combustible

Energía eólica

La energía eólica es la que se obtiene de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. Se obtiene a través de turbinas eólicas, son las que convierten la energía cinética del

viento en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

En la actualidad se usan aerogeneradores para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Estos aerogeneradores suelen medir entre 40 y 50 metros dependiendo de la geografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos, son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente son la evolución de los tradicionales molinos de viento.

Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29 % de las emisiones de CO₂ del planeta.

Energía solar

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

La energía solar se extrae de la luz del Sol. Esto se puede hacer directamente, con células fotovoltaicas, o mediante la utilización de conjuntos de espejos que concentren la luz solar en un punto común que se calienta en extremo. Este calor puede calentar agua hasta convertirla en vapor que, pasando por una turbina con un generador, puede producir electricidad.

Energía solar térmica

Una central térmica solar o central termo solar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica como en una central térmica clásica. En ellas es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 °C hasta 1000 °C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina helióstato. Su principal problema medioambiental es la necesidad de grandes extensiones de territorio que dejan de ser útiles para otros usos agrícolas, forestales, etc.

Energía solar fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar, debido a que la corriente obtenida es proporcional a la radiación del sol y el

área de la célula. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de la provincia a estudiar.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total y la dependencia energética.

En estos momentos este tipo de tecnología es cara en la primera inversión pero dada la alta durabilidad y el costo casi nulo de mantenimiento y nulo en la materia prima que es el Sol, estas se vuelven muy rentables.

Energía geotérmica

La energía geotérmica obtiene la electricidad de la diferencia de temperatura entre las rocas calientes de las profundidades de la tierra y la relativamente fría del aire y el agua en su superficie. Esto requiere que la roca caliente este relativamente poco profunda, por lo que solo puede ser aplicada en áreas geológicamente activas.

Parte del calor interno de la Tierra (5 000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y por tanto servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

En forma general, la energía geotérmica es la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor. Su aprovechamiento comercial sólo es posible en aquellos lugares en donde coexisten los factores que dan origen a la existencia de un campo geotérmico propiamente dicho.

Energía utilizando la biomasa

La energía eléctrica puede generarse mediante el quemado de cualquier cosa que pueda arder. Normalmente, esto se hace mediante el fermentado de las plantas para producir etanol, el cual es la materia que se quema. También se obtiene dejando que

la materia orgánica se pudra, produciendo biogás, el cual es quemado. También, cuando se quema, la madera es una forma de combustible biomasa.

La biomasa es un recurso renovable de energía proveniente de los residuos de la materia orgánica de tierra y mar. Las fuentes de aprovechamiento de la biomasa para energía provienen principalmente de tres sitios:

- a) Desechos, basura industrial y municipal.
- b) Residuos de cultivos agropecuarios.
- c) Cultivos y plantaciones con propósitos energéticos.

Cuando la materia orgánica libera su energía almacenada a través de un proceso natural o artificial, devuelve al ambiente la misma cantidad de CO₂ que consumió durante su crecimiento, por lo que se dice que este ciclo es CO₂ neutro, es decir que la biomasa no afecta la contaminación en el ambiente. Mientras el consumo de la masa orgánica aprovechada para usos energéticos sea igual o mayor que la producción, se puede considerar a la biomasa como un recurso renovable, por eso la importancia de mantener el equilibrio en bosques y cultivos.

Energía hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador.

- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz utiliza la diferencia de altura del mar entre la altamar y la bajamar. Se retiene el agua de la altamar y en la bajamar la salida controlada del agua hace mover turbinas situadas en distintas zonas de la costa. Esta energía es sin embargo limitada, para la efectividad de la explotación de la misma, la amplitud de marea debe ser superior a los 4 metros, y el sitio geográfico adecuado, lo que elimina prácticamente el 80 % de la energía teóricamente disponible.

Energía nuclear

La energía atómica es aquella que se libera como resultado de cualquier reacción nuclear.

Esta energía puede obtenerse bien por fisión (división de los elementos pesados) o bien por fusión (unión de elementos muy ligeros). En las reacciones nucleares se libera una elevada cantidad de energía y ello es debido a que en dichas reacciones se produce una disminución neta de masa que se transforma directamente en energía.

- La fisión nuclear

Es la reacción nuclear en la que tiene lugar la ruptura del núcleo pesado, generalmente en dos fragmentos iguales y de la misma magnitud.

Una reacción en cadena es una sucesión de fisiones en la que los neutrones liberados en cada reacción producen nuevas fisiones.

Los reactores actualmente funcionan por medio de fisiones en cadena.

- La fusión nuclear

Es una reacción de núcleos de átomos más ligeros que conduce a la formación de un núcleo más pesado que cualquiera de los iniciales.

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. Se obtiene al romper los átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear.

Las centrales alimentadas con uranio enriquecido tienen la desventaja fundamental de que, por lo menos actualmente, muy pocos países realizan, comercialmente, el proceso de enriquecimiento.

El uranio natural en cambio, es producido y comercializado por diversos países.

Una consecuencia de la actividad de producción de este tipo de energía, son los residuos nucleares, que pueden tardar miles de años en desaparecer y tardan mucho tiempo en perder la radiactividad.

Energía mediante celdas de combustible

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico cuyo concepto es similar al de una batería. Consiste en la producción de electricidad mediante el uso de químicos, que usualmente son hidrógeno y oxígeno, donde el hidrógeno actúa como elemento combustible, y el oxígeno es obtenido directamente del aire. También pueden ser usados otros tipos de combustibles que contengan hidrógeno en su molécula, tales como el gas metano, metanol, etanol, gasolina o diesel entre otros.

Debido a que la generación de energía eléctrica es directa, la eficiencia que alcanza una celda de combustible puede ser muy elevada, además al no tener partes en movimiento son muy silenciosas. Sumado a todo esto hay que agregar que la celda de combustible no usa la combustión como mecanismo de generación de energía, lo que la hace prácticamente libre de contaminación.

El funcionamiento de una celda de combustible consiste básicamente en la oxidación del hidrógeno en agua, generando energía eléctrica y calor directamente, sin pasar por generadores.

1.3.2 Sistemas convencionales de generación de electricidad

Centrales termoeléctricas de ciclo convencional

El principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calórica en energía mecánica y luego en energía eléctrica.

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de calor. Este calor puede obtenerse tanto de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón) como de la fisión nuclear del uranio u otro combustible nuclear o del sol como las solares termoeléctricas. Las centrales que en el futuro utilicen la fusión también serán centrales termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una turbina de vapor, cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad. Luego el vapor es enfriado en un condensador donde circula por tubos agua fría de un caudal abierto de un río o por torre de refrigeración.

Centrales termoeléctricas de ciclo combinado

En las centrales termoeléctricas denominadas de ciclo combinado se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una turbina de gas. En una cámara de combustión se quema el gas natural y se inyecta aire para acelerar la velocidad de los gases y mover la turbina de gas. Como, tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura (500 °C), se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un generador, como en una central termoeléctrica común. El vapor luego es enfriado por medio de un caudal de agua abierto o torre de refrigeración como en una central térmica común. Además, se puede obtener la cogeneración en este tipo de plantas, al alternar entre la generación por medio de gas natural o carbón. Este tipo de plantas está en capacidad de producir energía más allá de la limitación de uno de los dos insumos y pueden dar un paso a la utilización de fuentes de energía por insumos diferentes.

1.3.2.1 Generación eléctrica a partir de grupos electrógenos

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Es comúnmente utilizado cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, o cuando hay corte en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente son zonas agrícolas con pocas infraestructuras o viviendas aisladas. Otro caso es en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica, necesitan de otra fuente de energía externa para abastecerse en caso de emergencia.

Partes fundamentales que componen un grupo electrógeno

- **Motor de combustión interna.** El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar dicha labor. Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina, diesel, gas, fuel oil o ciclo combinado.
- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración es el encargado de mantener la temperatura adecuada del motor y el generador, por tratarse de un motor estático, y puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire a tiro forzado.
- **Generador.** La energía eléctrica se produce utilizando un generador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, auto regulado, sin escobillas y acoplado con precisión al motor. El tamaño y la potencia del mismo varía en dependencia de la función a realizar para la que se utiliza el grupo electrógeno.
- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el generador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad que varía en dependencia de su régimen de explotación diseñado por el fabricante, el mismo se rellena automáticamente, mediante una bomba que succiona de los depósitos de almacenamiento de combustible.

- **Sistema de control.** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control que existen para controlar el funcionamiento, sincronizar, salida del grupo electrógeno del sistema eléctrico, subir, bajar cargas, la protección contra posibles fallos en el funcionamiento, sobre cargas y fallas en los sistemas eléctricos las cuales pueden dañar el generador si no está bien protegido.
- **Interruptor automático de salida.** Para proteger el generador, llevan instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno. Existen otros dispositivos que ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo.
- **Regulación del motor.** El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del generador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

1.4. Herramientas de gestión ambiental

La gestión ambiental por concepto se entendía una idea o método para alcanzar un objetivo común: el desarrollo sustentable. Por el contrario la herramienta tiene un uso más concreto: Dar soporte a un determinado concepto suministrándole información cuantificable para alcanzar ese objetivo. Las herramientas deben tener un procedimiento de uso sistemático y hacer posible la informatización.

Gestionar un sistema, sea desde el punto de vista ambiental o no, requiere tomar decisiones sobre su evolución y para que esto sea posible, quien debe decidir requiere información objetiva y cuantificada. La línea divisoria entre las herramientas no está muy bien definida, ya que han evolucionado independientemente y con objetivos parcialmente solapados.

De entre los métodos conceptuales actuales, pueden destacarse cinco: ciclo de vida, eco diseño, tecnología limpia, ecología industrial y gestión de la calidad ambiental total.

1.4.1 Reseña histórica del Análisis de Ciclo de Vida

La principal función del análisis de ciclo de vida (ACV) es la de prestar soporte en las decisiones relacionadas con productos o servicios y más específicamente la de conocer las consecuencias ambientales que se pueden esperar relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio.

El ACV empezó a utilizarse en Estados Unidos a finales de los años 60 (Anexo 1) según SETAC (1993) y Fullana y Rieradevall (1995), si bien no tenía el significado que se le da actualmente, pues los primeros ACV estaban enfocados hacia el cálculo del consumo energético asociado a los procesos productivos. Dado que para su realización había que tener en cuenta los balances de materia del proceso, fue necesario incluir en ellos el consumo de materias primas y la generación de residuos.

En el período comprendido entre 1960 y 1970, se desarrollaron las primeras herramientas analíticas y metodologías de ACV, destacando principalmente la propuesta por Robert Hunt en el *Midwest Research Institute (MRI)* en Estados Unidos, Ian Boosted de *Open University* en el Reino Unido y Gustav Sundstrand en Suecia (ISO 14042, 2000).

Entre el año 75 y comienzos de los 80, disminuye el interés por el ACV, renaciendo nuevamente a inicios de los ochenta debido, sobre todo, a dos factores:

- El incremento de la preocupación por el medio ambiente en la población, lo que hizo que tanto los industriales como la administración pusieran énfasis en el ACV. Así, los industriales lo utilizaron para definir su producto como más respetuoso con el medio ambiente, con la intención de incrementar sus ventas, mientras que la administración lo hizo con el interés de desarrollar normativas o criterios que permitieran clasificar los productos en función de su carga medioambiental (Spold, 1993).
- La fundación de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (*SETAC*) en 1979, con el objetivo de desarrollar la metodología y los criterios del ACV, temas que actualmente lidera (LCA, 2004; SETAC, 2006).

Desde principios de los años 90 se ha experimentado un gran incremento en el número de encuentros, desarrollo de metodología y posibles aplicaciones del ACV. Todo ello ha despertado el interés por esta herramienta debido, fundamentalmente, a su potencial valor para dirigir estudios ambientales enfocados a prevenir la contaminación, en vez de corregirla. A la ya mencionada SETAC se han unido otros organismos como la *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* y la *International Standards Organization (ISO)*, cuya finalidad es el desarrollo de metodologías aceptables, que incluyan una etapa de revisión crítica, garanticen la fiabilidad de los resultados de los ACV y justifiquen las mejoras a llevar a cabo en el producto, proceso o actividad de acuerdo con los resultados del mismo.

En 1993 se crea el *Comité Técnico 207 (ISO/TC 207)* en ISO, con el objetivo de desarrollar normativas internacionales para gestión medioambiental, siendo el *Subcomité SC 5* es el encargado de elaborar la normativa para el Análisis del Ciclo de Vida, habiendo desarrollado hasta la fecha:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura (ISO 14040, 2009). Norma que especifica la estructura general, los principios y los requisitos que debe contemplar un estudio de ACV, así como los aspectos que deben incluirse en el informe final del mismo.
- UNE-EN ISO 14041. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición de Objetivos, Alcance y Análisis de Inventario (ISO 14041, 1999). Define los principios a considerar en la definición de objetivos y alcance y el análisis de inventario del ciclo de vida y cómo deben recogerse estos aspectos en el informe final.
- (ISO 14042, 2000). Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del impacto del Ciclo de Vida (ISO 14042, 2000). Describe el objetivo y los requisitos generales para desarrollar la evaluación del impacto de ciclo de vida así como las distintas fases que lo componen y los aspectos a tratar en cada una de estas. Considera también la relación entre el impacto del Ciclo de Vida y el resto de las etapas.

- ISO 14043 (2000). Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida (ISO 14043, 2000). Describe la última etapa de un ACV, donde se toman en consideración los resultados del análisis de inventario y del análisis de impacto con vistas a elaborar y presentar las conclusiones del estudio.
- ISO/TR 14048 (2000). Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Formato de datos de Inventario del Ciclo de Vida (ISO/TR 14048, 2000). Esta norma, aún en elaboración, presenta un formato para la presentación de los datos del inventario.
- ISO/TR 14049 (2000). Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 (ISO/TR 14049, 2000). Esta norma proporciona ejemplos de aplicación de la norma ISO 14041 para la definición del objetivo y el alcance y llevar a cabo un Análisis de Inventario.

1.4.2 Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo: para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como los vertidos de todo tipo al entorno, para determinar el impacto de ese uso de materia y energía y de esas descargas al medio ambiente: y para evaluar y llevar a la práctica oportunidades de realizar mejoras ambientales (SETAC, 1993; Fullana y Rieradevall, 1995; SETAC, 1996; Clemente *et al.*, 2005).

Fiksel (1997), plantea que la capacidad de una entidad gestionada (producto) de cumplir simultáneamente las metas de coste, calidad y rendimiento, y reducir los impactos ambientales (disminuir las emisiones y conservar los recursos) se denomina ecoeficiencia, para determinar las mejores opciones, es necesaria una herramienta de análisis potente. Esta comparación, además, debe incorporar una concepción global del medio ambiente, sin centrarse en solo parámetro ambiental, ni en una sola fase del ciclo de vida. Dicha herramienta es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Puig y Fullana (1997), expresan que el ACV es un método de soporte a la toma de decisiones ambientales que permite identificar los impactos ambientales asociados al

producto, además de ser utilizado en otros campos como análisis de procesos y actividades.

Iglesias (2005), plantea que el ACV no es la única herramienta para analizar el comportamiento ambiental, pero el real valor del ACV es la articulación entre el criterio ambiental a través de todo el ciclo de vida y las estrategias de la empresa y planificación para alcanzar beneficios comerciales.

Los objetivos globales que persigue un ACV son:

- a) Suministrar un cuadro lo más completo posible de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el medio ambiente.
- b) Identificar las mejoras ambientales.
- c) Obtener información ambiental de calidad, que facilite el diálogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental.

En la figura 1.1, se muestran las etapas del Ciclo de Vida, aquí no se incluye la etapa de transporte y distribución que se consideran validas analizar durante todas las restantes etapas por la incidencia que en ellas tiene y por su carácter de enlace entre muchas de ellas.

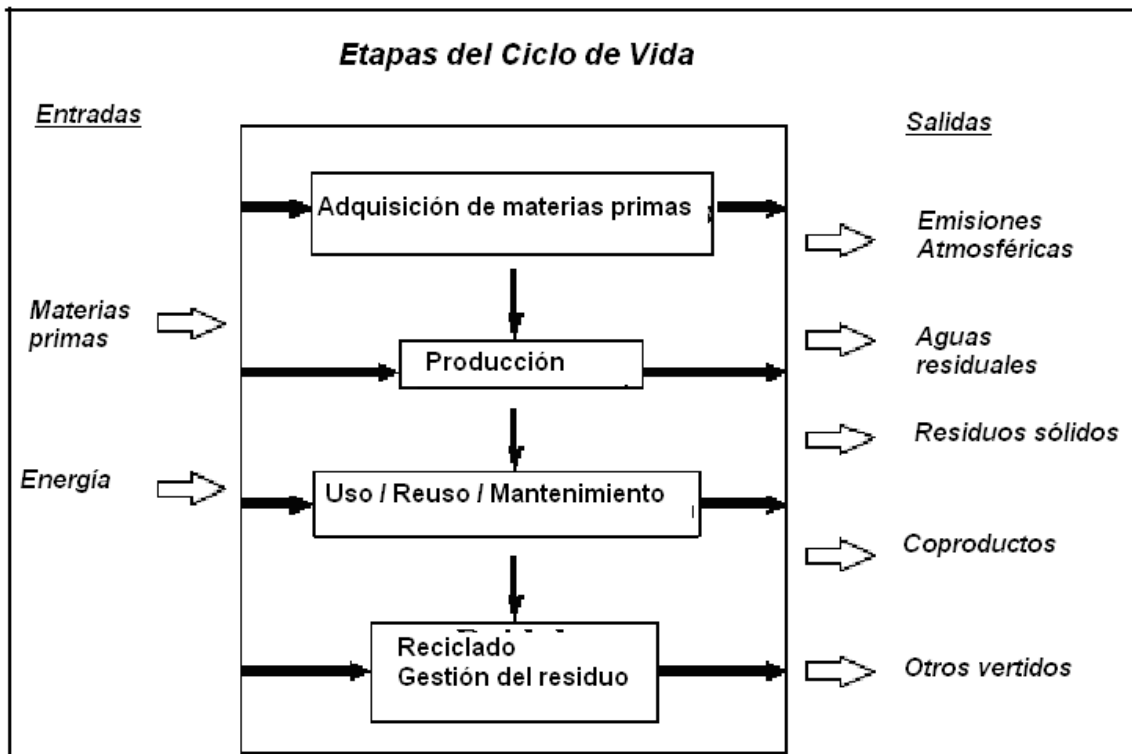


Figura: 1.1. Etapas del Ciclo de Vida (Navas, 1995; Casas y Rieradevall, 2005).

La denominación del ACV como método, herramienta, proceso, concepto o metodología es aún muy discutida y de hecho se emplea en diversos casos como uno o como lo otro en dependencia del alcance y el punto de vista del equipo ejecutor. En nuestro caso veremos el ACV como un proceso objetivo de evaluación de cargas ambientales asociadas al producto, proceso o actividad y asumimos la definición dada por la ISO en la norma ISO 14040 (2009), donde, define al ACV como una "técnica que permite evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad, a través de:

- A. Recopilación de un inventario de las entradas (materia y energía) y las salidas (productos, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, etc.) relevantes del sistema (producto, proceso y/o actividad objeto de estudio).
- B. Evaluación de los potenciales impactos medioambientales generados como consecuencia de las entradas y salidas mencionadas en el paso A.

C. Interpretación de los resultados de las dos etapas anteriores (inventario y evaluación de impacto), de acuerdo a los fines que se pretendan lograr con el ACV.

Del estudio realizado resulta oportuna la fase A dividirla en dos. En la primera se definen los objetivos y alcance del estudio y en la segunda se lleva a cabo el análisis del inventario. La clasificación de las fases de esta forma es utilizada con frecuencia en los estudios más recientes del Ciclo de Vida. Asumimos pues las fases mostradas en la figura 1.2, propuestas de esta forma por Fava y Page (1992) y son utilizadas por un gran número de autores hasta la fecha, como: Fullana y Rieradevall (1995); Casas y Rieradevall (2005); Roy *et al.* (2007) entre otros.

Puig *et al.* (1997); Domènech *et al.* (1998 a); Puig (2002)

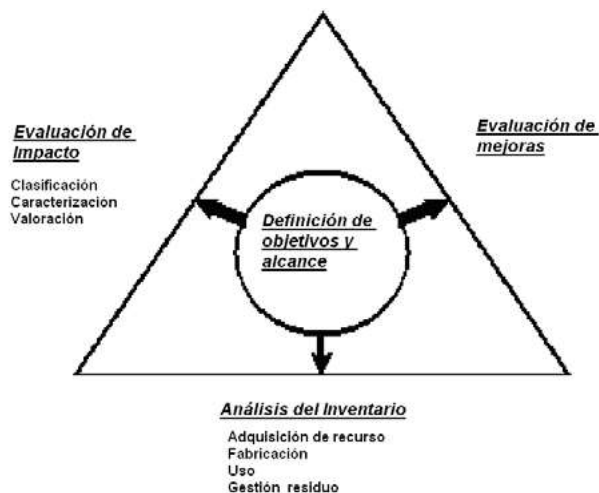


Figura: 1.2. Componentes de un Análisis del Ciclo de Vida.

1.4.2.1 Definición del Objetivo y Alcance del ACV

En la definición del objetivo del ACV, de acuerdo a la norma ISO 14040 (2009) e ISO 14041 (1999), se especifican una serie de datos necesarios para poder iniciar el estudio que incluyen:

- Persona u organismo que encarga el estudio.
- Razones y motivos para llevar a cabo el estudio y tipo de información que se espera obtener.

- Aplicación prevista del estudio y uso que va a darse a los resultados.
- Destinatario previsto del estudio.

El alcance del ACV. De acuerdo a la norma ISO 14040 (2009), el alcance debe considerar y describir los siguientes puntos:

- Funciones del sistema en estudio.
- Selección de la unidad funcional.
- Descripción del sistema en estudio.
- Establecimiento de los límites del sistema.
- Establecimiento de las reglas de asignación de cargas ambientales.
- Tipos de impacto a evaluar, metodología e interpretación.
- Hipótesis y limitaciones.
- Requisitos de calidad de los datos.

Por último, el alcance también debe incluir el tipo de revisión crítica a efectuar, si esta es necesaria de acuerdo con los objetivos del estudio y el tipo y formato que tendrá el informe final.

1.4.2.2 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

Esta fase, según ISO 14041 (1999) y Bauman y Tillman (2004), con lleva la resolución de los balances de energía y de materia del sistema, de forma que los datos finales del inventario (parámetros) se recojan en tablas y estén referidos a la unidad funcional). Se trata de la fase del ACV que más tiempo lleva debido a que, normalmente, el número de parámetros a considerar es numeroso.

Esta etapa incluye:

- Identificación y cuantificación de las entradas y salidas que tienen lugar en todas las etapas del ciclo de vida, esto es, balances de energía y de materia.
- Trazado de diagramas de flujo.

- Descripción de cada operación unitaria en detalle y relación de los parámetros del inventario correspondientes a cada una, junto con las unidades en que se expresan.
- Listado de las unidades de medida.
- Descripción de las técnicas empleadas para la recogida de los datos y de cálculo.

En cuanto a la procedencia de los datos, puede ser el mismo centro productivo, o bien pueden ser obtenidos o calculados de fuentes publicadas, como estadísticas, legislación, asociaciones, compañías gestoras de residuos y plantas de tratamiento, bibliografía, estimaciones y suposiciones, bases de datos, etc. Hay que hacer notar que la norma hace hincapié en la calidad de los datos manejados, ya que se trata de un factor básico para la credibilidad del estudio y la interpretación de los resultados.

El Análisis del Inventario (ICV) se basa en los principios del análisis de sistemas. Un sistema se define como una serie de operaciones que efectúan una función definida con precisión. El resultado o producto de un sistema puede considerarse también como un servicio. Puede decirse que el interés en aplicar la evaluación del ciclo de vida para prevenir la contaminación, es permitir la selección de las operaciones relacionadas con un sistema cuya producción se realiza de la manera más eficaz al tomar en cuenta el ciclo de vida en su totalidad.

El Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) cuantifica los consumos de materias primas y energía junto con todos los residuos sólidos, emisiones a la atmósfera y vertidos al agua (las cargas medioambientales) derivados de todos los procesos que están dentro de los límites del sistema. Los resultados de un estudio de ese tipo generan un inventario de las cargas medioambientales asociadas a la unidad funcional (Clemente *et al.*, 2005).

Como ejemplos de unidades funcionales más comúnmente utilizadas en el contexto de la gestión de residuos pueden citarse:

- Por peso unitario de residuos sólidos urbanos.

- Por número de unidades de equivalentes domésticos de residuos sólidos recogidos
- Cantidad de residuos sólidos recogidos de un área geográfica dada.

En los límites del sistema generalmente se incluyen:

- La secuencia de producción principal, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final del producto, inclusive.
- Operaciones de transporte
- Producción y uso de combustibles
- Generación de energía (electricidad y calor incluyendo producción de combustible)
- Eliminación de todos los residuos del proceso
- Fabricación del embalaje de transporte

En los límites del sistema generalmente se excluyen:

- Fabricación y mantenimiento de equipos de producción
- Mantenimiento de plantas de fabricación (calefacción e iluminación).
- Factores comunes a cada uno de los productos o procesos en estudio.

Una vez que se han fijado los límites de un estudio determinado, la siguiente fase es recopilar los datos que constituirán la base para todos los cálculos.

Se ha generado un proceso gradual para efectuar los inventarios del Ciclo de Vida. El componente del inventario es la parte mejor definida de una evaluación de ciclo de vida desde el punto de vista de la metodología. El procedimiento da inicio con una definición clara del propósito de llevar a cabo análisis de inventario y de la identificación de los límites que definen el sistema del ciclo de vida. El propósito, alcances y límites de inventario ayudan a determinar el nivel o el tipo de información necesaria. Los objetivos de la calidad de los datos son las especificaciones de desempeño necesarias para la información de un inventario del Ciclo de Vida. Los indicadores de la calidad de los datos constituyen características cualitativas o

cuantitativas de los mismos e incluyen la aceptabilidad, la representatividad, así como otros atributos que miden el beneficio y la posible aplicación de los datos (Anexo 2).

1.4.2.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

La evaluación de impactos facilita la interpretación y combinación de los datos del inventario, de forma más manejable y significativa para la toma de decisiones según lo abordado por ISO 14042 (2000). En el enfoque orientado a los problemas, los datos del inventario se agregan según las contribuciones relativas a un número medible de preocupaciones medioambientales.

Esta fase se hace corresponder cada parámetro obtenido en el Análisis de Inventario, con el potencial impacto ambiental a que da lugar. En esencia, la evaluación de Impacto del Ciclo de Vida consiste en el desarrollo de las siguientes acciones:

- Elaboración de un inventario de categorías de impacto a que pueden dar lugar las diversas cargas ambientales generadas por el sistema del producto (efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos).
- Selección, para el sistema en estudio, y en función de los resultados del inventario, de las categorías de impacto que hay que considerar.
- Asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto a las que contribuyen, teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden producir más de un impacto.
- Cálculo de las contribuciones individuales de cada parámetro del inventario a un determinado impacto, calculándose posteriormente las contribuciones totales al mismo.
- Establecimiento de un orden de importancia entre los impactos considerados.

Estas acciones se llevan a cabo a través de tres pasos: clasificación, caracterización y valoración.

1.4.2.3.1 Clasificación

Es la fase de la Evaluación de Impacto donde se identifican los impactos a considerar en el ACV, los cuales se agrupan en:

- Consumo de recursos
- Calentamiento global
- Reducción de la capa de ozono
- Toxicidad humana
- Eco toxicidad
- Acidificación
- Eutrofización
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Usos del suelo
- Ruidos y olores
- Efectos a la salud en el lugar de trabajo
- Generación de residuos

Conservación de recursos naturales y diversidad de especies según SETAC (1993), estas categorías de impacto a considerar en un ACV se engloban en tres grupos principales.

- Consumo de recursos naturales (R)
- Impactos al ecosistema (E)
- Daños a la salud (S)

Las categorías de impacto también pueden clasificarse en función del tipo de impacto que origina cada una, distinguiéndose dos grupos:

- Efectos globales: aquellos cuyo impacto es independiente de la localización geográfica en la que se extraen los recursos o en la que tienen lugar las emisiones (consumo de energía, calentamiento global, y efecto sobre la capa de ozono, etc.).

- Efectos de alcance regional o local: aquellos cuyos impactos sólo afectan a un área geográfica localizada (Acidificación, Oxidación Fotoquímica, Eutrofización de las aguas, etc.).

1.4.2.3.2 Caracterización:

En esta fase los parámetros inventariados se adicionan dentro de la categoría de impacto a la que contribuyen. Para ello, se tiene en cuenta su contribución potencial a ese impacto, la cual se expresa en forma de un factor denominado factor de caracterización (Anexo 3).

Para definir el factor de caracterización se selecciona, de entre todas las especies que contribuyen a un impacto, la más representativa, expresándose el resto en función de ella. Así, para el caso de la acidificación, el factor de caracterización es el denominado Potencial de Acidificación (PAC), el cual se define como la capacidad de una unidad de masa contaminante para emitir H⁺ en relación con la capacidad que tiene el SO₂.

La contribución parcial de cada parámetro al impacto de acidificación según Hospido *et al.* (2006), se calcula multiplicando la cantidad del mismo emitida (mi) (referida a la unidad funcional), por su respectivo potencial de acidificación (PAC) expresado en forma de kg de SO₂ equivalente por kg de i (factor de caracterización), (Tabla 1.2).

Tabla 1.2: PAC para algunos gases representativos (kg eq. SO₂ /kg i)

SUSTANCIAS	PAC
SO ₂	1
SO ₃	0,8
NO ₂	0,7
HCl	1,07
HNO ₃	0,88

La contribución total al impacto se obtiene mediante la suma de todas las contribuciones parciales, lo cual puede expresarse como lo refiere la ecuación 1.1.

$$\text{PAC (kg SO}_2\text{ – eq)} = \sum (\text{PAC}_i * \text{mi}) \quad (1.1)$$

Si bien la etapa de caracterización no está del todo desarrollada, sí existen algunos puntos internacionalmente aceptados, sobre todo en relación con la unidad de referencia para el cálculo de las contribuciones a un impacto.

Por último, la caracterización se completa con un análisis de la importancia relativa de cada impacto considerado, mediante un proceso denominado “análisis técnico de significancia” (término propuesto por ISO), o “normalización” (término propuesto por SETAC). Esta etapa consiste en el cálculo de la contribución relativa del total de las cargas del producto y el proceso en estudio a un impacto en un área y en un tiempo dado, de otra forma, los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud esperada de cada una de las categorías de impactos para un área geográfica y en un momento temporal determinado (por ejemplo, la cantidad media de dióxido de carbono generada por una persona durante el día) (Hospido *et al.*, 2006). Si bien ISO no considera obligada esta etapa, para SETAC la normalización es necesaria debido al hecho de que los valores que se obtienen durante la caracterización están expresados en diferentes unidades y la normalización hace posible su traslado a unidades que permitan su comparación y su interpretación posterior.

1.4.2.3.3 Valoración

El objetivo es obtener un gradiente de importancia de los impactos considerados en la caracterización. Para ello se realiza un análisis cualitativo o cuantitativo de ellos, con el fin de establecer prioridades, debiendo incluirse puntos de vista políticos, valores sociales, valores de expertos ambientales, valores del que toma la decisión, etc. Esto lleva implícito cierto grado de subjetividad, aunque el procedimiento para incorporar factores de valoración puede tener en cuenta conocimientos científicos (sobre todo de ciencias sociales y de comportamiento) y los resultados, en principio, pueden ser empíricamente verificables.

Esta etapa no se encuentra del todo desarrollada, existiendo una gran necesidad de optimización y estandarización. Esto conlleva que en algunos análisis se obvian y las

conclusiones se expresen como la contribución relativa de los efectos, esto es, qué un efecto es mayor que otro.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo, se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) según la norma cubana ISO 14040 (2009), se realiza el análisis del inventario de la generación de electricidad a partir del fuel oil en la central eléctrica en el municipio de Bayamo Granma, para ello se logró un compromiso por parte de la dirección de la empresa con el objetivo de asegurar el éxito en el trabajo y las futuras mejoras al sistema.

Para la realización del inventario, fue necesario precisar algunos aspectos recogidos en la metodología tales como: objetivo, alcance y análisis de inventario en una primera aproximación, para lo cual fue necesario aplicar los métodos empíricos (observación, medición de las emisiones gaseosas, líquidas y la experimentación al procesar la información y calcular las medias).

2.1 Caracterización de la central eléctrica fuel oil Bayamo 110 kV

El presente trabajo se realizó en la central eléctrica fuel oil Bayamo 110 kV, ubicada en carretera vía Santiago de Cuba km. 4½. Colinda por el norte con la Central eléctrica diesel Bayamo y con la SE Bayamo 110 kV, por el sur con la Empresa GEYSEL.

Se tomaron en cuenta los diferentes indicadores y parámetros de los equipos que determinan el correcto y eficiente trabajo en los motores, se tomaron muestras de residuales líquidos y gases de escape en los motores con los cuales se realizaron análisis de las muestras, se valoró el estado técnico para poder cumplir la tarea de generar la energía eléctrica.

MISIÓN

Garantizar la disponibilidad técnica de los grupos electrógenos encargados de la generación de energía eléctrica. Para ello cuenta con una plantilla de 62 trabajadores, de estos 8 son profesionales, 50 técnicos medios, 4 obreros, además se cuenta con 14 mecánicos de la EMGEF, de ellos 2 profesionales y 12 técnicos medios, dedicados a garantizar la disponibilidad de los medios.

2.2 Definición del objetivo, alcance y análisis del inventario de ciclo de vida (ISO 14041, 1999)

El objetivo y alcance, no es una etapa como tal del ACV, no obstante muchos autores consideran que por la importancia que tiene, se analice independientemente.

2.2.1 Objetivo

Para la ejecución de un ACV en el proceso de generación distribuida de electricidad se tienen como objetivo:

- Realizar el análisis del inventario de la generación distribuida de electricidad en las centrales fuel oil del municipio de Bayamo en la provincia Granma.

2.2.2 Alcance

Para definir el alcance se considera el sistema del producto a estudiar y las limitaciones y suposiciones más importante para el estudio del ACV.

2.3. Unidad funcional y descripción del sistema.

La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado a partir de la cual se registrarán los datos de entrada y salida, por lo que debe ser claramente definida, medible y consistente con el objetivo y alcance del estudio.

La unidad considerada en el estudio fue la producción de electricidad en megawatt (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.

2.3.1. Límites del sistema

Los límites del sistema se establecen según los objetivos y alcance del estudio y definen los procesos unitarios que serán incluidos dentro del análisis de ciclo de vida, la región externa a los límites se conoce como el entorno del sistema, el cual actúa como fuente para las entradas y como sumidero para todas las salidas.

En cualquier sistema en estudio es difícil determinar todas las entradas y salidas por lo que se hace necesario establecer los límites del mismo, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes elementos:

- Describir los límites del sistema usando un diagrama de flujo mediante líneas discontinuas.
- Incluir el proceso de transportación de las materias primas (aditivos, diesel, fuel oil, aceite 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, diesel, aceite 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).

2.3.2. Descripción de las categorías de datos

Los datos requeridos están en correspondencia con el objetivo y alcance del estudio, los mismos fueron obtenidos en el sitio de producción, en el caso de las emisiones y caracterización de residuales por el laboratorio de la entidad autorizado por los organismos competente y corroborados en laboratorios de la Empresa de Recursos Hidráulicos, estos datos se obtienen mensuales por ser esta la forma de cuantificación más conveniente según los informes realizados, por lo que se toma como promedio la producción en un mes en el año 2011.

En los procesos de transportación se considera el gasto de combustible para el traslado de las materias primas y combustibles, así como, la distribución de los desechos líquidos, por ser estos elementos más reales en la cuantificación que el tipo de vehículo utilizado.

2.3.3 Suposiciones y limitaciones

Se deben dejar explícitas las suposiciones o consideraciones que se tomen durante el estudio, en muchas ocasiones no se dispone de todos los datos o se desprecian los que no resultan significativos, menos del 2 %, según Rieradevall, et al. (2000).

2.3.4 Requisitos de calidad de los datos

La calidad de los datos para cada proceso establecido dentro de los límites del sistema a estudiar es importante para comprender la fiabilidad de los resultados.

Se tuvo en cuenta dentro de los requisitos de calidad los siguientes:

- Tiempo
- Geografía
- Tipo
- Asignación
- Límites del sistema

2.3.5 Análisis del inventario (ISO 14041, 1999)

El análisis del inventario de un ciclo de vida tiene que ver con la compilación de datos y los procedimientos de cálculo a seguir para cuantificar las entradas y salidas del sistema en estudio.

Para este análisis se comenzó por la preparación para la compilación de los datos, posteriormente se compilan los datos, se validó y se relacionaron los datos con los procesos unitarios obtenidos por la empresa, proveedores, clientes y otros medios, según modelo.

Para determinar los componentes en los gases producto de la combustión se empleó un analizador de gases con características mostrada en el anexo 4 y figura 2.1, se realizaron 10 muestreos para lograr una media aritmética, comparándola según UNE (2005) con las Norma Cubana de calidad del aire NC 93-202-02/1987 y su enmienda (NC 39, 1999), ver tabla 2.2.



Figura. 2.1: Analizador degases (BOSTON)

En el caso del análisis del agua residual se tomaron 6 muestras y se procesaron en el laboratorio de la propia entidad y se corroboraron en el laboratorio de la Empresa de Recursos Hidráulicos, comparándola con los valores límites dados por la norma cubana(NC 27, 1999), ver tabla 2.3.

Tabla: 2.2: Concentraciones máximas admisibles (CMA (a) en 20 min. y CMA (c) en 24 horas)según la NC 39 (1999).

	CO (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	H ₂ S (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
CMA (a)	5	0.500	0.008	0.085
CMA (c)	3	0.050	0.008	0.04

La presencia de contaminantes en los gases de combustión puede detectarse a partir de la concentración de los componentes del gas. Generalmente, se utilizan las unidades siguientes:

- ppm (partes por millón)
- mg/m³ (miligramos por metro cúbico)
- mg/kWh (miligramos por kilowatt-hora de energía)

Para convertir de ppm a mg/m³ se emplean las fórmulas 2.1 (TESTO, 2004):

$$CO (mg/m^3) = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times CO (ppm) \times 1,25$$

$$NO_x (mg/m^3) = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times 2,05 \times (NO (ppm) + NO_2 (ppm))$$

$$SO_2 (mg/m^3) = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times SO_2 (ppm) \times 2,85$$

(2.1)

Tabla 2.3: Límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor.

Parámetros	UM	Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mL/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0,5	1,0	5,0
DBO ₅	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

2.4 Evaluación del impacto del ciclo de vida

En esta etapa de la metodología del análisis del ciclo de vida del proceso de generación de energía eléctrica se evalúa la importancia relativa de los diferentes vectores de estrés ambiental (emisiones, uso del suelo, etc.), que con dependencia de las características propias de las regiones geográficas en las que actúan, pueden

tener mayor o menor efecto en la salud humana, la calidad de los ecosistemas y en los recursos.

Para la evaluación del impacto se utiliza el software SimaPro7.1, usando el método del Eco-indicador 99, el cual ofrece innumerables posibilidades, como se mencionó anteriormente. La estructura para la evaluación del impacto está determinada por los elementos establecidos según ISO 14041 (1999).

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
- Clasificación.
- Caracterización.

Y un elemento opcional:

- Ponderación.

2.4.1 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, eco-toxicidad, agotamiento de combustible fósiles y agotamiento de minerales), tres categorías de daños (daño a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos) y la asignación de acuerdo al software Simapro 7.1.

2.4.2 Clasificación

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

2.4.3 Caracterización

Se considera para la caracterización el mecanismo ambiental propuesto por GOEDKOOOP y SPRIENSMA (1999), 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 Ingles), fracción potencialmente disipada en un área determinada durante cierto periodo de tiempo ($PDF \cdot m^2$), fracción potencialmente afectada en un área determinada durante cierto periodo de tiempo ($PAF \cdot m^2$) y energía excedente (MJ surplus).

2.4.4 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.

2.5. 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 plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones respecto a los cambios que puedan ser generalizables en la Generación de Energía Eléctrica para un mejor manejo del ecosistema.

Se establecen opciones de mejora cualitativas y cuantitativas asociadas con herramientas de prevención de la contaminación industrial a partir de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

En este capítulo se aplica una metodología relacionada con la utilizada en capítulos anteriores en los procesos de producción en la central eléctrica fuel oil Bayamo 110 kV, UEB generación distribuida perteneciendo a la empresa eléctrica Granma (OBE). Se desarrollaron talleres, entrevistas y capacitación personal y colectiva con trabajadores y técnicos de la central, sumando un total de 62 trabajadores. Se trataron los siguientes temas:

- Análisis del ciclo de vida (ACV).
- Aplicaciones del ACV.
- Fases del ACV y metodología general para su aplicación.
- Técnicas para la selección de opciones.
- Uso racional de recursos.
- Experiencias de caso exitosos.

3.1 Objetivo y Alcance

Para la ejecución de un análisis de inventario como primer paso para el ACV en el proceso de producción de electricidad a partir de grupos electrógenos alimentados con fuel oil se tienen como objetivo:

- Realizar el análisis del inventario de la generación distribuida de electricidad en la Central eléctrica Fuel oil del municipio de Bayamo en la provincia Granma.

3.1.1 Unidad funcional y descripción del sistema

Se considera la unidad funcional que genera 10 365 428 MW en un mes de trabajo. La descripción del sistema se basa en la producción de electricidad a partir de grupos electrógenos utilizando como combustible el fuel oil.

El proceso comienza con la recepción de combustible fuel oil, diesel y aceite, estos productos se descargan mediante bombas que se conectan a los carros cisternas de CUPET (Cuba Petróleos), almacenándose las materias primas en dos tanques para

combustible fuel oil de 1 000 m³, para diesel en dos tanques de 100 m³ y un tanque de 50 m³ para el aceite.

El combustible diesel se bombea desde los tanques de recepción al tanque en la planta de tratamiento de combustible, de donde se suministra a los motores de combustión interna (HYUNDAI) para los momentos de arranque y paradas, el motor es el encargado de mover el generador eléctrico. El mismo se sincroniza al sistema Electro-energético Nacional (SEN) o se puede alimentar al consumidor directamente (Modo en isla).

Los gases de escape del motor, se aprovechan en las calderas recuperativas, el vapor producido es utilizado para calentar el combustible pesado fuel oil, el mismo se bombea desde los tanques de recepción hasta la planta de combustible, se calienta de 90 °C a 98 °C disminuyendo su viscosidad en 32 a 34 cSt., aplicando un proceso de centrifugado por medio de purificadoras se extraen impurezas, mejorando la calidad del combustible; finalmente el combustible se calienta a 125 °C disminuyendo la viscosidad de 12 a 14 cSt., para así poder inyectarlo en los motores y lograr que sea combustionado eficientemente.

Para lograr un trabajo continuo de los motores y así de la generación, el aceite de los motores es tratado en una purificadora, la misma le extrae las impurezas, la cual es depositada en un tanque de combustible residual-lodo.

En el proceso de purificación del fuel oil también obtenemos un combustible residual lodo, que sumado al residual de aceite es transportado a las plantas de cerámicas y asfalto para ser usado como combustible, materia prima que abarata los precios de la producción, así como la disminución de los contaminantes pues estos hornos están preparados para utilizar combustible residual lodo, aceites usados y fuel oil.

Para que las calderas y motores se mantengan trabajando y generando vapor se necesita agua tratada, obtenida en una planta a base de filtro de carbón, membranas y un proceso de ósmosis inversa. Agregándole productos químicos, podemos obtener de ese modo un agua libre de impurezas que no ocasiona incrustaciones en los sistemas de las calderas y motores.

Luego de tener estas condiciones en el combustible, aceite y agua, los motores mueven un generador de 1.6 MW/h sincronizado al SEN, pero antes la energía es suministrada a las subestaciones de transmisión y finalmente a los consumidores. (ver figura 3.1)

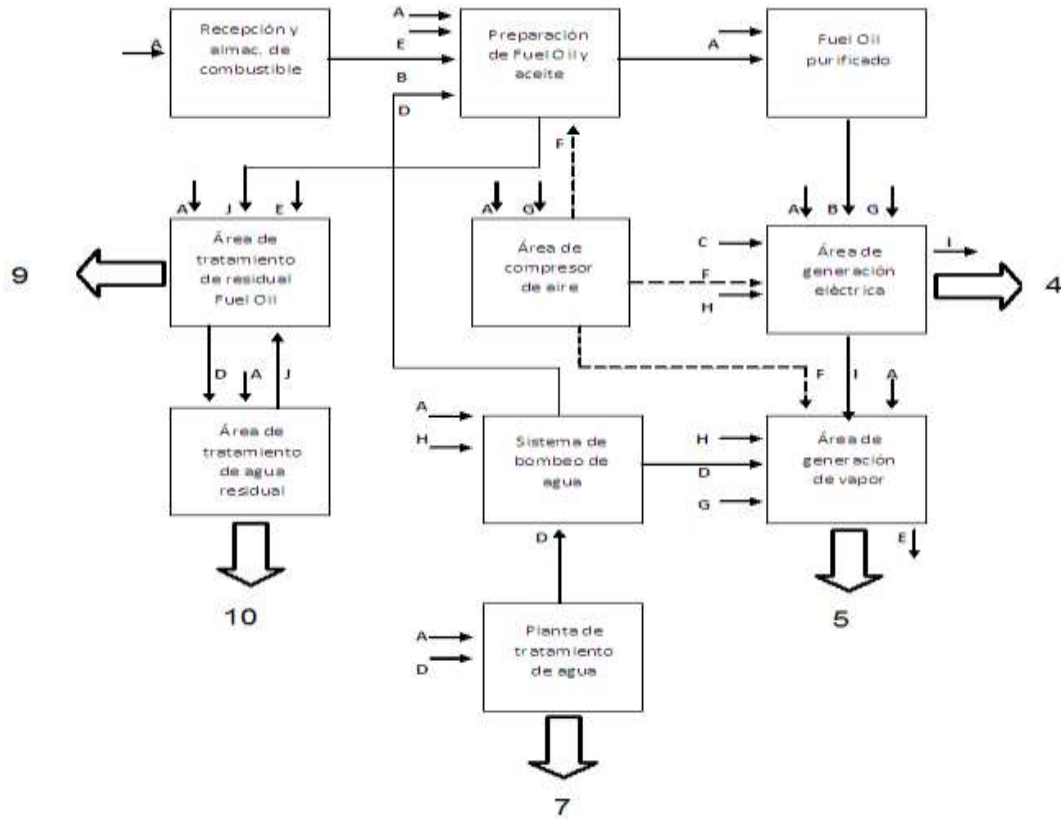


Figura 3.1. Representación del sistema de estudio.

Tabla 3.1: Leyenda de la figura 3.1

LEYENDA			
MEGAWATT HORA	A	GASES DE LA COMBUSTIÓN	I
FUEL OIL	B	RESIDUAL FUEL OIL – ACEITE	J
DIESEL	C	MEGAWATT	BLOQUE (4)
AGUA	D	GASES DE COMBUSTIÓN	BLOQUE (5)
VAPOR	E	AGUA RESIDUAL DURA	BLOQUE (NC 27)
AIRE COMPRIMIDO	F	ACEITE RESIDUAL FUEL OIL	BLOQUE (9)
ACEITE	G	AGUA CONTAMINADA	BLOQUE (10)
ADITIVOS	H		

3.1.2 Límites del sistema

El ciclo de vida de la generación eléctrica se contemplan en 10 etapas (ver figura 3.1 y tabla 3.1), cada una de ellas con el conjunto de sus actividades que están estrechamente relacionadas, interactuando unas con otras y transformando elementos de entradas en salida, referido al uso de materias primas, energía y combustible, obteniéndose productos residuales y emisiones al medio ambiente, por lo que se requiere conocer detalladamente el proceso por cada operación por separado, estableciendo para ello los límites del sistema (figura 3.2), partiendo del objetivo y alcance, es de señalar que en este caso no se tuvo en cuenta las subestaciones de transmisión ni los consumidores de la energía, pues traería otros análisis que dificultaría el estudio. En el análisis de los límites del sistema se comenzó con la selección de todas las entradas necesarias para la generación de electricidad y las salidas como emisiones al aire, agua y suelo responsables de contribuir en la contaminación del ecosistema.

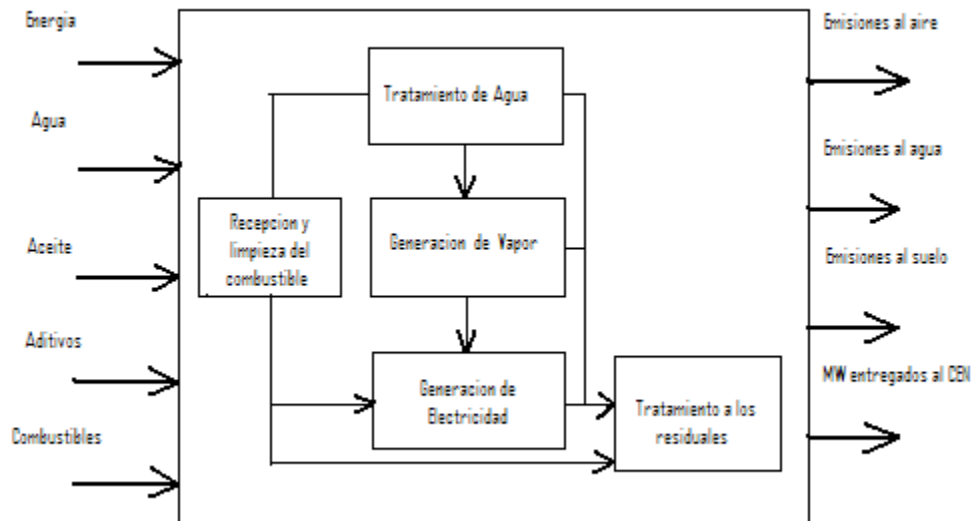


Figura 3.2. Modelo de ciclo de vida para la generación de electricidad.

3.1.2.1 Procedimientos de asignación de cargas ambientales

En el estudio se tuvieron en cuenta para la inclusión de entradas y salidas los siguientes criterios de corte.

- La masa de todas las materias primas empleadas en el proceso de generación como entrada de masa al sistema.
- La energía empleada como entrada al sistema asociada al consumo eléctrico y combustible empleado en las transportaciones.
- La importancia ambiental de todas las entradas y salidas del sistema.

La asignación de las cargas ambientales en el proceso se realiza por cada etapa del proceso productivo, teniendo en cuenta todas las entradas y salidas reportada en un mes.

3.1.3 Limitaciones y suposiciones

- El cálculo de los productos gaseosos se realizan mediante el empleo de analizadores de gases de la propia instalación.
- Las características físicas, química y microbiológicas de las aguas residuales fueron determinadas por el laboratorio perteneciente al propio emplazamiento y corroborada en el laboratorio de la empresa de recursos hidráulicos.

3.2 Análisis del inventario

En el análisis del inventario se cuantificaron todas las entradas y salidas del sistema, incluyendo el uso de recursos y las emisiones generadas asociada al sistema.

3.2.1 Balance de materiales, agua, energía y productos químicos

En la tabla 3.2, se da a conocer el inventario realizado a 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 3.2: Inventario de materiales para la generación de electricidad.

Flujos	Unidad	Cantidad	Observaciones
Fuel oil (generación)	t	2433,03	Combustible fundamental para el funcionamiento de los MCI.
Diesel (generación)	t	33,58	Empleado para los momentos de arranque y parada de los grupos electrógenos.
Aceite motor	L	8709	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 motor.
Electricidad consumida	MW	325,877	Energía eléctrica consumida del SEN.
Potencia eléctrica generada	MW	10365428	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 fuel oil y del aceite.
Diesel transporte	t	2,47	Combustible empleado en la transportación del fuel oil, diesel y aceites materias primas necesarias en el proceso y del 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	3000	Se estiman que 3000 kg se decanta, filtra y luego se vierte al terreno.

3.2.2 Emisiones al aire

Las emisiones de gases contaminantes fueron determinadas mediante el analizador de gases BOSTON especificado en el epígrafe 2.1.3, mostrándose los resultados en la tabla 3.3. 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.

Tabla 3.3: Análisis Cantidades de contaminantes generados

Muestras	TFG (°C)	TAC (°C)	O₂ %	CO ppm	CO₂ (%)	SO₂ ppm	NO₂ ppm	PERD. (%)	EFC (%)
Muestra 1	309	21.1	14,4	330	5,9	274	680	33,1	66,9
Muestra 2	330	21.8	13,1	189	6,8	318	743	33,1	68,9
Muestra 3	350	22.6	12,6	172	7,2	279	724	31	69
Muestra 4	330	21.8	13,1	189	6,8	318	743	31,1	68,9
Muestra 5	389	24,4	11,9	335	7,1	380	590	31,9	68,1
Muestra 6	324	25,3	13,1	128	6,8	308	590	30,1	69,9
Muestra 7	324	25	12,8	112	7	331	643	29,4	70,6
Muestra 8	336	23,9	12,8	107	7,1	318	642	30,3	69,7
Muestra 9	389	24,4	11,9	335	7,8	380	590	31,9	68,1
Muestra 10	324	25,3	13,1	128	6,8	308	590	30,1	69,9
Media	340,5	23,56	12,88	172,8	7	<u>321,4</u>	<u>653,5</u>	31	<u>69</u>

Donde: TFG (°C)-Temperatura del flujo de los gases; TAC (°C)-Temperatura del aire comburente; PERD. (%) – Pérdidas; EFC (%) – Eficiencia.

- Por los resultados medidos se determinó, según los parámetros condenatorios para motores fuel oil, que las emisiones gaseosas se encuentran en norma (NC 39, 1999), a excepción del NO₂ (653,5 ppm = 16,5 mg/m³) y SO₂ (321,4 = 11,3 mg/m³). La eficiencia es baja inferior al 70 %.

3.2.3 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.

Los sistemas colectores de esta agua son sistemas de piscina que por decantación, van tratando de eliminar la mayor parte de contaminantes, luego pasan por filtros de carbón activado, arena, aserrín y piedras estas corrientes residuales son dirigidas hacia el suelo afectando la calidad del ecosistema. 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 lluvias.

Los análisis a los residuales se realizaron en el laboratorio que para esos efectos cuenta la instalación y se corroboraron en el laboratorio de la EMP de Recursos Hidráulicos. Los resultados se muestran en la tabla 3.4.

Para la evaluación del efluente se tuvo en cuenta lo establecido en la legislación vigente donde aparecen los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) establecidos en las normas cubanas: NC 27 (1999). “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y en los alcantarillados. Especificaciones”

Tabla 3.4: Características físico química de las aguas residuales (27.4 °C)

Muestras	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	ST (mg/L)	STS (mg/L)	STF (mg/L)	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)	HC (mg/L)
1	7.30	640.00	762.50	305.00	457.50	711.36	650.00	430.00
2	7.80	700.00	727.50	370.00	357.50	786.25	160.00	50.00
3	7.44	660.00	862.50	452.50	410.00	672.22	430.00	410.00
4	6.10	630.00	645.00	290.00	355.00	960.00	385.20	263.00
5	5.90	640.00	615.00	242.00	372.00	960.00	334.70	243.00
6	6.00	630.00	625.00	250.00	375.00	960.00	330.40	231.30
Media	6.76	650.00	706.25	318.25	387.83	841.64	381.72	271.22

Donde: 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 las Normas Cubanas (NC 27, 1999), 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 < 4000). No se cumple en los demás parámetros analizados para ningún

cuerpo receptor, de la norma anteriormente mencionada.

En la norma no se contempla el parámetro hidrocarburo (HC: petróleo y sus derivados) porque está prohibido su vertimiento a cualquier cuerpo receptor de los mencionado en la misma.

3.2.4 Conformación del inventario

El modelo de inventario final se obtuvo del procesamiento y análisis de los datos de primer plano, los datos de fondo mediante la base datos ecoinvent contenida en el software SimaPro 7.1 y otros elaborados durante el trabajo a partir del proceso de generación de energía eléctrica en la Central Eléctrica Fuel Oil Bayamo 110 kV.

3.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Se realiza la evaluación del impacto en la generación de energía eléctrica en la central eléctrica fuel oil Bayamo 110 kV a partir del análisis del inventario, obtenido a través del software Sima Pro 7.1 aplicando el método Eco-indicador 99.

3.3.1 Caracterización

En la figura 3.3, se muestra la caracterización del proceso de la generación de electricidad a partir de datos asignados a cada categoría de impacto, observando que todas las categorías tienen valores positivos (perjudiciales) para el medio ambiente.

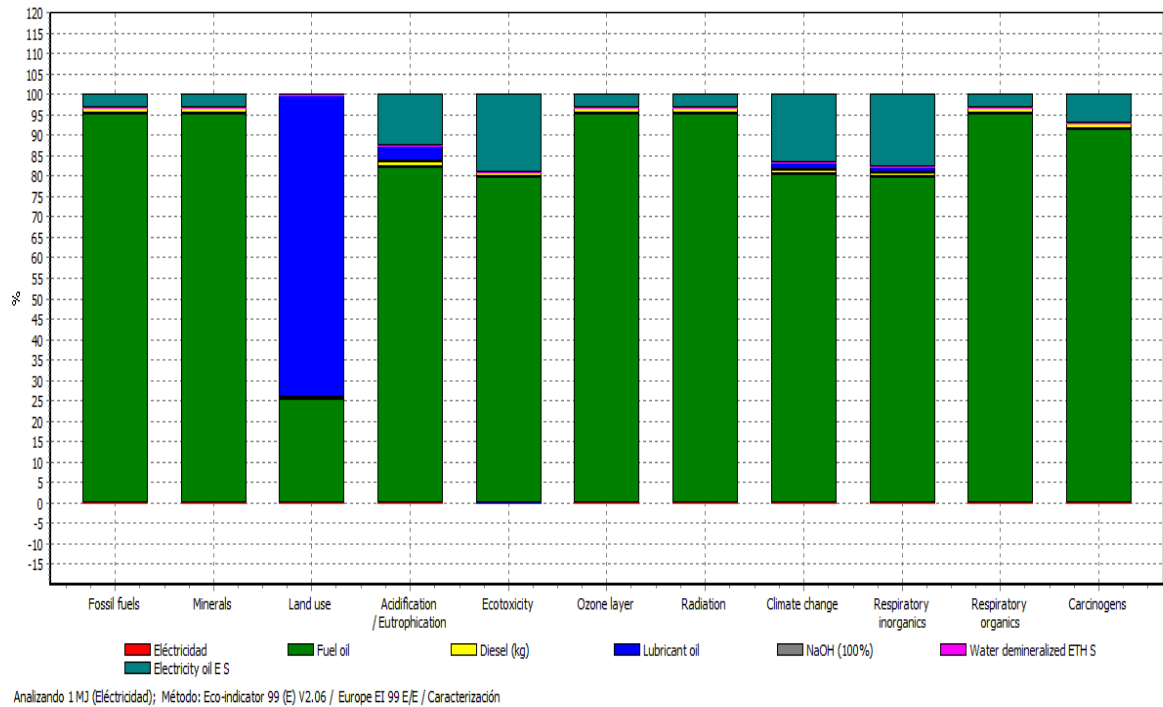


Figura 3.3. Caracterización de la generación de electricidad.

Los problemas medioambientales 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.

3.3.2 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 medio ambiente, se observa que se encuentran con mayores contribuciones las categorías del uso de combustible fósiles, la respiración de compuestos inorgánicos, el uso del terreno, la acidificación/ eutrofización, cambio climático y eco-toxicidad.

Los resultado 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 diesel y aceites como materias primas principales

para el proceso y a la generación de residuales líquidos los que se vierten al terreno, afectando la flora, la fauna y la calidad del ecosistema (ver figura 3.4).

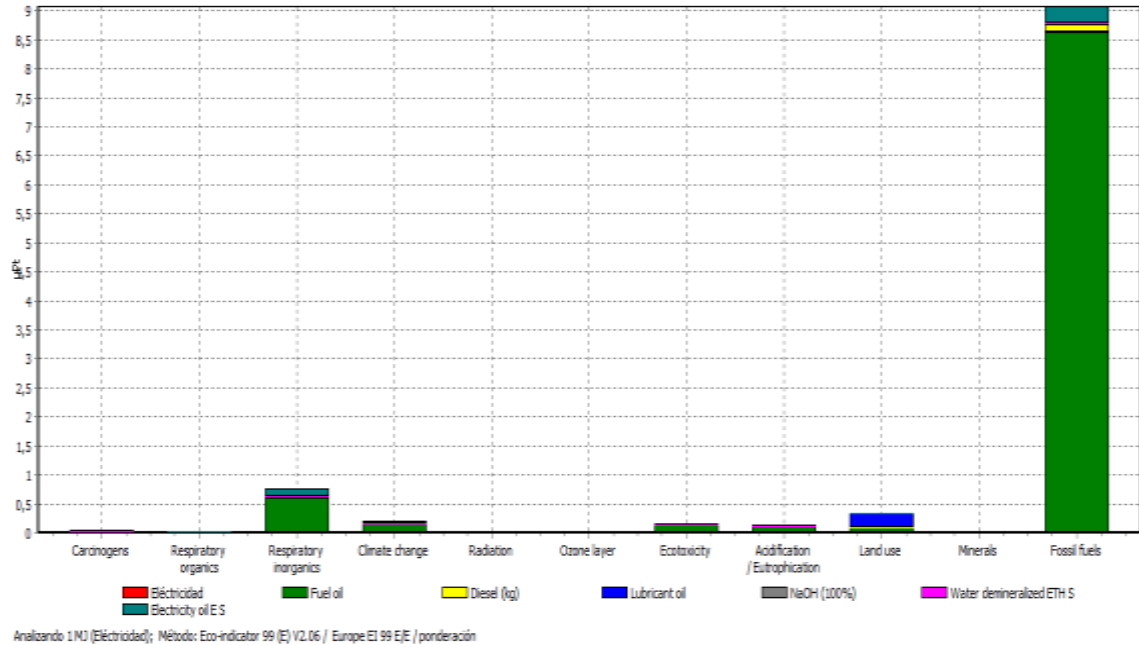


Figura 3.4: Ponderación del proceso de generación de electricidad.

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.

Las figuras 3.5 y 3.6, muestran el impacto que produce el proceso de generación de electricidad a partir de centrales eléctricas fuel oil en las tres categorías de impacto según SETAC (1993).

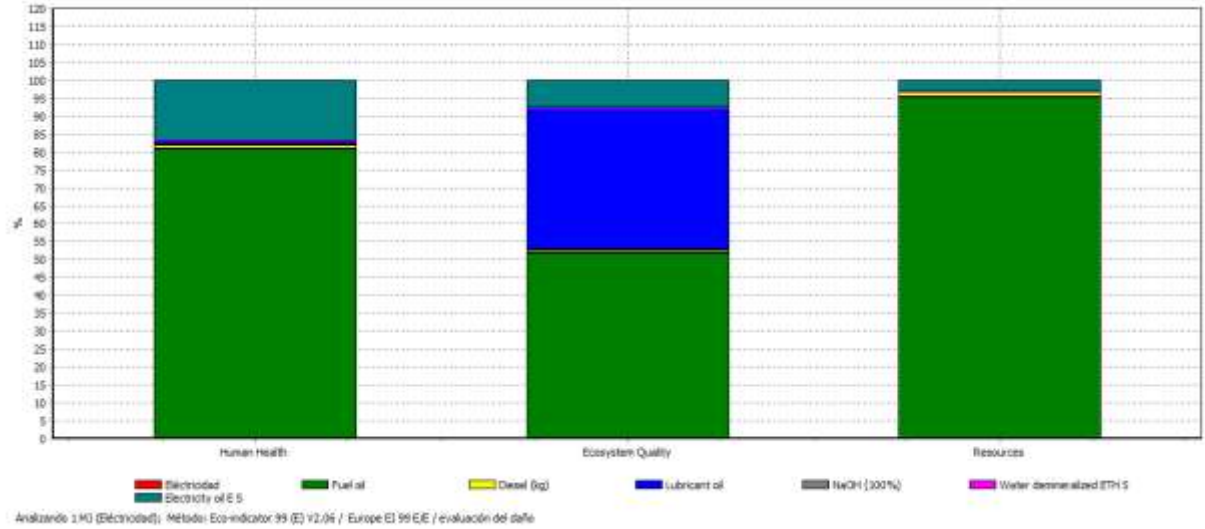


Figura 3.5: Evaluación ambiental en los tres grandes grupos de los problemas medioambientales.

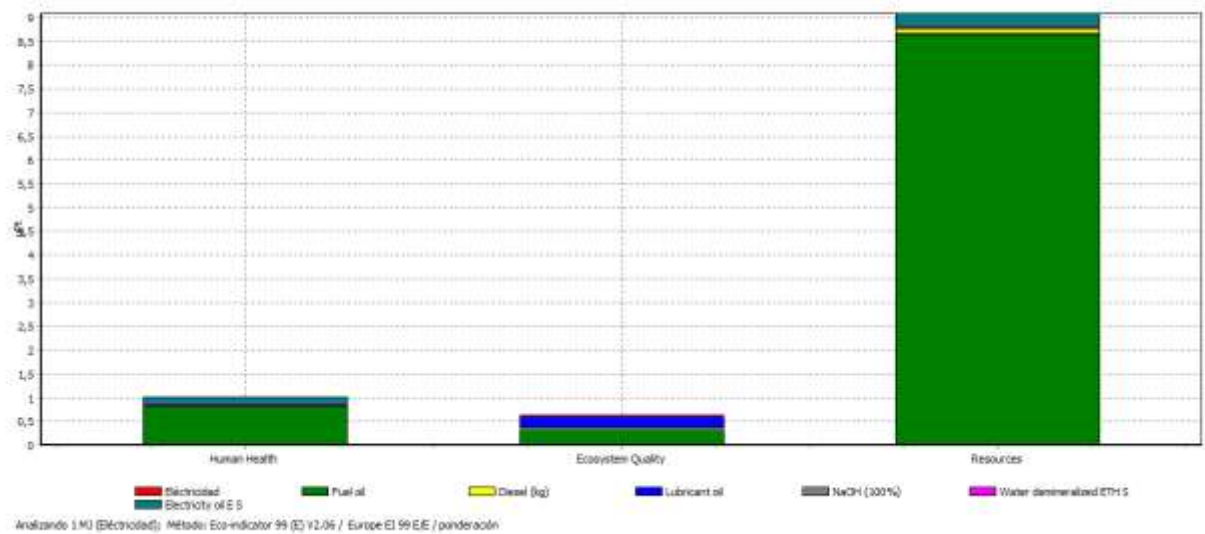


Figura 3.6. Ponderación de los tres grandes grupos de problemas medioambientales.

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

3.4 Interpretación del ciclo de vida

Después del análisis detallado de los resultados obtenidos en la evaluación de impacto se puede observar que la mayor parte de las cargas contaminantes que están afectando la flora, la fauna y la calidad del ecosistema urbano están generadas en primer lugar por la emisión de gases contaminantes producto a la combustión de los motores en la generación de electricidad y en segundo lugar a las emisiones de residuales líquidos, por tal motivo se deben realizar mejoras dentro del proceso que contribuyan a disminuir el uso de combustible fósiles y tratamiento a los residuos líquidos generados.

3.4.1 Propuestas de opciones de mejoras para disminuir el impacto ambiental

Con vista a minimizar los daños al medio ambiente producto de la generación eléctrica a partir del uso del fuel oil, se pudieran implementar medidas a corto, mediano y largo plazo desde bajos presupuestos hasta inversiones con montos más elevados, se pueden relacionar las siguientes:

1. Reparar trampa tecnológica (impermeabilización de los muros de hormigón).
2. Sustitución de piezas en mal estado a los motores de combustión interna para reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.
3. Cambio de los filtros de piedra y carbón activado en la trampa tecnológica.
4. Cambio de inyector en los motores 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 convenios con otras entidades para la reutilización de los desechos generados.
9. Instalar filtros en las chimeneas de salida de los gases producto de la combustión.

III - CONCLUSIONES

1. Los componentes NO_2 y SO_2 de los gases producto de la combustión de fuel oil no cumplen con la norma cubana (NC 39, 1999).
2. Los componentes de los residuales líquidos no cumplen con la norma cubana (NC 27, 1999), a excepción del pH y la CE.
3. El consumo de fuel oil es el que más incide en las 11 categorías de impacto medioambientales.
4. La emisión de residuales líquidos producto de la limpieza de los materiales de explotación influyen de manera significativa al suelo.
5. La aplicación de la metodología del ACV muestra que las medidas de mejoras para minimizar los daños al medioambiente, deben ser dirigidas sobre el consumo de fuel oil y el vertimiento de los residuales líquidos al suelo.

IV - RECOMENDACIONES

1. Continuar con la aplicación de las mejoras analizadas y propuestas en el análisis del ciclo de vida al proceso de generación de energía eléctrica en la central eléctrica fuel oil Bayamo en la provincia de Granma Cuba.
2. Evaluar mediante el ACV el proceso luego de aplicadas las mejoras.

V - BIBLIOGRAFÍA

- ARÁNGUEZ, E.; J. M. ORDÓÑEZ; J. SERRANO; N. ARAGONÉS; P. R. FERNÁNDEZ; A. GANDARILLAS y I. GALÁN: "Contaminantes atmosféricos y su vigilancia", *Revista Española de Salud Pública*, ISSN:1135-5727, 73(2): 123-132, 1999.
- AYES, A. G.: *Medio Ambiente, impacto y desarrollo*, Ed. Científico - Técnica. , La Habana. Cuba, 2003.
- BAUMAN, H. y A. M. TILLMAN: *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and Application*, Ed. Studentlitteratur, Lund. , ISBN:91-44-02364-2, Sweden, 2004.
- BORROTO, B. A. J.: *Planificación Energética en Asentamientos Rurales*, Ed. Editorial Guardalajara, Guardalajara. Mexico, 1997.
- CÁRDENAS, M. L. O.: Contaminación Ambiental en lugares de trabajo. *En: seguridad*, C. c. d. (ed.). Colombia, pp. 1997.
- CARRASCO, G. J.: *CIEMAT.Aspectos medioambientales de la producción y uso de la biomasa como recurso energético [en línea] Disponible en:<http://www.gem.es/materiales/document/document/g02/d02105/d02105.htm> [Consulta: Octubre 2017].*
- CASAS, A. X. y P. J. RIERADEVALL: "Environmental analysis of the energy use of hemp – analysis of the comparative life cycle: diesel oil vs. hemp–diesel", *Int. J. of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, ISSN:1462-4605, 4(2): 133-139, 2005.
- CLEMENTE, P. G.; P. N. SANJUÁN y B. J. L. VIVANCOS: *Análisis de ciclo de vida: aspectos metodológicos y casos prácticos*, Ed. Editorial De La Universitat Politècnica De València, 2005, ISBN:10: 8497058526, España, 2005.
- FAVA, J. A. y A. PAGE: "Application of produce life-cycle assessment to product stewardship and pollution prevention programs", *Water Science Technology*, ISSN: 0273-1223 26(1-2): 275-287, 1992.
- FIKSEL, J.: *Ingeniería de Diseño Medioambiental DFE. Desarrollo Integral de productos y procesos ecoeficientes*, Ed. McGraw–Hill, Madrid, 1997.
- FULLANA, P. y J. RIERADEVALL: "Análisis de Ciclo de Vida del Producto – ACV. Nueva herramienta de gestión ambiental", *Innovación Química*, ISSN: 0187-893X, 10: 1-9, 1995.
- GONZÁLEZ, S. J. M.: *La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles [en línea]. vol. no. Disponible en:www.ineel.mx/boletin042009/divulga.pdf.*
- HOSPIDO, A.; M. E. VAZQUEZ; A. CUEVAS; G. FEIJOO y M. T. MOREIRA: "Environmental assessment of canned tuna manufacture with a life-cycle perspective", *Resources, Conservation and Recycling*, ISSN:0921-3449, 47(1): 56-72, 2006.
- IGLESIAS, D. H.: *Producción animal.Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario [en línea] Disponible en:<http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/23-relevamiento.pdf>[Consulta: 14 de febrero 2018].*

- ISO 14040: *Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia.* , Norma, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2009.
- ISO 14041: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición de objetivos y alcance y análisis de inventario*, Norma, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 1999.
- ISO 14042: *Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida*, Norma, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2000.
- ISO 14043: *Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Interpretación*, Norma, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2000.
- ISO/TR 14048: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Formato de datos de inventario del ciclo de vida*, Norma, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2000.
- ISO/TR 14049: *Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 para la definición del objetivo y el alcance y análisis del inventario*, Norma ISO, 2000.
- LCA: *Institute of Environmental Sciences (CML). Environmental Newsletter [en línea] Disponible en: <https://www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences>[Consulta: 25 de febrero 2018].*
- LÓPEZ, B. E.: *Propuesta de gestión ambiental de la CT "Carlos Manuel de Céspedes"*, Ed. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos. Cuba, 1997.
- NAVAS, J.: *Aplicación del ACV a los embalajes (informe) 1995.*
- NC 27: *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado. Especificaciones. ICS: 13.060.30.*, NC, 1999.
- NC 39: *Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Concentraciones máximas admisibles (CMA (a) en 20 min. y CMA (c) en 24 horas*, NC, 1999.
- ONEI, O. N. D. E. E. I. *Anuario Estadístico de Cuba [en línea] Disponible en: <http://www.onei.cu/aec2016.htm>[Consulta: 19 de febrero 2018].*
- PÉREZ, A. G. J.: *Evaluación Ambiental de la CT*. Cienfuegos. Cuba: Universidad de Cienfuegos, pp. 4-18, 1996.
- RODRÍGUEZ, C. S.: *Cuba siglo XXI. Economía. Consideraciones sobre el Sector Energético Cubano [en línea] Disponible en: www.nodo50.org/cubasi sigloXXI/economia/rodriguez1_310102.htm[Consulta: 14 de febrero 2018].*
- ROY, P.; N. SHIMIZO; H. OKADOME; T. SHIINA y T. KIMURA: "Life cycle of rice: Challenges and choices for Bangladesh", *Journal of Food Engineering*, ISSN:0260-8774, 79(4): 1250-1255, 2007.
- SANDSTRÖM, T.; D. NOWAK y L. VAN BREE: "Efectos de las partículas gruesas en el aire ambiental sobre la salud: mensajes para la investigación y la toma de decisiones", *European Respiratory Journal*, ISSN:0903-1936, 7(1): 3-4, 2005.
- SETAC: *Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"*. En: SETAC (ed.). SETAC, pp. 50. 1993.
- : *Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*, Ed. SETAC, 1996.
- : *Setac org.línea] Disponible en: <http://www.setac.org/htdocs/whoaboutspanish.html>[Consulta: 29 de enero 2018].*

- SPOOLD: *Institute of Environmental Science (CML). The LCA sourcebook. An european business guide to life – cycle assessment [en línea] Disponible en: [tps://www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences](https://www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences) [Consulta: 25 de febrero 2018].*
- WAGNER, T.: *Contaminación, causas y efectos, Ed. Gernika, Mexico, 1996.*

ANEXO 1

Tabla1:CronologíaeneldesarrollodelametodologíadeAnálisisdeCiclodeVida (SETAC, 1993; Fullana y Rieradevall, 1995).

DECADA	AÑO	EVENTO	COMENTARIO
1960	1960	Primeros esfuerzos sobre análisis energéticos.	Sin embargo algunos trabajos sobre análisis de ciclo de vida es posible se realizaron a inicios de la revolución industrial.
	1969	Harry Teasley, entonces con Coca-Cola, se realizan Estudios de ciclo de vida en varios envases de bebidas llevados a cabo por el Midwest Research Institute (MRI) de los Estados Unidos.	El propósito era comparar diferentes embases para determinar cual producía menor efecto en los productos y en el medio ambiente.
1970	1970-1975	En MRI, Robert Hunt continúa los estudios REPA. Otros pioneros del reino Unido Boustead y Suecia Sundstrom comenzaron a desarrollar modelos en este periodo.	Uno de los autores de MRI (William Franklin) funda una de las empresas líderes en LCA en los Estados Unidos (Franklin Associates).
	1973-1974	Primera crisis del petróleo.	Los análisis energéticos pasan a ser la prioridad numero 1.
	1975	Cae drásticamente el interés en los ACV: REPA.	Gracias a la segunda crisis del petróleo 1979 se da un pequeño impulso.
	1979	Se funda la SETAC.	Líderes de entonces de los estudios de ACV.
1980	1982	Se definen los principios básicos del PLA (Product Lyne Análisis).	Los pioneros son Oko Institut en Freiburg y IOW.
	1984	EMPA desarrolla un primer programa de cálculo de ACV: Oko base.	De aquí se llega a Oko base II, usado por la cadena comercial MIGROS.
	1986-1989	Oko-Institut empieza a trabajar en PLA.	El trabajo se ha centrado en la metodología con pocos resultados aun.
1990	1990	Procter & Gamble WWF Organizan los primeros seminarios.	A los interés de WWF Conservation Foundation le a seguido un número creciente en ONG.
		Se funda Ecobilan, en Francia.	Escobilan es una consultaría de ACV de la tercera ola (la primera en los 70 y la segunda en los 80).
		Primer encuentro de la SETAC en Vermont.	Se identifican tres etapas del ACV: inventario, análisis de impacto, mejoras.
	1991	Encuentro de la SETAC en Leiden, Holanda.	Centrado en la metodología general para ACV.

Anexos

		Encuentro de la SETAC en Leiden, Holanda.	Centrado en la metodología general para ACV.
1992		Se funda SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development).	Se asocian 20 grandes compañías con el objetivo de promocionar el desarrollo y aplicación del ACV.
		Encuentro de SETAC en Sandestin en Febrero.	Centrado en análisis de impacto.
		Encuentro de SETAC en Postdam en Junio.	Centrado en aplicación de ACV
		Encuentro de SETAC en Wintergreen en Octubre.	Centrado en calidad de los datos.
1993		Encuentro de SETAC y SECOTOX en Copenhague en Febrero.	Centrado en la fase de calificación de impactos.
		Conferencia de SETA Cen Sesimbra, Portugal, en mayo	Los practicantes de la metodología desarrollan "Guide line for Life Cycle Assessment: A code of practice."
		Creación del comité técnico 207 (ISO =TC 207) en ISO.	El subcomité SC 5 elabora las normativas del análisis de ciclo de vida.
		SPOLD publica "The LCA Sourcebook".	Y el proceso sólo acaba de empezar
1994		Se organizan multitud de conferencias internacionales sobre ACV	Entre esta se incluye la organizada por la UNTEC en Sitges.
		El ACV forma parte de los planes de estudio de Universidades de gran cantidad de países europeos	Ya no es un tema circunscrito a unos pocos eruditos. En España, son pioneras la UNTEC, la Universidad Rovirai Virgili y la Universidad Pompeu Fabra
		El uso del ACV ya es común en los departamentos de medio ambiente de las grandes empresas europeas.	El análisis ya es una herramienta útil de Gestión ambiental sobre todo en el diseño de productos, envases y embalajes.

Tabla2: Indicadores de calidad de los datos pertinentes a la evaluación del Ciclo de Vida
 (ISO14041, 1999).

Indicadores	Definición
Exactitud	Medición de la coincidencia de los datos con respecto a una norma conocida.
Integridad	Porcentaje de los datos existentes debido al análisis, comparado con la cantidad de los datos necesarios
Sesgo	Medición del error sistemático que ocasiona que los valores de un conjunto de datos sean consistentemente más altos o bajos que la realidad de los parámetros.
Precisión	Medición de la dispersión o variabilidad en los valores de los datos o en las mediciones comparadas con respecto a las medidas.
Posibilidad de aceptación	Grado en el cual los profesionales han revisado las fuentes de datos
Posibilidad de acceso.	Facilidad de obtener la fuente de datos o valores.
Posibilidad de comparación	Grado en el cual los diferentes métodos, datos y decisiones están de acuerdo o pueden representarse como similares o equivalentes.
Adición de datos	Grado en el cual los datos permanecen dispersos, de tal manera que puedan evaluarse las tendencias de los datos
Recopilación de datos.	Información que describe el método de recopilación.
Limitaciones enumeradas	Grado en el cual la fuente de datos analiza las limitaciones relacionadas con los mismos.
Documentación del modelo	Grado en el cual la fuente de datos proporciona la documentación del modelo afín.
Limitaciones del modelo	Grado en el cual la fuente de datos analiza las limitaciones relacionadas con el modelo.
QA / QC	Datos sujetos a los procedimientos del aseguramiento de la calidad y/o el control de la calidad.
Referenciados	Valores de los datos que toman como referencia la fuente real de los datos.
Representatividad	Describe la exactitud con que los datos representan lo que el analista describe o deduce.
Reproducible	Punto en el que los protocolos seguidos en la generación del conjunto de datos permiten la creación de otro conjunto de datos con propiedades similares.
Medidas estadísticas	La fuente de datos permite los cálculos de desviación estándar, la media y distorsión.
Verificación y validación	Se verificó la fuente de los datos y se evaluó con respecto a una norma o método aceptado para determinar la exactitud de los resultados.

Tabla 3: Factores de caracterización para categorías de impacto ambiental.
(Rieradevall, 2000)

Impacto	Factor de caracterización	Unidad de medida
Consumo de recursos energéticos.	Cantidad consumida	MJ
Calentamiento global	Potencial de calentamiento global (PEI)	kg. eq CO ₂
Reducción de la capa de ozono.	Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO)	kg. eq CFC11
Acidificación	Potencial de acidificación (PAC)	kg eq SO ₂
Formación de oxidantes fotoquímicas	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicas.	kg eq C ₂ H ₄
Eutrofización	Potencial de eutrofización (PE)	kg. eq. De NO ₃
Consumo de materias primas	Cantidad consumida	tm
Toxicidad por generación de metales pesados.	Potencial de toxicidad por generación de metales pesados.	kg de Pb
Toxicidad humana por formación de agentes carcinogénicos	Potencial de toxicidad humana por agentes carcinogénicos.	kg benceno (a) pireno
Formación de partículas en suspensión.	Potencial de formación de partículas en suspensión.	kg
Emisión sólidas	Cantidad emitida.	kg

Anexo 4.

Tabla: 4: Datos técnicos del analizador degases (Marca BOSTON)

DATI TECNICI - TECHNICAL DATA		
Valori reali / metodo di misura Real values / measuring method	Campo di misura/ range	Risoluzione resolution
Temperatura ambiente - Ambient temperature Sonda Pt 100 - Pt 100 sensor	0 + 100°C	1 °C
Temperatura fumi - Flue-gas temperature NiCr-Ni	0 + 800°C	1 °C
O ₂ ossigeno - O ₂ oxygen Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 21 % v/v	0,1 %
CO ossido di carbonio - carbon monoxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 4000 ppm	1 ppm
NO ossido d'azoto - NO nitric oxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 1000 ppm	1 ppm
SO ₂ biossido d'azoto - SO ₂ sulphur dioxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 2000 ppm	1 ppm
Tiraggio / pressione / pressione differenziale Draught / pressure / differential pressure Ponte DMS - piezoresistive bridge sensor	± 100 hPa	0.1 hPa
Opacità fumi (nerofumo) - Smoke determination	0 + 9	1
Valori calcolati / metodo di misura Calculated value / measuring method	Campo di misura/ range	Risoluzione resolution
CO ₂ anidride carbonica - CO ₂ carbon dioxide Calcolata - calculated	0 + 20% v/v	0,1 %
Rendimento - Efficiency Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100%	0,1 %
Rendimento utile per Caldaie a Condensazione Efficiency for condensation boilers	> 100%	0,1 %
Perdita camino - Stack loss Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100%	0,1 %
Eccesso d'aria - Excess air number Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	1 + 50	0,01
Temperatura di rugiada - dew temperature Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100°C	1 °C
Sonda fumi - Gas probe	Tubo lunghezza 3 m - 3 m gas line / 1,50 m (optional)	
Lunghezza sonda - Probe length	300 mm / 150 mm (optional)	
Pompa di aspirazione - Sample pump	Pompa a membrana - membrane pump	
Filtro fumi - Gas filter	Doppio filtro in linea, scaricatore di condensa e radiatore in alluminio double in-line filter with condensate trap and aluminium radiator	
Alimentazione - Power Supply	4 batteria interna con adattatore di rete 230 Vac per la ricarica o alimentazione diretta built-in battery with external AC/DC adapter for rechargement or direct supply	
Durata media - Average lasting	6 ore - 6 hours	
Batteria - Battery	LiOn 7,2 Vdc 1,1 Ah	
Tempo di ricarica batteria Battery charging time	4 ore 4 hours	
Temperatura d'esercizio Operating temperature range	-5 °C +50 °C	
Temperatura di stoccaggio Storage temperature range	-20 °C + 55 °C	
Dimensioni - Dimensions	W x D x H: 240 x 130 x 110 mm	
Peso - Weight	1,4 Kg (strumento + sonde)	