



**Título: Aplicación de instrumentos de Economía Ecológica
con enfoque de Producción Mas Limpia en el proceso de
producción de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN
PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS.**

Autor: Ing. Jose Manuel Bermudez Garcia

Tutor: Dr Eduardo Lopez Bastida

Consulta: Dr Juan José Cabello Eras

Universidad Carlos Rafael Rodríguez

Cienfuegos, 2017

„La oportunidad se deja alcanzar solo por quienes la persiguen“

H. Jackson Brown

*Dedicada a mi bisabuela
que me alentó, aconsejó y apoyó
siempre que la tuve a mi lado;
sé que hoy estarías muy orgullosa...*

A nighttime photograph of an industrial facility, possibly a power plant or refinery, with several tall smokestacks and a complex of pipes and structures. The scene is illuminated by warm, yellowish lights, and the lights and structures are reflected in a body of water in the foreground. The word "Agradecimientos" is overlaid in a white, cursive font across the center of the image.

Agradecimientos

*Agradezco en primer lugar a mi **familia** por ser lo primero en mi vida;*

*A mi segunda familia por verme como **uno más** de ellos;*

*A mi tutor **Dr. Eduardo López Bastida** por la paciencia, apoyo y confianza, espero haber podido hacer mi parte de la mejor manera que el hizo la suya;*

*A toda persona de la **Empresa Termoeléctrica Cienfuegos** que contribuyó con este trabajo de una forma u otra;*

*A mis **compañeros** de estudio y profesores por permitirme aprender de ellos en cada momento de este período de tiempo;*

*A aquellas personas que sin vínculo sanguíneo alguno los quiero como **hermanos**;*

*A los que están, estuvieron y ahora no se **encuentran** cerca;*

***A ti en especial** que me convenciste de que podía;*

*A los que mencioné y a los que no mencioné, **a todos** ustedes*

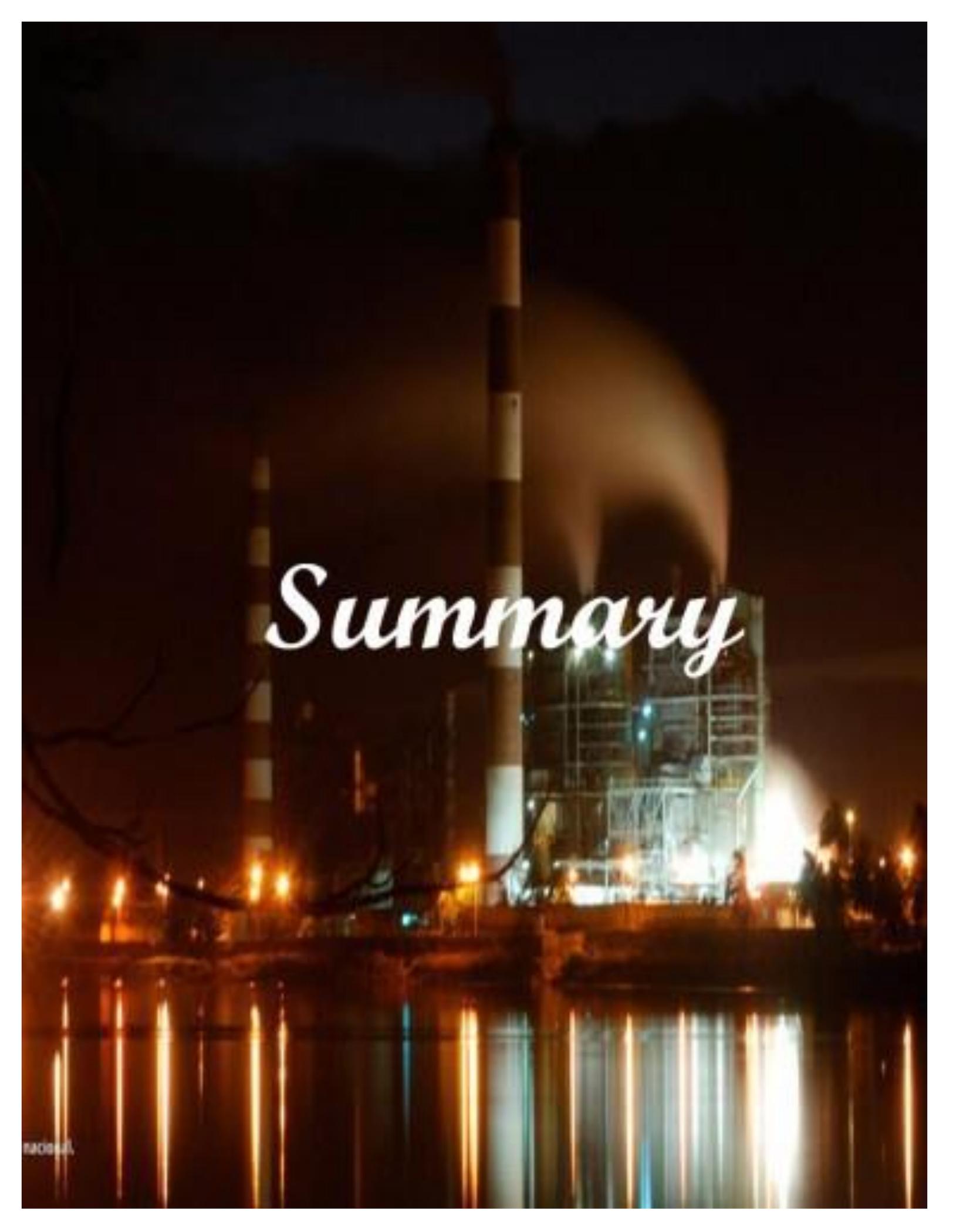
Muchas Gracias.

Resumen

La presente investigación titulada “*Aplicación de instrumentos de Economía Ecológica con enfoque de Producciones Más Limpias en el proceso de producción de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*” tiene como objetivo analizar el proceso de producción de dicha entidad, aplicando los instrumentos de Análisis del Ciclo de Vida, Huella Ecológica y Huella Hídrica para la identificación y evaluación de mejoras.

Se elaboró un marco teórico de forma introductoria para la investigación, donde se entrelazan de forma dinámica conceptos, aplicaciones, ventajas y otra serie de elementos de cada uno de los instrumentos así como la vinculación entre ellos con las Producciones Más Limpias.

Se elaboró un análisis de inventario del proceso de producción de un MW.h de generación de energía eléctrica del proceso que sirviera de base para la determinación del análisis del ciclo de vida, la huella ecológica e hídrica y a partir de los resultados obtenidos se propone un plan económico ambiental para el proceso en cuestión. Dichas propuestas se enmarcaron en acciones de Producciones Más Limpias en aras de obtener un beneficio ambiental en el sentido contrario con los gastos y costos económicos que acarrearían estas propuestas de no haberse tenido en cuenta este enfoque.

A night photograph of an industrial facility, possibly a power plant or refinery. Several tall, dark smokestacks are visible, with one in the center emitting a thick plume of white smoke that rises into the dark sky. The facility itself is illuminated by various lights, creating a complex pattern of reflections on a body of water in the foreground. The word "Summary" is overlaid in the center of the image in a white, elegant script font.

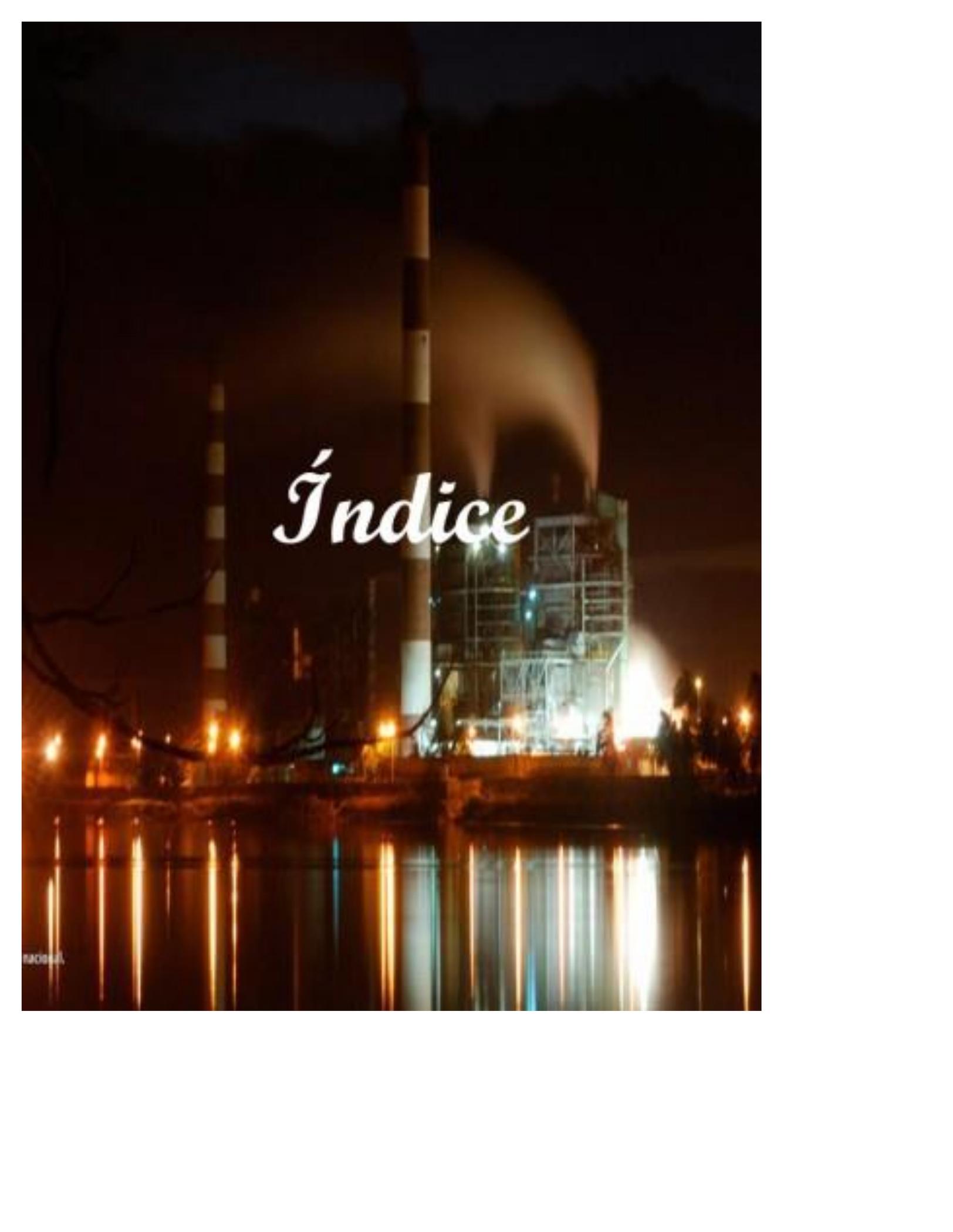
Summary

Abstract

The present investigation titled "Application of instruments of Ecological Economy with focus of Cleaner Productions in the process of production of the Thermoelectric Company Cienfuegos" has as objective to analyze the process of production of this entity, applying the instruments of Analysis of the Cycle of Life, Ecological Print and Water Footprint for the identification and evaluation of improvements.

A theoretical mark in an introductory way was elaborated for the investigation, where they are intertwined in way dynamic concepts, applications, advantages and another series of elements of each one of the instruments as well as the linking among them with the Cleanest Productions.

An analysis of inventory of the process of production of a MW.h of generation of electric power of the process was elaborated that it served as base for the determination of the analysis of the cycle of life, the ecological print and water footprint and starting from the obtained results he intends an environmental economic plan for the process in question. This proposals were framed in actions of Cleaner Productions for the sake of obtaining an environmental benefit in the sense contrary with the expenses and economic costs that would carry these proposals of not having been kept in mind this focus.

A nighttime photograph of an industrial facility, possibly a power plant or refinery, with several tall smokestacks and a complex of structures. The scene is illuminated by warm, yellowish lights, and a plume of white smoke or steam rises from one of the buildings. The entire scene is reflected in a body of water in the foreground. The word "Índice" is overlaid in a white, cursive font in the center of the image.

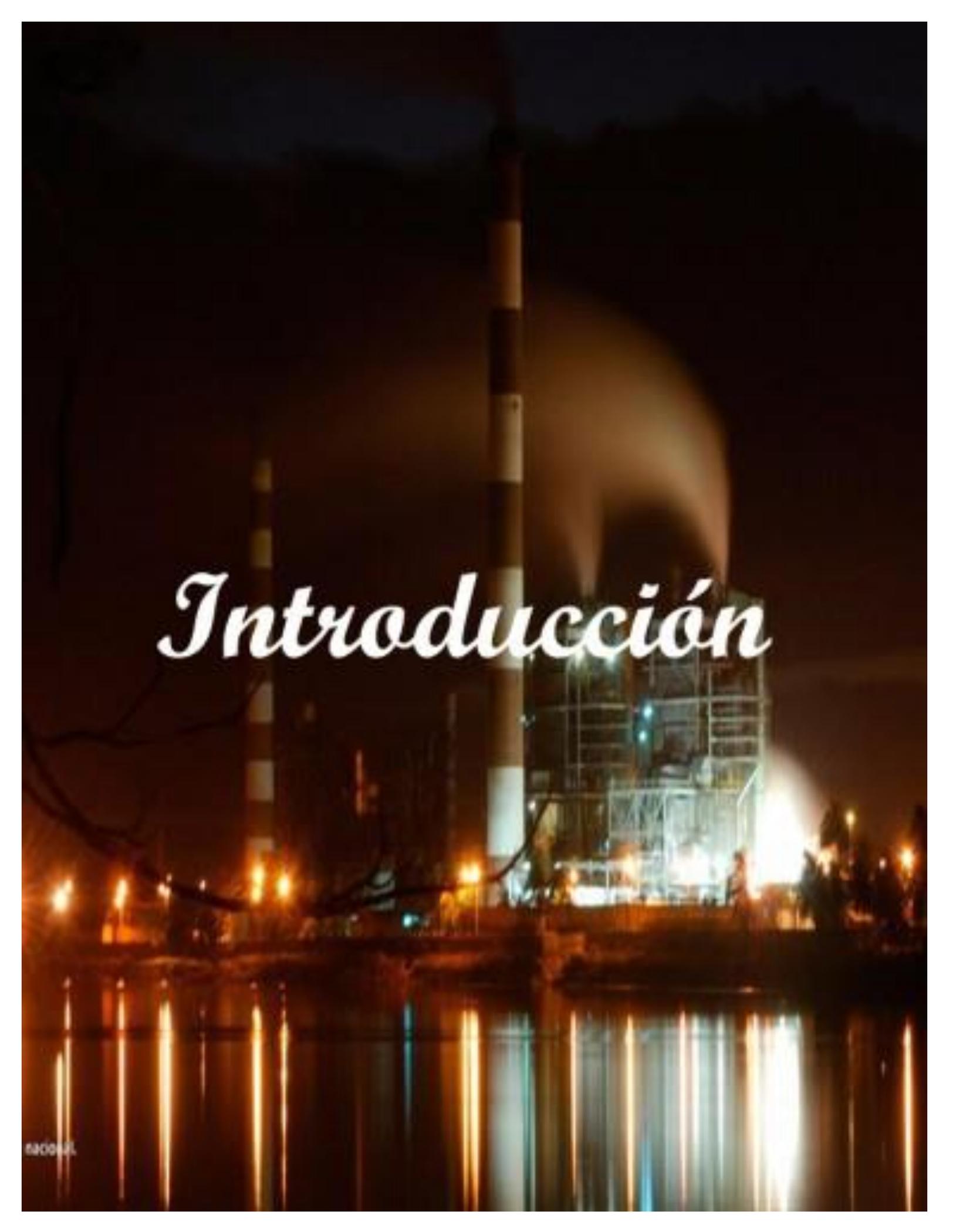
Índice

Índice

Tabla de contenido

<i>Introducción</i>	6
<i>Capítulo I “Marco Teórico de la investigación”</i>	10
1.1 INSTRUMENTOS DE ECONOMÍA ECOLÓGICA.....	10
1.1.1 Principios y conceptos fundamentales de la Economía Ecológica.....	11
1.1.2 Análisis del ciclo de vida.....	14
1.1.3 Huella Ecológica.	25
1.1.4 Huella Hídrica.	33
1.1.5 Vinculación entre las principales instrumentos de la Economía Ecológica con las Producciones Más Limpias.....	35
1.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	39
1.2.1 Situación del sector de generación eléctrico en el mundo.	39
1.2.2 Caracterización de fuentes de generación eléctrica en Cuba.....	41
Conclusiones parciales del Capítulo I.	43
<i>Capítulo II “Materiales y métodos de la investigación”</i>	45
2.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	45
2.1.1 Caracterización de la entidad.	48
2.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	52
2.2.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.....	52
2.2.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.....	56
2.2.3 Etapa 3: Evaluación del impacto.....	59
2.2.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.	66
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA CORPORATIVA.....	67
2.3.1 Cálculo de la sub-huella Energía.	68
2.3.2 Cálculo de la sub-huella Tierra.....	70
2.3.3 Cálculo de la sub-huella Insumos.	70
2.3.4 Cálculo de la sub-huella Superficie Construida.....	70
2.3.5 Cálculo de la sub-huella Agua de mar.	71
2.3.6 Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa.	71
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA HUELLA HÍDRICA.....	72
2.4.1 Metodología de cálculo para la huella hídrica.....	73

Conclusiones parciales del Capítulo II.....	74
<i>Capítulo III “Análisis de los resultados”.....</i>	<i>76</i>
3.1 DEFINICION DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCE	76
3.1.1 Objetivos.....	76
3.1.2 Alcance del estudio.....	77
3.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO.....	78
3.2.1 Recolectar datos.....	78
3.2.2 Descripción de procesos.....	88
3.2.3 Procesamiento de la información y los datos obtenidos.....	91
3.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO.....	91
3.3.1 Mediante el análisis del ciclo de vida.....	91
3.3.2 Mediante la Huella Ecológica Corporativa.....	96
3.3.3 Mediante la Huella Hídrica.....	100
3.4 ANÁLISIS DE MEJORAS.....	101
Conclusiones parciales del Capítulo III.....	111
<i>Conclusiones Generales.....</i>	<i>113</i>
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>115</i>
<i>Bibliografía.....</i>	<i>116</i>
<i>Glosario de términos.....</i>	<i>121</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>124</i>

A photograph of an industrial facility at night. Several tall, dark smokestacks are visible, with one emitting a plume of white smoke. The facility is illuminated by various lights, including bright yellow streetlights and blue industrial lights. The scene is reflected in a body of water in the foreground, creating a shimmering effect. The overall atmosphere is dark and industrial.

Introducción

Introducción

El sector energético es catalogado como el de mayores impactos ambientales, el mismo genera impactos en todos los frentes. La mitigación, reducción y eliminación de estos impactos representa un reto constante para cada uno de estos procesos.

El Consejo Mundial de Energía, (WEC, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una compilación de estudios de análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica desarrollados en los últimos 15 años a nivel internacional. Estos análisis consideraron la cadena completa de producción de energía, desde la exploración y la extracción hasta su uso final, pasando por almacenamiento, transporte, transformación en combustibles secundarios; es decir, la energía primaria desde su origen hasta su uso final. De esta forma, se determinó la accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad de la producción de energía eléctrica.

La Economía Ecológica puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía.

El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite determinar el impacto que sobre el medio ambiente tiene la producción de diferentes artículos, materiales y servicios, a partir de un enfoque holístico, es decir, que considere todos los componentes involucrados desde la extracción de las materias primas hasta la disposición de los productos. Otro esquema de línea de partida para otro tipo de instrumentos son la huella ecológica y la huella hídrica, que proporcionan indicadores con miras a la sostenibilidad económica y ambiental de los procesos, así como corregir desviaciones en aquellos parámetros significativos.

Situación problemática.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos es una entidad que se dedica a brindar el servicio de generación de electricidad al Sistema Electroenergético Nacional (aproximadamente el 16% de la demanda), se encuentra situada en el centro sur de la isla de Cuba, pudiendo transferir la totalidad de su capacidad instalada tanto a la zona oriental, zona central, como a la zona occidental del país.

La misma se encuentra enfrascada en desarrollar un serio trabajo en cuanto a la mitigación de sus impactos medioambientales, dentro de los cuales se encuentran:

- Sobreconsumos de combustible base para la generación eléctrica.
- Los sobreconsumos de agua.
- Las elevadas cargas contaminantes vertidas a la atmósfera y al medio receptor marino del cual se nutre su proceso fundamental.

Problema científico.

La identificación de alternativas de mejoras económicas y ambientales utilizando instrumentos de Economía Ecológica al proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Hipótesis.

Aplicando instrumentos de Economía Ecológica se podrá evaluar el impacto ambiental y económico de la generación de energía eléctrica con un enfoque de Producciones Más Limpias.

Objetivo General.

Analizar el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, aplicando instrumentos de Economía Ecológica.

Objetivos Específicos.

- Elaborar un marco teórico sobre la metodología Análisis de Ciclo de Vida, Huella Ecológica y Huella Hídrica que sirva como referencia y proporcione las bases conceptuales fundamentales para el desarrollo de la investigación.
- Proponer las herramientas metodológicas de Economía Ecológica adecuadas a una unidad funcional del producto investigado.
- Realizar un análisis de inventario que suministre una base de datos de la que se sirvan estos instrumentos.
- Proponer mejoras económicas-ambientales a partir de los criterios que ofrecen dichos instrumentos en vínculo con las Producciones Más Limpias.

La investigación esta estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I: Marco teórico de la investigación.

En este capítulo se realiza una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre las principales herramientas de la Economía Ecológica. Se recrean conceptos, fortalezas y debilidades del Análisis del ciclo de vida, Huella Ecológica y Huella Hídrica y su interrelación en aras del objetivo común. Se exponen las características del sector electroenergético a niveles micro y macro, además de las de la entidad objeto de estudio de la investigación.

Capítulo II: Materiales y métodos de la investigación.

Se desarrolla una caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y de su proceso productivo. Se documentan las fases y etapas del análisis del ciclo de vida de manera metodológica, así como los criterios de cálculo de cada una de las

sub-huellas que conforman la huella ecológica corporativa y las diferentes clasificaciones de las aguas para el cálculo de la huella hídrica.

Capítulo III: Análisis de los resultados.

En este capítulo se desarrollan las herramientas propuestas de Economía Ecológica para descubrir analizar y evaluar las mejoras propuestas y el impacto ambiental de la generación de energía eléctrica, en busca de potenciales mejoras o soluciones que respondan al enfoque de Producciones Más Limpias; comprobándose la eficacia ambiental, económica y técnica de las mismas.

A photograph of an industrial facility at night. Several tall, dark smokestacks with white horizontal bands are visible. One stack in the center is emitting a thick plume of white smoke. The facility's structure is illuminated by various lights, including bright yellow and white lights at the base and some blue lights. The entire scene is reflected in a body of water in the foreground, creating a symmetrical effect. The sky is dark, and the overall atmosphere is industrial and somewhat somber.

Capítulo I

Capítulo I “Marco Teórico de la investigación”.

El explosivo aumento de la población mundial y los desequilibrios que caracterizan su composición y estructura, unido al agravamiento de los problemas ambientales de alcance internacional, como los cambios climáticos, producidos por el efecto invernadero, el agotamiento de la capa de ozono, la pérdida de la biodiversidad biológica, la degradación del suelo, la tierra y las aguas, el alcance de umbrales riesgosos en la explotación de muchos recursos naturales y el deterioro ambiental y social asociado a las condiciones de subdesarrollo y pobreza en que viven las tres cuartas partes de la población mundial son algunos de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad al comenzar el Tercer Milenio.

En este capítulo se realiza un análisis conceptual sobre conceptos y patrones de la economía ecológica fundamentalmente de la que abordan sus herramientas encontrándose entre las más utilizadas a escala mundial, así como las principales semejanzas y diferencias existentes entre ellas. Luego se fundamenta en la importancia, aplicación, ventajas y desventajas del Análisis de Ciclo de Vida, la Huella ecológica e hídrica como elementos potencialmente y factibles de esta aplicación. A su vez se elabora un apartado al tema de las Producciones Más Limpias las cuales poseen un potencial para alcanzar exitosamente cualquier mejora de procesos soportada esta sobre cada una de estas herramientas ya mencionadas de la economía ecológica. En el **anexo A** se presenta un hilo conductor, el cual sirve de apoyo para una mejor comprensión del capítulo y de la investigación en general.

1.1 INSTRUMENTOS DE ECONOMÍA ECOLÓGICA.

La Economía Ecológica es una rama de la teoría económica, también conocida como teoría del desarrollo humano o economía del bienestar natural, que asume una relación inherente entre la salud de los ecosistemas y la de los seres

humanos. Se define como la "ciencia de la gestión de la sustentabilidad (Costanza, 1990) o como el estudio y valoración de la (in)sostenibilidad.

Resulta ser el estudio de las relaciones entre el gobierno de la casa de los seres humanos y el gobierno de la casa de la naturaleza. Dicho de otro modo, es el estudio de las distintas interacciones entre sistemas económicos y sistemas ecológicos.

Principales indicadores de economía ecológica.

- Huella ecológica.
- Índice de Planeta Vivo.
- Apropiación humana de la producción primaria neta.
- INPUT material por unidad de servicio.
- Indicadores de flujo de materiales.
- Huella hídrica y agua virtual.
- Balances energéticos de las actividades económicas y el análisis integrado multiescalar del metabolismo social.
- Análisis del ciclo de vida.

Cada uno de estos instrumentos aplicados efectivamente sobre aquellos procesos que permitan el desarrollo de cada uno de los perfiles que ofrecen estas herramientas, así como la fusión entrelazada de varias de ellas en vistas a un objetivo único garantizan un resultado positivo de su gestión, además de un criterio de sostenibilidad satisfactorio.

1.1.1 Principios y conceptos fundamentales de la Economía Ecológica.

Concepto

La economía y la ecología se influyeron mutua y frecuentemente a lo largo de sus desarrollos. La Economía Ecológica es un intento de rescatar el análisis de los

problemas de manera integrada, como lo fue en los orígenes de la Economía, con el objetivo de comprender y dar soluciones a los problemas más complejos del mundo actual.

Desarrollo evolutivo

Surgió durante los años 80 entre un grupo de estudiantes que se dieron cuenta de que las mejoras en la política, la gestión medioambiental y la protección del bienestar de generaciones futuras dependerían de unir estos campos de pensamiento. La Economía Ecológica no es una teoría basada en presunciones y teorías compartidas. Representa un compromiso entre economistas, ecologistas y otros científicos, para aprender mutuamente, para explorar juntos nuevas pautas de pensamiento, y para facilitar la derivación y la realización de las nuevas políticas económicas y medioambientales.

Visión

La visión del mundo como un sistema termodinámico cerrado y un sistema creciente no materialmente, con la economía humana como un subsistema de la economía global, lo cual implica límites a la producción de recursos biofísicos del ecosistema.

- La óptica de futuro de un planeta sostenible con una alta calidad de vida para todos sus habitantes, dentro de las reservas impuestas por uno.
- El reconocimiento de que en el análisis de estos sistemas complejos, la incertidumbre es grande e irreductible.
- Las instituciones y los gestores de políticas deberían ser proactivos y producir políticas simples, adaptables y que puedan llevarse a cabo, basadas en un entendimiento completo de los sistemas.

Por otra parte, la pretensión de empujar la economía de las sociedades humanas hacia bases más sostenibles ha sido asumido tratando de extender ahora su objetivo de reflexión y de valoración hacia aquellas partes del proceso físico de producción y gasto que no eran tenidas en cuenta a través de un sistema de

gestión que además de ser económico pretende ser sostenible. De ahí que la economía ecológica pueda definirse como “la ciencia de la gestión de la sostenibilidad”. La **tabla 1** muestra las potencialidades de esta visión moderna por sobre la economía ambiental.

Tabla 1. Diferencias conceptuales y metodológicas entre la economía ecológica y la economía ambiental. **Fuente:** Tomado de (Barrueta, 2010)

Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.	Economía Ecológica.
Utiliza una escala óptima.	Utiliza los conceptos de localización óptima y externalidades
Su prioridad es la sostenibilidad	Su prioridad es la eficiencia
Necesidades completas y distribución equitativa	Bienestar óptimo y "eficiencia paretiana"
Desarrollo sostenible, Global y relaciones Norte-Sur	Crecimiento Sostenible
Es pesimista con relación al crecimiento y las Preferencias Individuales	Es optimista con relación al crecimiento y a las opciones "ganar - ganar"
Co-evolución impredecible	Optimización determinística y bienestar intertemporal.
Maneja una concepción del tiempo histórico irreversible	Maneja una concepción del tiempo cronológico, lineal y reversible.
Ciencia completa, integral y descriptiva	Ciencia monodisciplinaria, parcial y analítica

Es concreta y específica	Es abstracta y general
Utiliza indicadores Físicos y biológicos	Utiliza indicadores monetarios
Utiliza el análisis de sistemas	Utiliza la teoría de las externalidades y la valoración económica.
Utiliza la evaluación multidimensional	Utiliza el análisis costo-beneficio y costo-efectividad
Integra modelos con relaciones causa-efecto.	Aplica modelos de equilibrio general incluyendo

La Economía Ecológica y la Economía Ambiental han desarrollado sus análisis partiendo de enfoques distintos. Dado que tratan los mismos problemas, aparentemente, buscan un punto de confluencia. Sin embargo, las diferencias en los postulados que plantean y la metodología que aplican en sus análisis parecen, todavía, muy disociados.

La tendencia del desarrollo teórico y práctico de la aplicación de este enfoque económico esta marcada por herramientas de tipo proactiva de las cuales se vale para una gestión efectiva, entre las mismas destacan el análisis del ciclo de vida, la huella ecológica y la hídrica.

1.1.2 Análisis del ciclo de vida.

El Análisis del Ciclo de Vida, de acuerdo a la Norma (NC-ISO 14 040: 1999), es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados

a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

Definiciones.

Según la literatura existen numerosos estudiosos y especialistas que han definido y aportado en conocimientos al ACV, alguno de ellos lo definen como:

- ✓ NC-ISO14040 (1999): El ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.
- ✓ Iglesias (2005): Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.
- ✓ Chacón (2008): El ACV, en teoría, es un método analítico que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.
- ✓ Rieradevall (2009): El 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 las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesamiento de materias primas,

producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

Puede apreciarse que existe concordancia entre los diferentes autores en que el ACV es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales de un producto, así como sus impactos, usando como herramienta un inventario de entradas y salidas, para evaluar los impactos potenciales que tiene este producto o servicio sobre el ambiente.

A consideraciones propias, ACV es una herramienta que permite determinar y cuantificar los impactos potenciales que están asociados a un producto o servicio, y para ello se vale de un inventario inicial y final y estos resultados se interpretan en función de los objetivos del estudio.

Normas que establecen las fases del Análisis del Ciclo de Vida.

El análisis de ciclo de vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema, entradas (materia y energía) y salidas (productos, coproducidos, emisiones al aire, al agua y al suelo), para posteriormente evaluar los impactos potenciales que estos causan al medio ambiente. Sus resultados, entre otras funciones, sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos. (Suppen y Bart, 2007).

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que están representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043 (**ver Figura 1**).

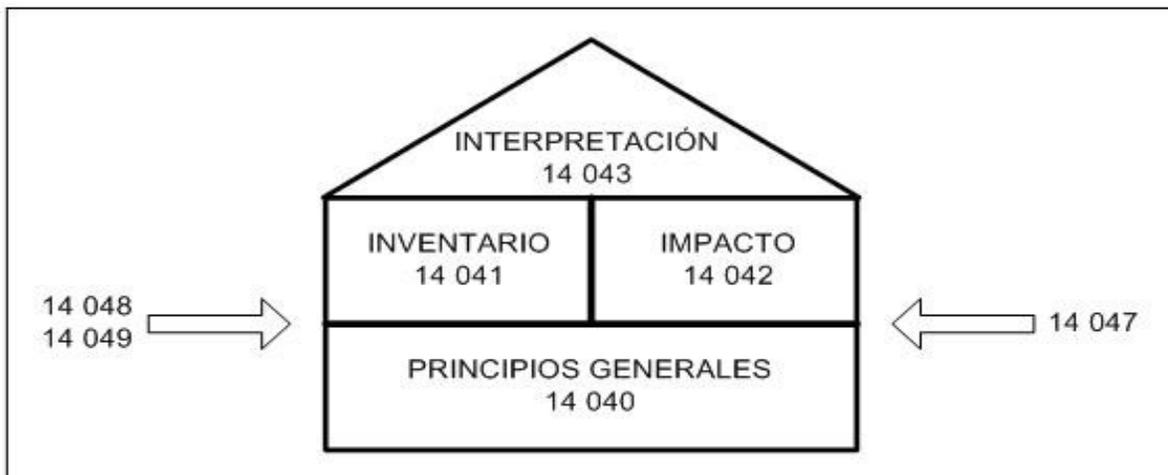


Figura 1. Estructura del ACV. **Fuente:** (Romero Rodríguez, 2004)

En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la Evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica. Mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV.

Actualmente se encuentran en preparación la norma ISO/ TR14047 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14042), y la norma ISO14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV). Así como el reporte técnico ISO/TR14049 que versa sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14041. (Romero Rodríguez, 2004)

El Análisis del Ciclo de Vida comprende cuatro etapas (**ver figura 2**): (Iglesias, 2005)

1. Definición y alcance de los objetivos

Esta etapa del proceso/servicio/actividad se inicia definiendo los objetivos globales del estudio, donde se establecen la finalidad del estudio, el producto implicado, la audiencia a la que se dirige, el alcance o magnitud del estudio (límites del sistema), la Unidad Funcional, los datos necesarios y el tipo de revisión crítica que se debe realizar.

2. Análisis del inventario (Life Cycle Inventory LCI)

El ACV de un producto es una serie de procesos y sistemas conectados por su finalidad común de creación del producto. El análisis del inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.

3. La evaluación de impactos. (Life Cycle Impact Assessment- LCIA)

Según la lista del análisis de Inventario, se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, y se relacionan sus resultados con efectos ambientales observables.

4. La interpretación de resultados

Los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

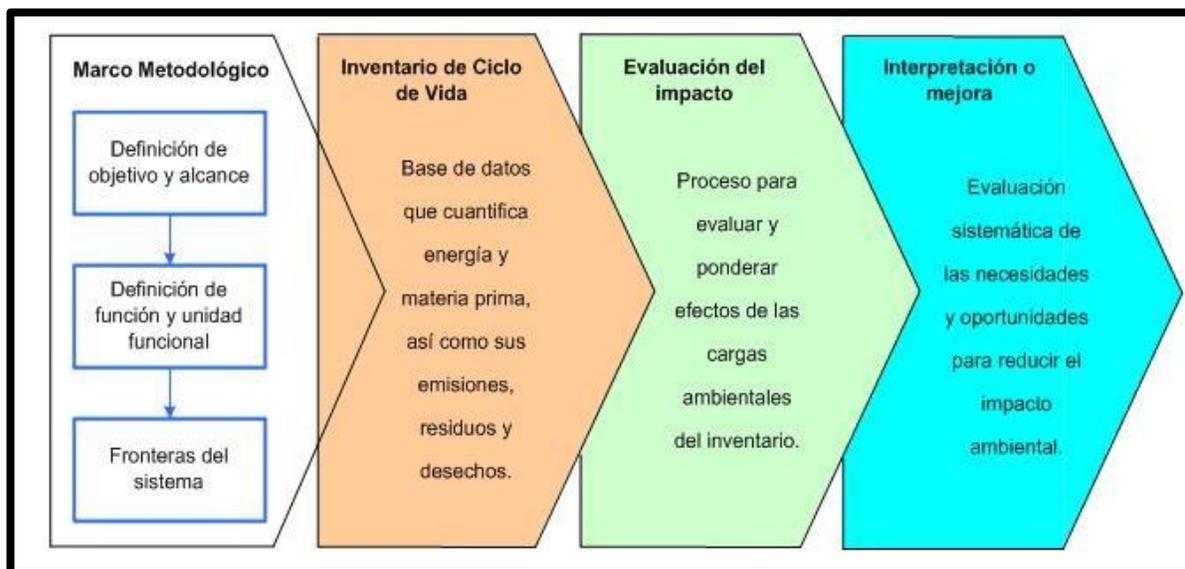


Figura 2. Etapas del análisis del ciclo de vida. **Fuente:** (Suppen, 2007)

Ing. José M. Bermúdez García

El ACV no sigue una metodología fija, no hay una única manera de realizar una evaluación de este tipo. Al contrario, tiene varias alternativas, y por lo tanto se

debe estar familiarizado con los métodos científicos de investigación y con la evaluación del sentido común de las cuestiones complejas antes de realizar este tipo de estudio. En el **anexo B** se distinguen los principales métodos existentes para evaluar el impacto medioambiental.

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, como se esquematiza en la figura siguiente; por lo que a medida que se obtienen resultados, se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo cual exige el recálculo. Este hecho, más la gran cantidad de datos históricos que se deben poseer para realizar un ACV, demuestra la necesidad de contar con un instrumento informático.

Adelante se explica mediante una serie de pasos, la estructura que sigue la metodología de ACV y en qué consiste cada uno de estos pasos.

Importancia de la herramienta de ACV

Conforme los especialistas, la ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial.

La importancia del concepto del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos: (Suppen, 2007)

- ✓ Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo cantidades de energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.

- ✓ Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

El ACV permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV: (Suppen, 2007)

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los diseñadores pueden diseñar productos o servicios de menor impacto ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares.

Aplicar esta metodología en cualquier empresa trae una serie de ventajas que posteriormente pueden aprovecharse para el desarrollo de otras actividades empresariales, por ejemplo; favorece la adopción de patrones de consumo y producción sostenible, el ahorro de costes al subsanar deficiencias en el aprovechamiento de materias primas, energía, agua, etc.

Además proporciona información que puede ser útil en aspectos como: la introducción de innovaciones en el diseño de producto-servicio, es de gran utilidad para el ecodiseño de productos y servicios; para elaborar los criterios requeridos para la obtención de la etiqueta ecológica o el etiquetado de productos ecológicos; facilita la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). También permite que el Sistema de Gestión de los Recursos Humanos aplique una

planificación de estrategias ambientales, y si ya las tiene, pues el ACV permite que las mejore.

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía.

De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Ecoetiquetado). La misma *World Trade Organization*, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV.

El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado.

Además de todas estas ventajas ya enumeradas, no se puede dejar de mencionar una muy importante que es la mejora de la eficacia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.

El ACV puede aplicarse según (Santa María, 2006) en:

- Desarrollo de una nueva estrategia de negocio.
- Uso como herramienta para la toma de decisiones en la compra de productos ambientales.
- Diseño o mejora de un producto o proceso.
- Definición de un criterio de (Eco labelling) Etiqueta Ambiental (Tipo I y III).
- Comunicación sobre los aspectos ambientales de un producto.
- Rediseño de un servicio.

Limitaciones.

Una vez expuesta la metodología del ACV resulta más fácil de comprender cuales pueden ser las limitaciones de un estudio de ACV, como principales se pueden citar las siguientes:

- La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV pueden ser subjetivas. Por ejemplo al establecer los límites del sistema, al seleccionar las fuentes de datos y las categorías de impacto a analizar, etc. (Vigon, 1997)
- Los modelos utilizados para el análisis de inventario o para evaluar los impactos ambientales están limitados por las hipótesis y pueden no estar disponibles para todos los impactos potenciales o aplicaciones.
- Los resultados de un ACV orientados a ámbitos globales o regionales pueden no ser apropiados para aplicaciones locales, es decir, las condiciones locales pueden no estar adecuadamente representadas por las condiciones globales o regionales.
- La precisión de los estudios de ACV puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos.
- La ausencia de dimensiones espaciales y temporales en los datos del inventario utilizado para la valoración del impacto introduce incertidumbre en los resultados de dicho impacto. A pesar de que el Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que se esta desarrollando rápidamente, aún requiere de mucho trabajo para alcanzar el consenso y superar las limitaciones que ahora presenta, las cuales se relacionan principalmente con la incertidumbre y la subjetividad, debido a que:
 - Existen incertidumbres:
 1. **En los datos.** Porque hay mucha variación entre las diferentes bases de datos, lo cual puede deberse a errores, a diferentes procedimientos

de reparto o a diferentes niveles de tecnología, existentes en el mismo momento en el mismo país (Finnveden, 2000).

2. **En la metodología** usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto. Esto se debe a que diferentes elecciones metodológicas serán más o menos compatibles con los diferentes marcos y culturas, permitiendo diferentes elecciones de métodos y herramientas por diferentes personas. (Finnveden, 2000).
 3. **En la descripción del sistema.** Porque los resultados dependen de los aspectos claves que rodean al sistema y que son fuente de incertidumbre (Finnveden, 2000), por ejemplo: la cantidad de combustible utilizado por transporte privado para llevar materiales a centros de acopio de residuos.
 4. **En los datos usados como referencia para la normalización.** Ya que no siempre existen inventarios de emisiones ni metas establecidas para las áreas y períodos de referencia (Güereca et al., 2005).
- Por otra parte, se reconoce (Finnveden, 1996, Finnveden et al., 2002) que la valoración involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente ya que al asignar importancias (pesos) a las categorías de impacto el valor asignado se ve influido por el grado de conocimiento de un problema específico, por la influencia de los medios de comunicación en el criterio de las personas e incluso el “miedo” a no dar una ponderación correcta hace que la persona cuestionada se base en opiniones de otros expertos. Diversos autores (Cowell, 1998, Hofstetter, 1998, Goedkoop et al., 2000, Sonnemann, 2002) coinciden en la importancia de la perspectiva socio-cultural para analizar los métodos y resultados del ACV.

Soporte informático aplicado a la herramienta.

Debido a la gran cantidad de datos que hay que manejar para realizar un ACV, es muy recomendable poder disponer de una herramienta informática que permita afrontar de forma eficiente un estudio de un ACV.

Actualmente existe un buen número de programas informáticos en el mercado que permiten realizar estudios de ACV con distinto grado de detalle (**Ver anexo C**).

A la hora de decidir qué programa adquirir, habrá que considerar diversos criterios. Uno de los puntos clave a valorar es el número de bases de datos que incorpora, su procedencia, calidad y extensión.

Otros criterios útiles y que se puedan contrastar para su análisis son: los *requerimientos* del software, la introducción del *modelo*, los *datos* (protección de los datos), la *flexibilidad* (utilización de distintas unidades, uso de fórmulas), *cálculos* y *comparaciones* (análisis de incertidumbre, evaluación de los impactos y la comparación de los resultados) y la *salida* (presentación de los distintos resultados).

Ver tabla 2.

Tabla 2. Criterios para un análisis detallado de las herramientas. **Fuente:** Elaboración Propia a partir de Rodríguez, 2010.

CRITERIO	Requerimientos e interface	Requerimientos de Hardware Requerimientos de Software Interface (p.e. gráfico)
	Flexibilidad	Unidades flexibles Utilización de formulas Reparto
	Definición del sistema	Desarrollo del sistema Edición del sistema Archivo
	Cálculos y comparaciones	Análisis de sensibilidad Evaluación de impactos Comparación de resultados

Datos y gestión de los datos

Protección de datos

		<p>Indicadores de calidad de los datos Otros campos descriptivos Edición de los datos Datos predefinidos por el usuario</p>
	<p>Salidas y exportaciones</p>	<p>Sistema Tablas y gráficos Opciones para exportar Opciones de impresión</p>

Asimismo es conveniente que el programa permita editar las bases de datos existentes e importar con facilidad bases de datos nuevas que se puedan adquirir posteriormente. Además habría que valorar la facilidad de manejo del programa en función de la aplicación que va a tener, la posibilidad de utilizar distintos métodos de evaluación de impactos, la trazabilidad de los resultados ofrecidos, la interfaz y las posibilidades gráficas que ofrece y evidentemente su coste económico.

Una vez descrito el apoyo informático del entorno para un ACV la herramienta a utilizar en la investigación será SimaPro 7.1, paquete informático cuyas últimas versiones de este programa se han actualizado con las nuevas bases de datos (BUWAL 250), e incluyen además nuevos ecoindicadores (Eco-indicator 99) Se puede realizar un ACV completo con múltiples métodos para la evaluación de impactos. La base de datos de SimaPro 7.1 es una de las que más variedad presenta. Los datos están completamente referenciados con su fuente, incluso con descripciones cualitativas. El método para calcular el ICV (Inventario del Ciclo de Vida) permite calcular los impactos según la metodología propuesta por la SETAC (caracterización, normalización y valoración).

1.1.3 Huella Ecológica.

Ing. José M. Bermúdez García

La huella ecológica es un indicador de sostenibilidad de índice único, desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, que mide todos los impactos que produce una

población, expresados en hectáreas de ecosistemas o “naturaleza”. Utilizada habitualmente para regiones o países, en anteriores trabajos hemos constatado que dicho indicador podía utilizarse también en las empresas y en cualquier tipo de organización.

Definiciones.

La **huella ecológica** es un indicador agregado, definido como «el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida». Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, consecuentemente, su grado de sostenibilidad.

La definición más empleada de huella ecológica la realizan dos de los principales autores en esta materia, Wackernagel y Rees en el año 1996: *“La Huella Ecológica es la superficie terrestre productiva (o el ecosistema acuático) necesaria para mantener el consumo de recursos y energía, así como para poder absorber los residuos producidos por una determinada población humana o economía, empleando la tecnología habitualmente utilizada, independientemente de donde esté situada la superficie”*.

No obstante, esa definición ha sido modificada en 2007 por Global Footprints Network (GFN), en la que participan Wackernagel y Rees, y que tal como se recoge en Carballo, (2009), sería la siguiente: *“La Huella Ecológica es una medida de cuanta superficie biológicamente productiva, incluyendo agua y tierra, precisa un individuo, población o actividad para producir todos los recursos que consume y absorber los residuos que genera, empleando la tecnología y prácticas de gestión más frecuentes”*.

Como puede observarse, en esencia no se ha modificado, y sin embargo reconoce que la HE puede ser aplicada a otras actividades, ya que inicialmente fue concebida para ser aplicada a poblaciones e individuos.

El cálculo de la huella ecológica es complejo, y en algunos casos imposibles, lo que constituye su principal limitación como indicador. En cualquier caso, existen diversos métodos de estimación a partir del análisis de los recursos que una persona consume y de los residuos que produce. Básicamente sus resultados están basados en la observación de los siguientes aspectos:

- La cantidad de hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.
- Hectáreas necesarias para proporcionar el alimento vegetal necesario.
- Superficie necesaria para pastos que alimenten al ganado.
- Superficie marina necesaria para producir el pescado.
- Hectáreas de bosque necesarias para asumir el CO₂ que provoca nuestro consumo energético y para la producción de madera, papel y leña.

La Huella Ecológica tiene gran importancia, ya que nos ayuda a comprender cómo afecta nuestro modo de vida a la Naturaleza y, a establecer los verdaderos costes del concepto actual de desarrollo (entendido como un aumento de tamaño y no de calidad de vida) porque permite ver muchos impactos a los que el análisis monetario tradicional es ciego habitualmente.

El análisis de la huella ecológica a su vez, proporciona una herramienta para la interpretación ecológica de hoy, y permite identificar los objetivos para disminuir la carga ecológica de la humanidad. Es posible asegurar el bienestar humano con el patrimonio ecológico que tomamos prestados de nuestros hijos y la huella nos indica si caminamos en buena dirección.

Ing. José M. Bermúdez García

La Huella Ecológica sirve también como herramienta para desarrollar estrategias y escenarios con miras a un futuro sostenible. Este cálculo se ha realizado a nivel mundial para estimar la huella de naciones, regiones, ciudades, familias o

individuos. El modelo de la huella, como cualquier otro, no representa todas las interacciones posibles. Debemos tener en cuenta que esta es una subestimación del impacto humano en la naturaleza, por lo que puede ser necesaria como un instrumento en las decisiones diarias de la Administración Pública, además proporciona algunas sugerencias claves, que pueden ser muy útiles para los tomadores de decisiones, siempre y cuando tengan en cuenta los problemas suscitados por las interrogantes referentes a la sustentabilidad.

Importancia de la aplicación de esta herramienta.

La huella ecológica sirve también como una herramienta para desarrollar estrategias y escenarios con miras a un futuro sostenible. Este cálculo se ha realizado a nivel mundial para estimar la huella de naciones, regiones, ciudades, familias o individuos. El modelo de la huella, como cualquier otro modelo ecológico, no representa todas las interacciones posibles. Debemos tener en cuenta que esta es una subestimación del impacto humano en la naturaleza, por lo que puede ser necesaria como una herramienta en las decisiones diarias de la Administración Pública, además proporciona algunas sugerencias claves, que pueden ser muy útiles para los tomadores de decisiones, siempre y cuando tengan en cuenta los problemas suscitados por las interrogantes referentes a la sustentabilidad. La Huella Ecológica es:

- **General:** Incluye una amplia variedad de impactos humanos y usos de recursos naturales.
- **Confiable:** Utiliza datos oficiales.
- **Concisa y detallada:** Presenta los resultados en una cifra sencilla, con la posibilidad de subdividir el resultado total en sus componentes.
- **Conservadora:** Excluye los datos especulativos con la finalidad de no exagerar la situación ecológica presente.

- **Flexible:** Permite analizar huellas desde el nivel individual hasta el nivel mundial, para aplicaciones económicas, políticas y sociales.

Ventajas:

- La presentación es simple y reducida. En lugar de otros indicadores medioambientales que utilizan unidades de medida difíciles de percibir como toneladas, microgramos en un metro cúbico, etc., la huella ecológica se contabiliza en hectáreas de terreno. Una hectárea equivale, aproximadamente, a la superficie de un campo de fútbol.
- Cuando comparamos la tierra ecológicamente productiva que ocupamos con la que nos corresponde, se ponen de manifiesto las desigualdades existentes.
- La huella ecológica evidencia la dependencia de la naturaleza y los inconvenientes del actual concepto de desarrollo.
- La huella ecológica refleja la influencia de cada individuo en los problemas medioambientales.
- La huella ecológica aporta información relevante desde el punto de vista del desarrollo sostenible, tal como el uso de la tierra. Así se pone de manifiesto que los ciudadanos dependen de los productos rurales.
- La huella es un indicador que, poco o muy complicado de calcular, resume en un solo dato la intensidad del impacto que la ciudad provoca, fuera de sus límites administrativos.

Desventajas:

- La huella ecológica es una herramienta que resume una gran variedad de impactos (consumo de energía no renovable, sobreexplotación de los recursos naturales, etc.). Por otro lado, se descuidan otros impactos más difíciles de cuantificar, pero no menos importantes: las emisiones atmosféricas (sólo se

Ing. José M. Bermúdez García

contabilizan las emisiones de CO₂), el mantenimiento de los ciclos del agua, la disminución de la capa de ozono o la contaminación de los suelos.

- No es suficiente el 12% considerado como el espacio necesario para preservar el resto de las especies animales. Por lo tanto, la huella subestima el impacto del hombre sobre el entorno.
- Los recursos naturales no renovables no son tenidos en cuenta, excepto la energía fósil.
- Se asume que la agricultura y la silvicultura se desarrollan de forma sostenible.
- Se utilizan conceptos complicados de entender como kg. de lana/ha de terreno, área para la asimilación de CO₂.
- La huella ecológica requiere un conjunto muy completo de datos, que no siempre están disponibles.

1.1.3.1 Huella ecológica corporativa o empresarial.

La huella ecológica corporativa permite establecer objetivos claros y concretos de sostenibilidad ambiental; permite la integración de indicadores, ciclo de vida y eco-etiquetado, en una única herramienta; y aporta un nuevo método de decisión política para luchar, de forma más justa, contra el cambio climático. (*Doménech Quesada, 2009*)

Tanto por la legislación ambiental esta cada vez mas desarrollada como por la presión de los consumidores y por la propia concientización de los dirigentes, las empresas deben asumir cada vez mayores compromisos ambientales, contribuyendo al logro de un medio ambiente sustentable o, al menos, evitando su degradación.

La gestión ambiental en el ámbito de la empresa ha avanzado en los últimos años, surgiendo diferentes sistemas que tratan de incorporar cuestiones ambientales a la dirección y la organización. Los denominados *European Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*, *International Standard ISO 14000 Series* (Holland, 2003) o

Ing. José M. Bermúdez García

el marco de análisis de la *Global Report Initiative* (GRI) y su guía para la elaboración de memorias de sustentabilidad suponen avances de este sentido (Gili

et al., 2005). Sin embargo, cuentan con el hándicap de que tienden a centrarse en impactos individuales sin que, por el momento, haya emergido un mecanismo que, empleando un enfoque holístico, sintetice la situación ambiental de las organizaciones y pueda ser empleada para comunicarse con los accionistas, con grupos de interés y con la sociedad en general.

En este contexto resulta interesante la elaboración de una herramienta que muestre de modo sencillo la situación ambiental de organizaciones y empresas, debiendo ser un elemento útil para la toma de decisiones a este respecto.

Surge entonces, la posibilidad de emplear la huella ecológica con este fin, apareciendo la huella ecológica corporativa o empresarial. Esta era la una posibilidad señalada por los propios creadores del indicador (Wackernagel y Rees, 1996), no excesivamente explotada en sus primeros años de vida. En los últimos años, algunos autores de valiosos trabajos han impulsado el uso de la huella ecológica como herramienta aplicada a empresas y organizaciones.

En la medida en que las empresas, al igual que los ciudadanos, son consumidores de recursos y generadoras de desechos, tenemos los elementos necesarios para calcular una huella ecológica, por lo que es perfectamente factible obtener una huella corporativa. Su objetivo principal es determinar la superficie necesaria para poder mantener los consumos y la generación de desechos realizados por la organización estudiada.

Chamber y Lewis (2001) y Holland (2003) señalan las virtudes del indicador para este fin, pues:

- ✓ Resulta un índice único, que sintetiza diferentes impactos ambientales, permitiendo cuantificar el éxito o el fracaso de las medidas adoptadas;
- ✓ La metodología de cálculo no resulta compleja;
- ✓ Esta expresado en unidades comprensibles, lo que facilita la toma de decisiones así como la comunicación interna y externa, además;

- ✓ La información necesaria se basa en la información existente en la empresa, sin necesidad de transformaciones importantes.

Igualmente, Doménech (2007) señala que la superficie es una unidad que tiene sentido para el análisis de la sustentabilidad o para las empresas, proponiendo que la inversión en hectáreas de superficie productiva (jardines, bosques,...) sea una de las posibilidades de las que dispongan las empresas para reducir su huella. Así, el análisis no se centraría en comparar la huella ecológica con la biocapacidad sino que reflejaría la posibilidad de reducir la huella ecológica invirtiendo en superficie biológicamente productiva.

Es más, diferentes metodologías que se vienen aplicando para el cálculo de la huella ecológica corporativa permiten expresarla no solo en términos de hectáreas (o Gha) sino en términos de emisiones, principalmente de CO₂, surgiendo lo que algunos autores denominan Huella del carbono.

Huella del Carbono.

La huella del carbono se puede definir como *“la demanda de biocapacidad necesaria para secuestrar, mediante fotosíntesis las emisiones de CO₂ que proceden de la utilización de combustibles fósiles”* (GFN, 2007), y (Carballo, 2009). El empleo de este indicador a las empresas comienza el año 2006, aunque en el año 2004 Doménech ya calculaba la Huella del Carbono Corporativo pero sin ponerle ese nombre.

Este enfoque implica tener en cuenta la capacidad de absorber CO₂ por los distintos tipos de superficie (Wiedmann, 2007), y (Carballo, 2009). Aunque en este trabajo se calculará la huella del carbono proporcionándose el resultado en toneladas de CO₂ que se producen por la actividad empresarial objeto estudio.

Esta adaptación en la que se calculan las emisiones de CO₂ realizadas por la organización, son notablemente atractivas para la empresa, sobre todo

Ing. José M. Bermúdez García

considerando las exigencias que deben afrontar en el marco del Protocolo de Kioto.

Su expresión en toneladas de CO₂ por toneladas de producto permite el cálculo de la huella de carbono de los productos comercializados, agregando dichas huellas generadas por las empresas participantes en cada una de las fases de su ciclo de vida, interacción combinada de las metodologías que establece indicadores ambientales con mayor robustez.

1.1.4 Huella Hídrica.

El entendimiento del indicador Huella Hídrica abarca la conceptualización más amplia del consumo de agua en un país o nación.

La huella hídrica de un país es el volumen total de agua utilizado globalmente para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes. Incluye el agua sustraída de los ríos, lagos y acuíferos (aguas superficiales y subterráneas) para la agricultura, la industria y el uso doméstico, así como el agua de lluvia utilizada para los cultivos.

La huella hídrica es análoga a la Huella Ecológica: mientras que esta última calcula el área total de espacio productivo requerido para producir los productos y servicios consumidos por una determinada población, la huella hídrica calcula el volumen de agua necesario para producir los mismos bienes y servicios.

La huella hídrica total de un país tiene dos componentes, la huella hídrica interna es el volumen de agua necesario para cultivar y proporcionar los bienes y servicios que se producen y consumen dentro de ese país y la huella hídrica externa es la resultante del consumo de bienes importados, o en otras palabras, el agua que se utiliza para la producción de bienes en el país exportador. Las exportaciones de un país no están incluidas como parte de su huella hídrica.

1.1.4.1 Huella Hídrica Corporativa.

La Huella Hídrica de la Producción es una medida del agua utilizada en diferentes países, así como un indicador de la demanda humana de los recursos hídricos (Chapagain, A.K. y Hoekstra, A.Y., 2004).

Constituye para muchos un complemento más de la huella ecológica o apéndice de la misma ya que esta no calcula ninguna sub-huella de consumo de agua dulce, por lo que la huella hídrica deviene en la herramienta perfecta para los consumos por categorías de las aguas de uso industrial y de desechos.

En el sector corporativo e industrial revierte gran importancia el control y monitoreo de los consumos de agua en relación con las unidades de producto o servicio, el mismo

- El agua es esencial para la existencia de algunos procesos y está íntimamente relacionada con múltiples aspectos de la supervivencia económica de los mismos, así como a necesidades y actividades del ser humano. El uso de la huella hídrica como indicador permite:
 - Reflejar el consumo real de agua.
 - Desarrollar estrategias dirigidas a reducir la intensidad del consumo de agua.
 - Realizar evaluaciones más exactas del impacto sobre el medio ambiente.
 - Definir políticas que permitan reorientar las pautas de consumo hacia bienes y servicios que impliquen un menor consumo de agua.
 - Como indicador agregado, muestra la demanda de agua total de un país, una medida aproximada del impacto del consumo humano en el medioambiente acuático.
 - Caracterizar el uso de agua en relación con patrones y volúmenes de consumo de la población.

1.1.5 Vinculación entre las principales instrumentos de la Economía Ecológica con las Producciones Más Limpias.

Antes de elaborar cualquier criterio de relación entre estas metodologías se requiere de un primer momento introductorio para los conceptos, principios y fundamentos de las Producciones Más Limpias y otro momento que resulte vinculante entre los instrumentos de la economía ecológica entre si mismas.

Un enfoque diferente para la gestión ambiental son las PML, que resulta un elemento fundamental para el mejoramiento de la calidad de las producciones y los servicios. Todas las acciones de PML van dirigidas hacia la mejora continua.

Las PML integra los objetivos ambientales al proceso de producción logrando reducir los consumos de agua, materias primas y energía y eliminar los materiales tóxicos, la empresa obtiene beneficios económicos considerables que pueden ser revertidos en el propio desarrollo ulterior de la entidad.

El PNUMA define la Producción Más Limpia como: «[...] aplicación continua de una estrategia integrada de prevención a los procesos, productos y servicios, para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a la vida humana y al medio ambiente». Este concepto fue definido sobre la base de cuatro criterios: puesta en práctica de una estrategia ambiental preventiva; conservación de materias primas y energía, la eliminación de los materiales tóxicos, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que se concluya el proceso productivo; reducción de los impactos en todo el ciclo de vida del producto, es decir desde que extraen las materias primas hasta su destino final; así como la constante aplicación de conocimientos, mejoramiento de la tecnología y cambio de actitudes.

La PML está dirigida fundamentalmente a evitar la generación de residuos y emisiones y a disminuir el consumo de materias primas, materiales auxiliares, agua y energía para contribuir así a la elevación del desempeño ambiental y económico de una organización.

Existen diferentes alternativas para la prevención de la contaminación como se señala en la **figura 3**.

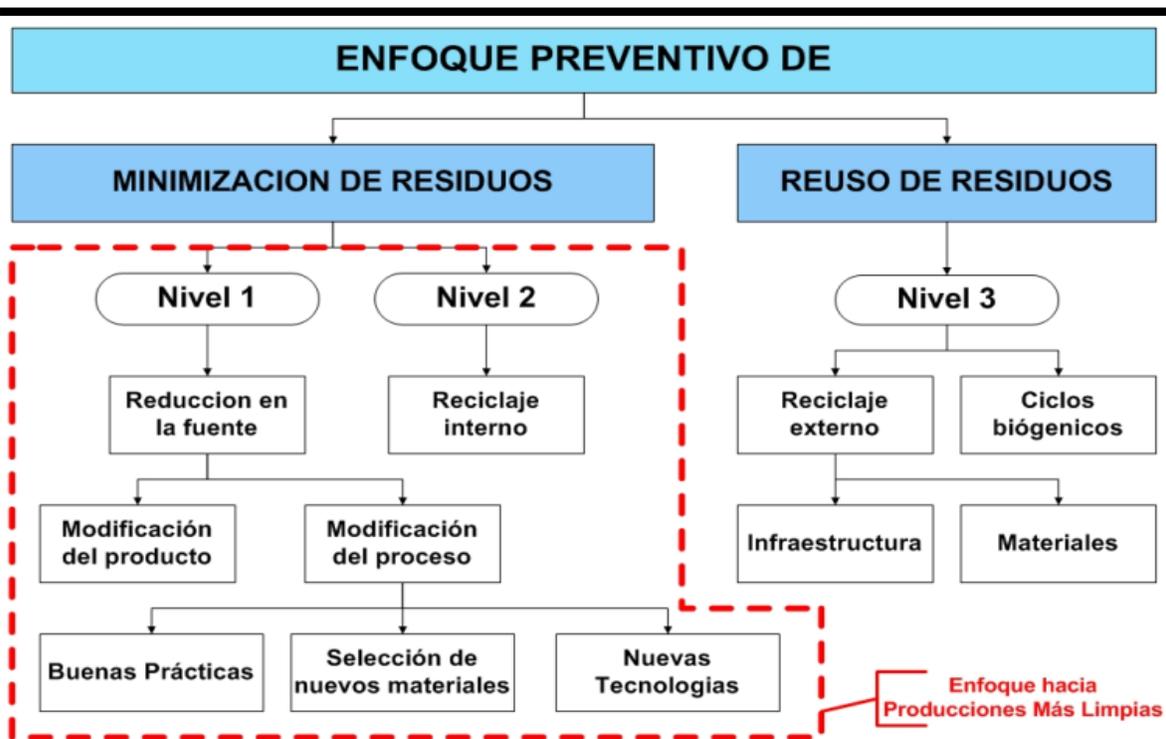


Figura 3. Estrategia para aplicar los principios de Producciones Más Limpias. **Fuente.** “Tomado de Protección ambiental y producción + limpias. Parte 2”.

En el nivel 1 se aborda la solución de los problemas en la fuente donde se originan. Incluye modificaciones del producto y/o del proceso productivo o de servicio. Es la mejor alternativa que se puede aplicar.

Estas modificaciones del producto pueden incluir cambios en el diseño del producto, cambios de producto, así como sustitución de materiales por otros menos tóxicos y agresivos. La modificación está relacionada con la producción,

Utilización y disposición del producto. Asimismo, pueden ayudar a reducir residuos y emisiones.

Por el proceso se entiende el proceso de producción completo dentro de la empresa o el proceso de servicio que comprende todo un conjunto de acciones que son:

- Las buenas prácticas constituyen las medidas más económicas en la mayoría de los casos y de fácil implementación y están relacionadas fundamentalmente con las materias primas y materiales del proceso, también puede incluirse entrenamiento y motivación del personal referente a los cambios con respecto al funcionamiento de los equipos, instrucciones de manipulación para materiales y envases, etcétera.
- Selección de nuevos materiales está asociada a la sustitución de materias primas y materiales del proceso que son tóxicos o dificultan el reciclaje por otros menos tóxicos y perjudiciales para la salud y el medio ambiente, que reduce de esta forma los volúmenes y concentración de los residuos y emisiones.
- El termino Nuevas tecnologías esta referido a la sustitución de la tecnología obsoleta por una tecnología ambientalmente segura contribuyendo a elevar la productividad, reducir el volumen de los residuos y emisiones, así como los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Las producciones mas limpias pueden constituir la salida a metodologías que en su fase de mejora pretendan vializar factores ambientales positivos en contraposición con los costos.

Por otra parte la huella ecológica así como la huella hídrica resultan la salida perfecta, expresada como indicador fortalecido de un Análisis de Ciclo de Vida. Estas desarrollan una metodología que transforma dichos consumos a emisiones e impactos (efecto invernadero, disminución de la capa de ozono, etc). La Huella Ecológica corporativa así como la huella hídrica Productiva pudieran partir de la información suministrada por el Análisis de Ciclo de Vida de emisiones asociadas a los consumos realizados, para transformarlos en hectáreas necesarias para su absorción en el caso de la ecológica y en unidades de agua por unidad de producto generado y a su vez apoyan y/o confiabiliza los resultados obtenidos tras la aplicación del ACV.

Los consumos a los que se supedita la realización del ACV dependen de los condicionantes señalados anteriormente y también de la existencia de información sobre emisiones asociadas a ellos en la base de datos del programa informático utilizado. Asimismo ya que la Huella Ecológica se deriva de los resultados obtenidos por aplicación del ACV, como ya se ha señalado, estos análisis también se reducirán a los consumos que han podido ser tratados con ACV. **Ver figura 4.**

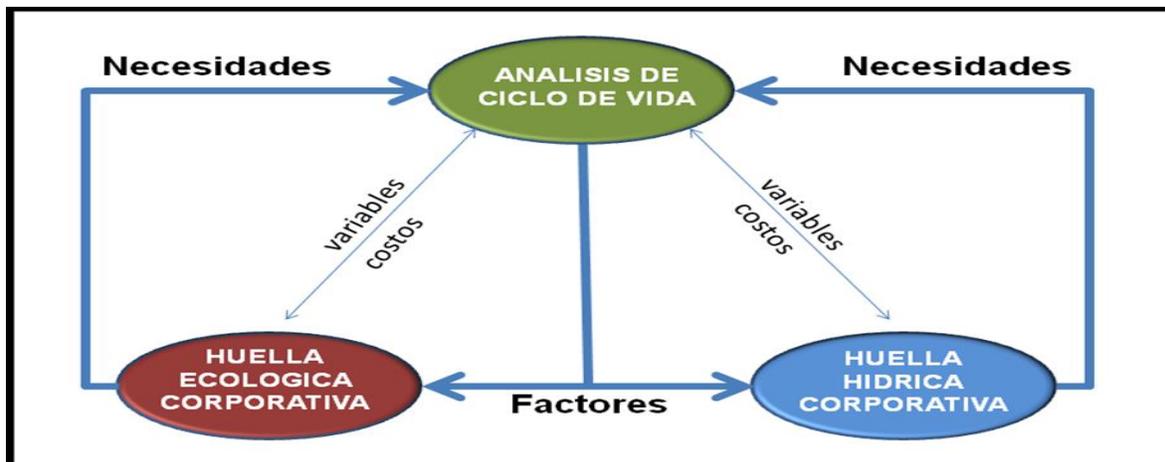


Figura 4. Interrelación entre las metodologías del Análisis del Ciclo de Vida, la Huella Ecológica Corporativa y la Huella Hídrica Corporativa. **Fuente:** Elaboración Propia.

Estas herramientas establecen para si un primer e importante paso que esta dado por la definición en paralelo de los limites temporales y geográficos así como la unidad funcional.

A pesar de manejar con una similitud o dualidad en los datos permiten ser interpretados de manera mas profunda en un análisis ambientalmente mas maduro como indicadores para el sistema de gestión ambiental corporativo.

Una vez expuesta las interacciones entre si de las herramientas de la economía ecológica vale destacar que las mismas pueden ser fusionables con las producciones más limpias, ya que persiguen los mismos objetivos además de complementarse entre si con las fortalezas y debilidades de cada una de ellas. El

diagnostico y evaluación de los instrumentos de economía ecológica complementa la fase previa a la mejora de las metodologías de la Producciones Más Limpias.

1.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del Primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

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.

1.2.1 Situación del sector de generación eléctrico en el mundo.

En las distintas regiones del mundo, en el sector eléctrico se han adoptado distintas estrategias dependiendo del desarrollo económico de cada país, con el fin de lograr la eficiencia, ya sea a través de instituciones regulatorias bien definidas o de incrementar las inversiones para el desarrollo de nueva infraestructura.

Ing. José M. Bermúdez García

Por otro lado, el tema de los combustibles utilizados para la generación eléctrica cobra cada vez mayor importancia por las tendencias mundiales hacia una mayor eficiencia tecnológica y cuidado del medio ambiente.

La demanda mundial de energía eléctrica se estima que crezca a una tasa anual de 2.9% durante el horizonte 2005-2015 (**véase Tabla 3**). El crecimiento estimado mundial es impulsado principalmente por los países en transición y en desarrollo.

Tabla 3. Comportamiento estimado de la demanda mundial de energía eléctrica (2005-2015). **Fuente:** Department of Energy e International Energy Outlook, 2005.

	2005	2010	2015	tcma (%) 2005-2015
Mundial	14275	18875	21400	2.9
<i>Países industrializados</i>	<i>8086</i>	<i>9079</i>	<i>9837</i>	<i>1.4</i>
Norteamérica	4328	5193	5693	2
Europa Occidental	2556	2613	2786	0.6
Asia industrializada	1202	1273	1358	0.9
<i>Economías en transición</i>	<i>1544</i>	<i>2334</i>	<i>2654</i>	<i>3.9</i>
Rusia	1154	1794	2048	4.2
Europa Oriental	390	540	606	3.2
<i>Países en desarrollo</i>	<i>4645</i>	<i>7462</i>	<i>8909</i>	<i>4.8</i>
Asia	2914	4909	5843	5.1
Medio Oriente	574	861	997	4
África	442	622	755	4.2
Centro y Sudamérica	735	1070	1314	4.2

tcma: tasa media de crecimiento anual (%).

1.2.2 Caracterización de fuentes de generación eléctrica en Cuba.

En nuestro país la energía eléctrica se genera empleando mayoritariamente tecnologías que funcionan a partir de la quema de combustibles fósiles, ya sean centrales térmicas o grupos electrógenos agrupados en baterías para la generación distribuida. En mucha menor medida también se emplean para la satisfacción de la demanda eléctrica nacional, tecnologías que permiten el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Pero para que la electricidad llegue hasta los usuarios finales, es necesario «transportarla» a veces largas distancias mediante los tendidos eléctricos de las redes de transmisión y distribución del Sistema Electroenergético Nacional.

De las distintas formas de generación de energía eléctrica utilizadas en Cuba, más del 90% se realiza a partir de combustibles fósiles, ya sea fuel oil, gas oil o gas, utilizando para ello diversas tecnologías como el ciclo combinado, grupos electrógenos o plantas térmicas, como se puede apreciar en la **Figura 5** que a continuación se muestra, donde se aprecia además la pequeña generación realizada con energías renovables y utilizando la biomasa sobre todo en centrales azucareros.

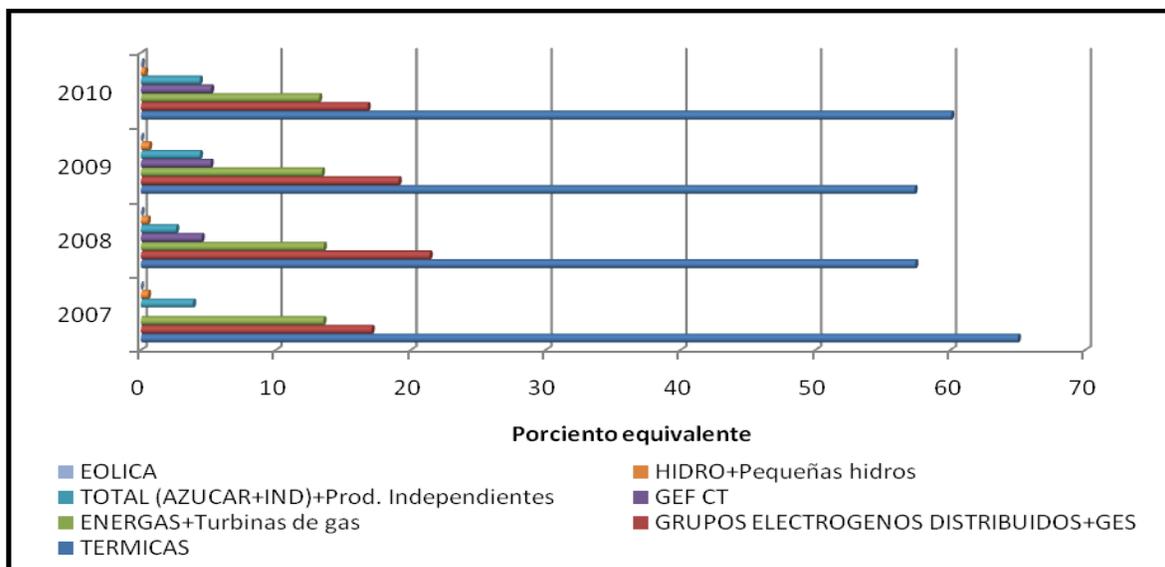


Figura 5. Generación equivalente aportada al SEN en el período 2007-2010. **tcma:** tasa media de crecimiento anual (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados en el Anuario estadístico del D.N.C. del año 2010.

Las centrales de ciclo de vapor y enfriamiento por sistemas de bombeo de agua de mar resulta la fuente de generación principal del país en los momentos actuales. El componente de incidencia negativa o impacto ambiental de estas instalaciones esta asociado fundamentalmente a las emisiones gaseosas por la combustión de combustibles fósiles, así como los consumos de agua cruda y los vertidos de las aguas residuales de tipo oleosas, de carácter acidas o básicas por los procesos de regeneración de resinas químicas en intercambiadores anionicos y cationicos así como las de los procesos de lavado de calderas y calentadores de aire de tipo regenerativos.

En la **figura 6** se puede apreciar el aporte equivalente en % de la cantidad de energía generada con respecto a la producción total de la Unión Nacional Eléctrica por cada una de las entidades con este objeto social al cierre del año 2010.

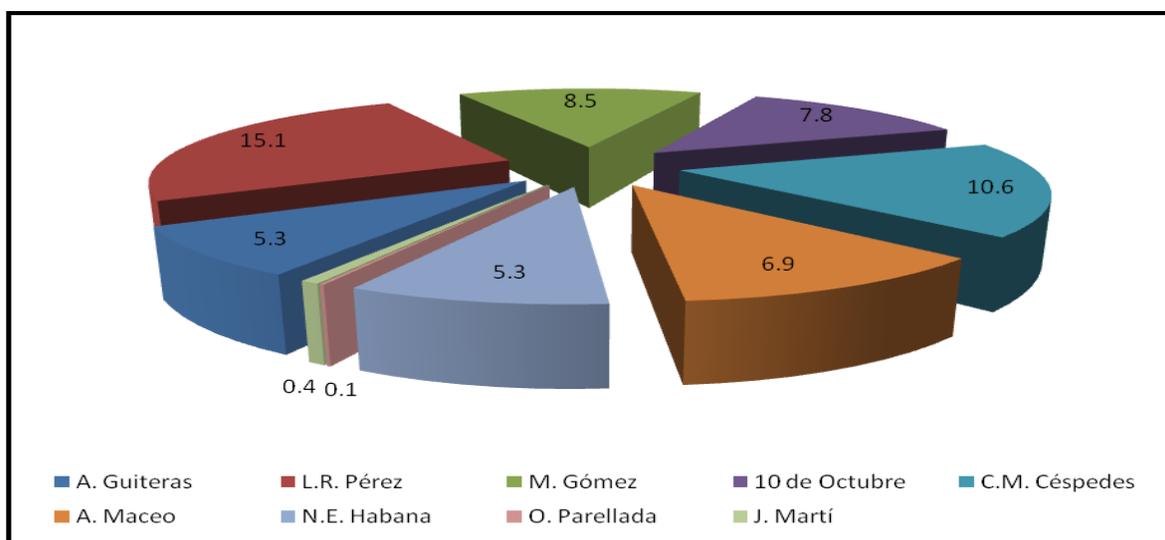


Figura 6. Aporte equivalente de cada una de las plantas termoeléctricas (%) al S.E.N durante el año 2010. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos publicados en el Anuario estadístico del D.N.C. del año 2010.

Ing. José M. Bermúdez García

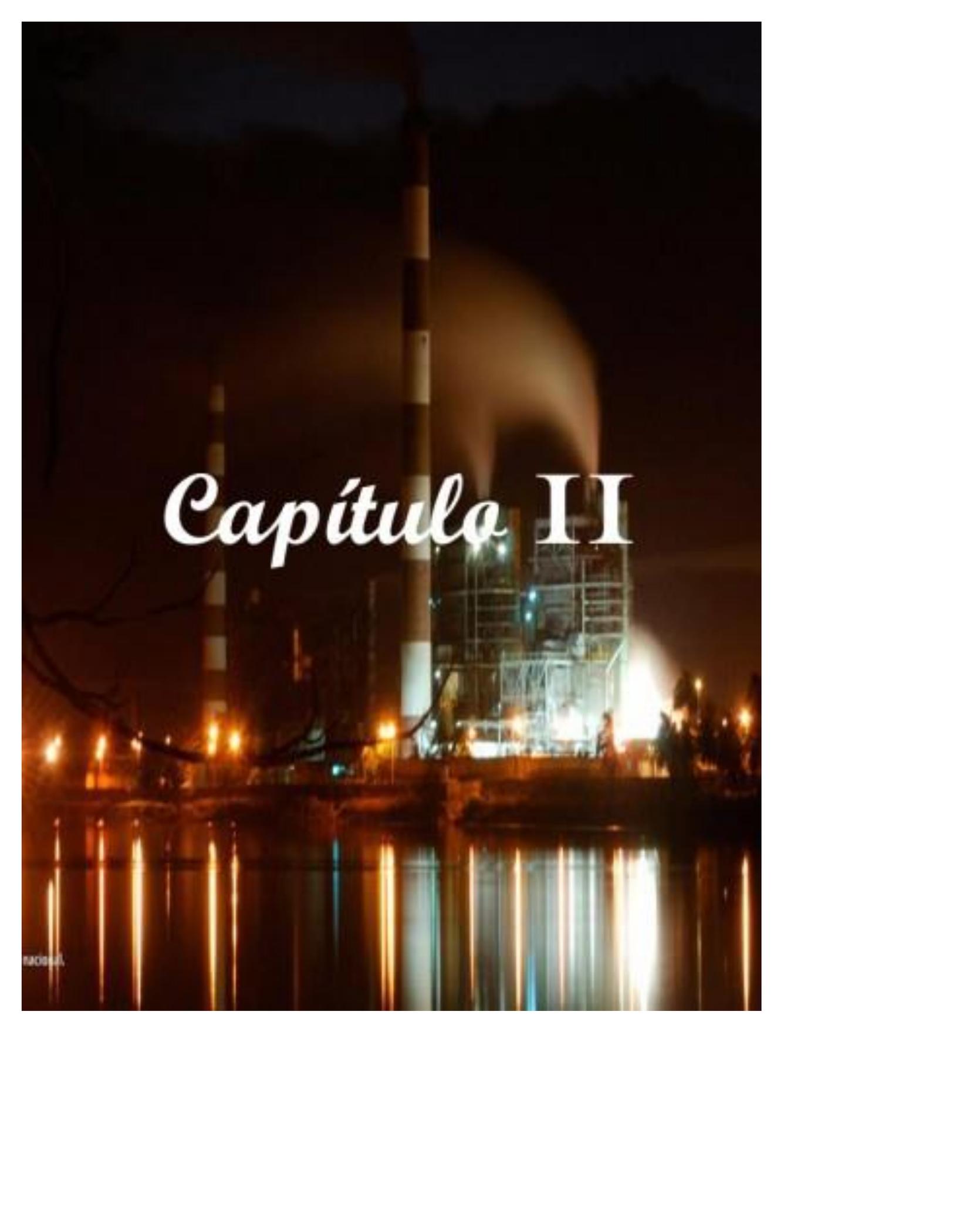
Este tipo de generación resulta muy estable en cuanto a la operación del sistema ya que además de estar diseñadas para régimen continuo es relativamente cómodo mantener con este tipo de máquinas la frecuencia del sistema.

El combustible básico de generación de este tipo de plantas es el crudo cubano con aproximadamente 1500 cSt con hasta un 7% de contenido de azufre, excepto por la central termoeléctrica N.E. Habana (Santa Cruz) que tiene un régimen periódico entre el crudo y gas y las unidades japonesas de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos que mantiene régimen continuo con fuel oil procedente de la refinería por oleoducto.

Conclusiones parciales del Capítulo I.

- 1 Desde las perspectivas de la economía ecológica para poder ejecutar un proceder en función de alcanzar una mejora ambiental se hace necesario la confección de indicadores que permitan monitorear el mismo a partir de ciertas condicionantes, siendo los más empleados para productos y servicios, el análisis del ciclo de vida, la huella ecológica corporativa y la hídrica productiva.
- 2 El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental, basada en las NC ISO14000, que a partir de un análisis de inventario brinda una base sólida, para proponer análisis de mejora que hagan los procesos más eco-eficientes.
- 3 Las Huellas Ecológicas e Hídricas pueden considerarse herramientas generales, confiables, detalladas y flexibles, ya que las mismas evalúan las tendencias de consumo, así como las necesidades o capacidades de asimilación sostenible, permitiendo a través de su análisis desarrollar estrategias y políticas.
- 4 Los instrumentos de economía ecológica investigados pueden vincularse con las prácticas de producción más limpia, dando elementos adicionales para una más fundamenta propuesta de reducción de los costos ambientales y económicos de productos y servicios.
- 5 Cuba cuenta con una infraestructura de generación del 99 % de combustibles fósiles, siendo el principal productor de gases de efecto invernadero lo obliga

implementar prácticas eco-eficientes que atenúen los impactos y efectos provocados por las mismas.

A photograph of an industrial facility at night. Several tall, dark smokestacks are visible, with one emitting a plume of white smoke. The facility is illuminated by numerous bright lights, creating a stark contrast against the dark sky. The lights and structures are reflected in a body of water in the foreground, creating a shimmering effect. The overall scene conveys a sense of industrial activity and environmental impact.

Capítulo II

Capítulo II “Materiales y métodos de la investigación”.

El presente capítulo aborda una caracterización del objeto de estudio y caracterización de la entidad donde se encuentra el anteriormente mencionado. Se logra una introducción del contexto o escenario donde se aplicaran las metodologías descritas en el capítulo anterior y con una mayor profundidad en este. Se exponen cada una de las fases y etapas de las metodologías a desarrollar en el objeto de estudio.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.

En el año 1968 comienza el incipiente desarrollo termoeléctrico de nuestra región de Cienfuegos. Tres unidades de 30 MW cada una fueron importadas desde el centro de Europa, desde Checoslovaquia, dos de ellas para construir en Cienfuegos y otra en principio en un lugar llamado Punta de Martillo cerca de la Bahía de Manzanillo.

Posteriormente al montaje, sincronización y operación de las unidades procedentes de Checoslovaquia en los años 1968 y 1971, y debido al impetuoso incremento de nuevas industrias en la Zona Industrial de Cienfuegos y el país, se adquirieron y montaron a partir del año 1978 dos nuevas unidades termoeléctricas de tecnología HITACHI procedentes de Japón, marcado por la competitividad comercial y acuñados por la calidad de sus productos. Estas unidades fueron adquiridas en principio para explotar a una generación de 169 MW.h (**véase tabla 4**) y posteriormente por características técnicas se explotan a 158 MW.h.

Tabla 4. Parámetros nominales de las calderas CMC3 y CMC4. **Fuente:** Libro de caldera de unidades japonesas.

Caldera

Tipo REE, de domo simple, radiante.

Flujo de vapor a régimen máximo	continuo (Máximo Continuo Raiting)
salida del sobrecalentador (SH)	535 t/h
salida del recalentador (RH)	455 t/h
Presión de vapor a (Máximo Continuo Raiting)	
salida del sobrecalentador SH	131 kgf/cm ²
salida del recalentador RH	30 kgf/cm ²
Temperatura del vapor a (Máximo Continuo Raiting)	
salida del sobrecalentador SH	540 °C
salida del recalentador RH	540 °C
Temperatura del agua de alimentar.	
entrada del economizador (ECO)	263 °C
salida del economizador (ECO)	295 °C
Temperatura del aire a la entrada del VTF	28 °C
Combustible	Petroleo Combustible Pesado BV
Sistema de horno	presurizado
Régimen químico de caldera.	
total de sólidos sílica	< 50ppm
fosfato de sodio	2 a 5 ppm
pH	9.5-10
Calidad del vapor salida de caldera	
conductividad	<0.3 Ms/cm
(SiO ₂)	<0.020 mg

La eficiencia de estas máquinas con más de 30 años de explotación continua, intercalada en períodos de mantenimiento preventivos, planificados, por averías y modernización, hacen posible que la generación para este tipo de sistema sea efectiva y confiable.

En todo el período de funcionamiento exhibe resultados muy por encima a las demás plantas de este tipo. La **tabla 5** expone la trascendencia tecnológica lograda hasta final del año 2010 de ambos bloques generadores así como otra serie de parámetros.

Tabla 5. Ranking histórico productivo para ambas unidades de generación de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos hasta cierre 2010. **Fuente:** Registros de operación.

PARÁMETROS HISTÓRICOS	UM	CMC3	CMC4
Generación producida	MW.h	29994279	30312384
Horas de operación	h	238981.23	230728.39
Carga promedio	MW.h	119.51	120.38
Consumo específico Bruto	g/(kW.h)	240.17	239.10
Factor de insumo	-	5.61	5.48
No. De arranques	-	348	410
Factor de potencia disponible	%	81.49	81.65
Factor de mantenimiento	%	11.14	12.90
Índice de deficiencia	%	7.77	5.68
Averías o vías libres desde 1994	-	147	141
Combustible consumido	toneladas físicas	7203585	7247598

2.1.1 Caracterización de la entidad.

La Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica del Ministerio de la Industria Básica fue creada por la Resolución No. 78 del Ministro de la Industria Básica.

Se encuentra ubicada en la ciudad del mismo nombre, es una de las mayores y más importantes plantas productoras de energía eléctrica con que cuenta nuestro país, muy cercana al litoral de la bahía, se localiza en los 22° 09'30" de Latitud Norte y los 80° 22'20" de Longitud Oeste, ocupando áreas de la Llanura de Cienfuegos, la cual se extiende por toda la porción centro-sur de la provincia, y se sirve de las aguas del lóbulo noreste de la bahía de Jagua para su sistema de enfriamiento.

Misión:

Generar y suministrar energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional, para garantizar la satisfacción de los requerimientos y necesidades crecientes de nuestro cliente, con un alto nivel de profesionalidad y cultura en la gestión de seguridad y salud de sus trabajadores, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el medio ambiente.

Visión:

Consolidar la entidad como la termoeléctrica más eficiente y eficaz en el ámbito nacional, alcanzando indicadores técnico-productivos de primer nivel mundial, manteniendo y priorizando la cultura en la gestión de seguridad, salud y medio ambiente, sobre sólidos valores y un alto sentido de pertenencia de los trabajadores, caracterizado, además, por una elevada gestión de los recursos humanos.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos tiene como OBJETO EMPRESARIAL aprobado la Generación de la Energía Eléctrica, el cual entró en vigor mediante la Resolución N° 233 de fecha 27 de abril de 2006 del Ministerio Economía y Planificación.

Actualmente cuenta con recursos humanos, medios e instalaciones que permiten cumplimentar éste objeto y con las potencialidades necesarias para ampliar el alcance de nuestras acciones a nuevas actividades por lo que el **Objeto Empresarial** es el siguiente:

- Generar y suministrar energía eléctrica al sistema eléctrico nacional, en pesos cubanos.
- Prestar servicios de consultoría en dirección y planificación de mantenimiento industrial, en pesos cubanos.
- Realizar estudios de diagnóstico industrial, calderas y equipos rotatorios, en pesos cubanos.
- Brindar servicios técnicos, de reparación y mantenimiento a equipos estáticos y rotatorios, así como electrónicos, de comunicaciones y de automática, en pesos cubanos.
- Realizar la comercialización mayorista del excedente de agua desmineralizada, vapor e hidrógeno, así como escoria residual de las calderas y residuales de la producción de agua desmineralizada, en pesos cubanos.
- Prestar servicios de calibración de equipos de medición, en pesos cubanos y pesos convertibles, al costo.
- Prestar servicios técnicos especializados de mecánica, eléctrica y automática, en pesos cubanos.
- Prestar servicios técnicos químicos especializados, en pesos cubanos.
- Comercializar de forma mayorista productos ociosos o de lento movimiento, en pesos cubanos.
- Comercializar de forma mayorista chatarra al Sistema de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas, en pesos cubanos y pesos convertibles.

- Prestar servicios de transportación de carga por vía automotor, en pesos cubanos.
- Brindar servicios de alimentación a sus trabajadores y de otras entidades que participen en la Modernización, Reparación y Mantenimiento a las Unidades Generadoras en pesos cubanos.

La **tabla 6** muestra alguno de los indicadores económicos de la entidad para los años 2009 y 2010 y las interrelaciones entre los planes y los reales de los mismos. Es importante destacar las funciones económicas de acuerdo a las características del proceso, ya que el mismo se encuentra estrechamente ligado a los gastos por MW generado y de acuerdo a las estrategias del despacho eléctrico.

Tabla 6. Indicadores económicos comparativos para los años 2009 y 2010.

Fuente: Registros económicos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Indicador	UM	2009		2010		RELACIONES			
		Plan	Real	Plan	Real	B/A	C/A	D/B	D/C
		A	B	C	D				
Producción mercantil	MCUP	36039.4	29332.8	20781.5	16503.9	0.81	0.58	0.56	0.79
Valor agregado	MCUP	28800.9	24186.7	14223.7	12322.2	0.84	0.49	0.51	0.87
Fondo de salario	MCUP	3385.4	3329.1	3009.6	2864.0	0.98	0.89	0.86	0.95
Promedio de trabajadores	u	563	543	469	452	0.96	0.83	0.83	0.96
Productividad	CUP	51156	44543	30322	27262	0.87	0.59	0.61	0.90
Salario medio	CUP	501	511	535	528	1.02	1.07	1.03	0.99

Descripción de la estructura organizacional y de la fuerza de trabajo.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos está compuesta por la Dirección General, 3 direcciones funcionales de regulación y control y 5 Unidades Empresariales de Base presupuestadas, el organigrama correspondiente se muestra en el **anexo D**. Esta estructura se puede clasificar como lineal funcional, en la misma se aprecian las relaciones de mando y control que se establecen.

La estructura por nivel de escolaridad y categoría ocupacional de la fuerza de trabajo de la entidad se muestra en la **figura 7**, siendo la misma una mezcla de experiencia y juventud formada según los principios y valores que ha mantenido a esta instalación como entidad cimera dentro del sector electroenergético nacional.

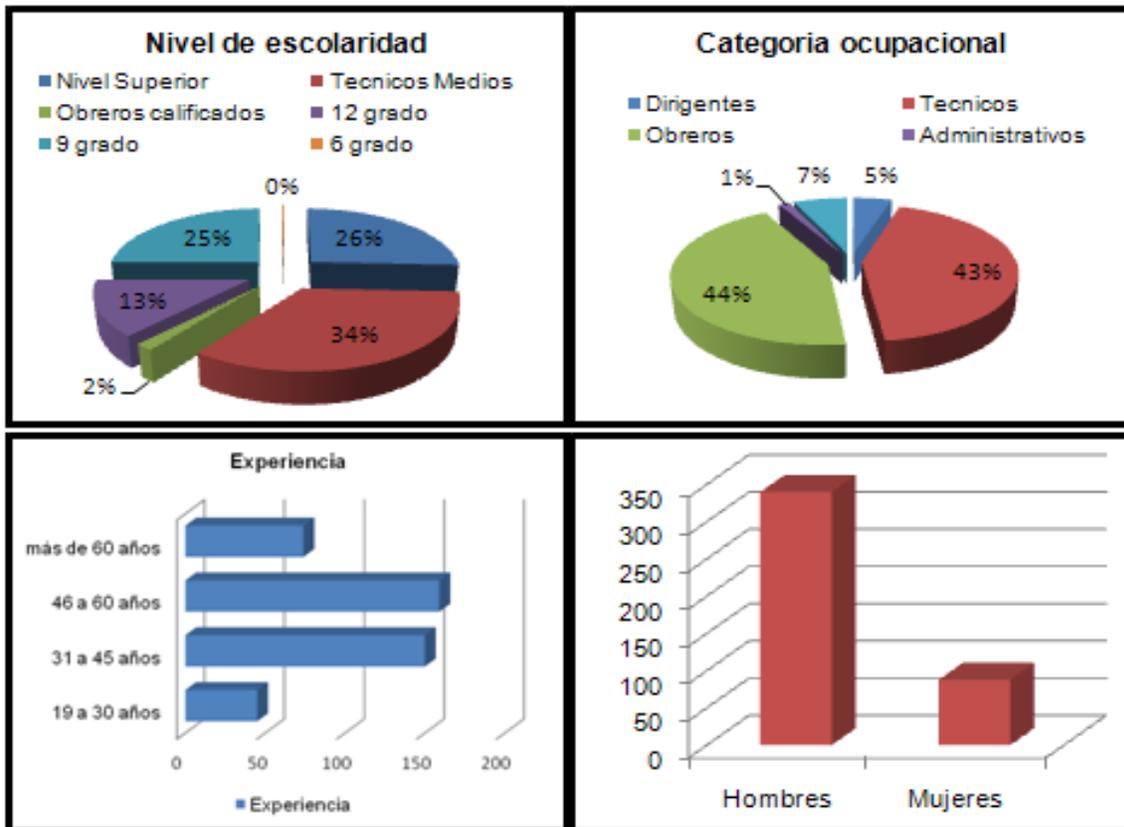


Figura 7. Descripción de la fuerza de trabajo. **Fuente:** Elaboración propia a partir de registros del Dpto. de Personal de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

2.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

El ACV es un proceso que puede dividirse en 4 etapas, definición del objetivo y alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida y análisis de mejoras tal y como se muestra en la **figura 8**.

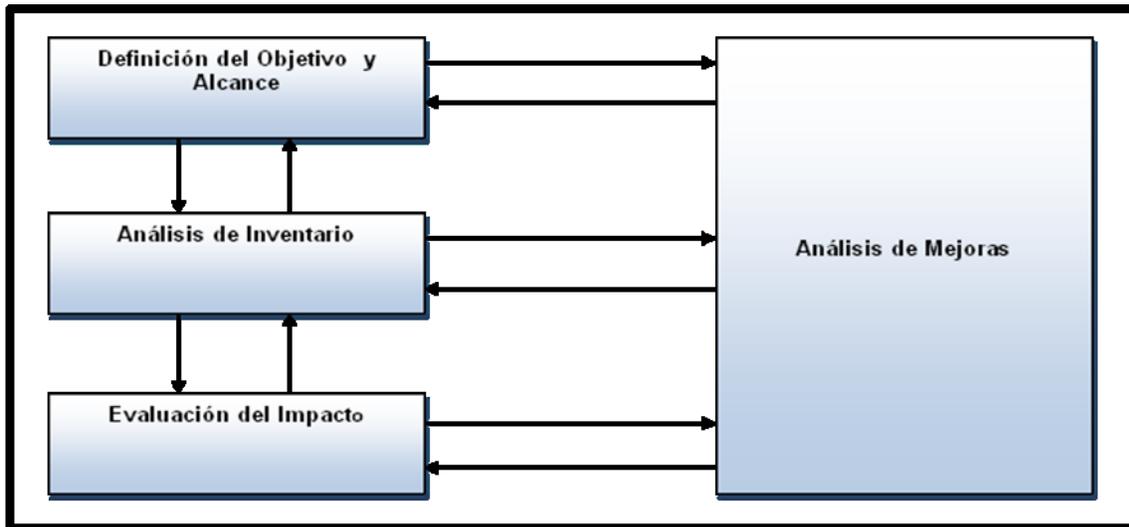


Figura 8. Las Etapas de un Análisis del Ciclo de Vida. **Fuente:** NC-ISO 14040.

A continuación se describe cada una de las etapas básicas para el desarrollo de la herramienta de ACV según se muestra en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 043.

2.2.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.

Como primer paso del ACV el objetivo y alcance deben definirse claramente y ser consistentes con la aplicación que se persigue por lo que deben tenerse presente los siguientes aspectos descritos por la Norma NC-ISO 14 040:1999.

- Definir el objetivo del estudio:

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar sin imprecisión la aplicación que se persigue, las razones para realizar el estudio y el destinatario a quien se le comunican los resultados del estudio.

- Definir el alcance del estudio:

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente de lo que se ha considerado como sistema (producto), a su vez, pueden ser comparados sistemas que se relacionan entre sí considerando la unidad funcional que se va a analizar como base para este análisis, el alcance en un estudio de ACV debe ser capaz de abarcar, en función de su definición, la profundidad, los detalles y la compatibilidad para lograr los objetivos previstos en el mismo.

Cuando se define el alcance de un estudio de ACV deben ser considerados y descritos claramente los límites del sistema, los procedimientos de asignación, los impactos, teniendo en cuenta la metodología que se utiliza para su evaluación, y la interpretación de esta, los datos con los que se va a trabajar y los requisitos con que debe contar para que el estudio tenga una base informativa con la menor incertidumbre, la hipótesis planteada para la ejecución del estudio, las limitaciones con que se cuenta para que este se lleve a cabo, el tipo y formato del informe a realizar tratando que este sea lo más detallado y que tenga la compatibilidad y profundidad requerida para alcanzar los objetivos propuestos.

Es además muy importante entender que un estudio de ACV es, en primer lugar, una técnica iterativa por lo que debe ser modificado durante la ejecución del mismo siempre que se vaya obteniendo información adicional.

Definir función y unidad funcional.

La unidad funcional define como se cuantifican las funciones que han sido identificadas, es muy importante que estas funciones sean consistentes con el alcance propuesto en el estudio y que sean capaces de alcanzar los objetivos propuestos.

Una unidad funcional nos da una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema (producto), su propósito principal es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas, con esto se logra la comparabilidad de los resultados

asegurando de esta forma que al analizar distintos sistemas las comparaciones se hagan sobre una base común.

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos: La identificación de las funciones del producto, la selección de una función y la determinación de la unidad funcional, así como la identificación del desarrollo del producto y la determinación del flujo de referencia como medida de las salidas necesarias de los procesos en un sistema (producto) dado para el cumplimiento de la función expresada por la unidad funcional.(Cordero hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010).

Para definir la unidad funcional se deben tomar en cuenta aspectos como, la eficiencia del producto, la durabilidad del producto, y el estándar de calidad de desempeño.

El carácter descriptivo de las respuestas a estas cuestiones representa un importante paso documental. En el informe se definen compromisos y responsabilidades para garantizar el empleo ético de los resultados, como también los niveles de accesibilidad de estos resultados.

Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios se deberán incluir dentro del ACV. Existen varios factores que determinan los límites del sistema como son:

- La aplicación prevista del estudio que se va a realizar.
- Las hipótesis planteadas.
- Los criterios que se han tomado para la exclusión de determinados factores y condiciones fuera de los límites de análisis.
- Los datos que serán validados y procesados.
- Las limitaciones económicas para la ejecución del estudio.
- El destinatario final que ha sido previsto para recibir el estudio.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deberán ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debería modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. En muchos casos no existirá tiempo suficiente, datos o recursos para efectuar un estudio tan completo. Deben tomarse decisiones respecto a qué proceso unitario será modelado y el nivel de detalle con que estos procesos unitarios serán estudiados. Los criterios usados para establecer los límites del sistema deberán identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio. Si esto no se realiza adecuadamente pueden ser tomados para el análisis flujos secundarios y datos relacionados con ellos, esto solo retrasa el estudio y eleva el nivel de incertidumbre en la modelación del sistema.

Requisitos de calidad de los datos.

Los requisitos de calidad de los datos especifican en términos generales las características de los datos necesarios para el estudio, si los datos no son tomados de fuentes comprobadas y validadas obligatoriamente nos llevarán a errores y resultados que van a diferir de lo que verdaderamente se requiere como objetivo a alcanzar en el estudio de ACV.

Los requisitos de calidad de los datos deben cubrir la cobertura temporal de los mismos, es decir, durante que límite de tiempo van a ser tomados estos datos y la duración mínima para su compilación, la cobertura geográfica, esta enmarca el área geográfica donde se van a tomar los datos para el estudio, la cobertura tecnológica, mezcla de tecnología a estudiar dándonos esta la situación ponderada de los procesos a estudiar como una comparación media ponderada de las mejores tecnologías y de las peores unidades de operación enmarcadas en el proceso de estudio.

Es necesario también tener en cuenta otros descriptores que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos.

Es importante, a su vez, que los datos sean representativos, amplios y precisos, que la fuente de los datos este validada y con la menor incertidumbre posible y que los métodos usados para el estudio de ACV tengan consistencia y reproducibilidad.

2.2.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.

El análisis del inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema producto. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema. Las interpretaciones pueden obtenerse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV.

Los datos cualitativos y cuantitativos para su consideración en el inventario deben obtenerse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. El análisis del inventario dentro de un estudio de ACV es iterativo, por tanto, a medida que se profundiza en el estudio se van incorporando nuevos datos y funciones relacionadas con esto y se van obteniendo nuevas limitaciones y nuevos requisitos a tal punto que en muchas ocasiones se deben cambiar los procedimientos que se utilizan para la obtención de los mismos y de esta forma poder cumplir el objetivo previsto, en muchas ocasiones este objetivo debe ser redefinido al cambiar los alcances por la inclusión de nuevos datos que fueron apareciendo durante el desarrollo del estudio.

Recolectar los datos.

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los

datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentadas y comunicadas. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos. (Cordero Hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010).

Construir los diagramas de procesos:

La construcción de los diagramas de proceso es un paso vital para la comprensión y el análisis detallado de un ACV, un diagrama de procesos muestra las entradas, salidas y la concatenación de estas en un proceso determinado, a su vez pueden ser apreciados los datos que están siendo evaluados y el entorno en que se enmarcan estos datos, si el diagrama está bien realizado muestra a su vez los límites del sistema (producto).

Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir, el comienzo del proceso al conocerse las entradas en forma de materias primas y de los productos intermedios que intervienen en el mismo, pueden describirse a su vez, las operaciones y transformaciones que ocurren dentro de cada proceso unitario y en función de las salidas que genera cada uno donde es que este termina y cuáles son los productos intermedios y finales.

Es importante describir la interrelación entre los determinados sistemas producto y las asignaciones de cada una de ellas, el sistema debe ser descrito de una forma que pueda ser entendido por cualquier otra persona que vaya a realizar un análisis del mismo.

Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas por la norma son:

Ing. José M. Bermúdez García

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas, el cálculo del flujo de energía debería considerar los

diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.

- Productos, en el caso que se trabaje con varios de ellos se deben realizar procedimientos de asignación.
- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales, estas deben ser asignadas a los diferentes productos de acuerdo a procedimientos claramente establecidos.

Estas categorías enmarcan una calificación para satisfacer el objetivo del estudio por lo tanto las diversas categorías de datos deben ser ampliamente detalladas.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV.

Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado.

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden también ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, emisión de dióxido de carbono (CO₂).

Procesar los datos.

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar. Durante la determinación de los flujos elementales asociados con la producción de electricidad, debe considerarse la producción mixta y las eficiencias de combustión, conversión, transmisión y distribución.

Las hipótesis deben ser claramente establecidas y justificadas.

En la medida de lo posible, es conveniente que la producción mixta real sea utilizada, con el fin de reflejar los diferentes tipos de combustibles utilizados. Las entradas y salidas relativas a un material combustible, por ejemplo petróleo, gas o carbón, pueden ser transformadas en entradas y salidas de energía multiplicándolas por el valor calórico de combustión apropiado. Si es utilizado el poder calórico superior o inferior, es conveniente aplicar el mismo modo de cálculo sin excepción a todo lo largo del estudio.

Si no se conocen todos los datos del proceso se recomienda realizar balances de masa en cada etapa del proceso hasta contar con toda la información necesaria para el posterior desarrollo de la investigación.

Todos los procedimientos de cálculo deben ser documentados explícitamente.

2.2.3 Etapa 3: Evaluación del impacto.

La Evaluación del Impacto de un Ciclo de Vida (EICV) tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, y de esta forma cuantificar posibles impactos medioambientales.

La EICV, como parte del ACV global puede, por ejemplo, ser usada según la NC ISO 14042:2001 para:

- Identificar las oportunidades de mejora de un sistema producto y ayudar en la priorización de ellas.
- Caracterizar o comparar un sistema producto y sus procesos unitarios a lo largo del tiempo.
- Hacer comparaciones relativas entre sistemas producto basadas en indicadores de categoría seleccionados.
- Indicar cuestiones ambientales donde otras técnicas pueden proveer datos ambientales complementarios e información útiles para quienes tienen que tomar decisiones.

El marco general de la fase EICV está compuesto de varios elementos obligatorios que convierten los resultados del ICV en resultados del indicador. Además, hay elementos opcionales para la normalización, la agrupación o la ponderación de los resultados del indicador y las técnicas de análisis de la calidad de los datos. La fase de EICV es solamente una parte del estudio completo del ACV y debe ser coordinada con las otras fases.

La EICV consta con elementos obligatorios que son descritos por la norma NC-ISO 14042:2001 estos elementos obligatorios incluyen la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización, asignación de los resultados del análisis del inventario (Clasificación) y los cálculos de los indicadores de categoría (Caracterización), como se puede observar en la **Figura 9** existen elementos de análisis opcionales como son el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría en relación con la información de referencia (Normalización), agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos.

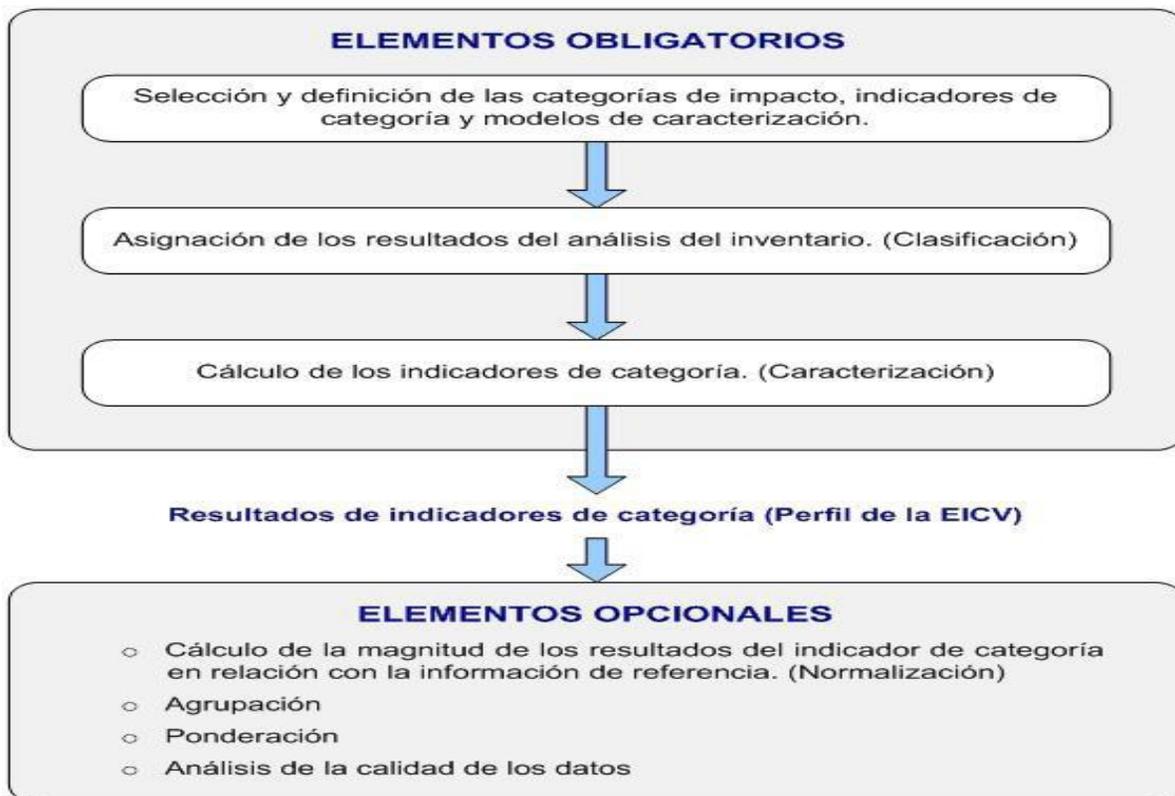


Figura 9. Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. **Fuente:** (NC ISO 14 042: 2001).

2.2.3.1 Descripción de los Elementos de una EICV.

- **Definir las categorías de impacto.**

Las categorías de impactos son los efectos producidos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema producto analizado y serán seleccionados en función del potencial de impacto que pueden ser generados por el sistema producto siendo estos los objetivos y el alcance por los cual se está realizando el estudio.

Las categorías de impactos medioambientales son agrupados en función de parámetros asociados a los flujos de entrada y salida, la selección de dichas categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización de las mismas deberán ser coherente con la meta y el alcance del estudio del ACV, Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local, la selección de las categorías de impacto deberá ser el reflejo de un amplio conjunto de cuestiones ambientales relacionadas con el sistema producto que se está estudiando, teniendo en cuenta la meta y el alcance esperado.

- **Clasificar resultados del análisis del inventario.**

El procedimiento consiste en asignar los estudios del ICV a las distintas categorías y así poder resaltar las cuestiones ambientales asociadas con los resultados del ICV, de esta forma son vistas y asignadas la totalidad de las cargas ambientales del sistema tratado.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- La asignación de los resultados del ICV que sean exclusivos de una categoría de impacto.

- La identificación de los resultados del ICV que se relacionen con más de una categoría de impacto.
- La distinción entre mecanismos paralelos, por ejemplo, el SO₂ es asignado entre las categorías de impacto salud humana y acidificación.
- La asignación entre mecanismos seriados, por ejemplo, los NO_x pueden ser asignados a la formación de ozono a nivel de superficie terrestre y a la acidificación.
- **Calcular los indicadores de categoría.**

Para calcular los resultados de los indicadores de categoría conocidos comúnmente como Caracterización, se aplican los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto. El cálculo implica la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la agregación de los resultados convertidos dentro de la categoría de impacto. En esta conversión se usan factores de caracterización. El resultado final del cálculo es un resultado indicador numérico.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, mide la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

2.2.3.2 Métodos para evaluar el impacto ambiental.

En la investigación se procederá a funcionalizar dos de los métodos más usados y recomendados por los distintos especialistas que se han servido de esta herramienta para evaluar el impacto ambiental, con los cuales se realizará cada paso descrito anteriormente. Estas metodologías son: IMPACT 2002+ y Ecoindicador 99; estas metodologías están enfocadas a categorías de daño o puntos finales. A continuación se describen las metodologías a utilizar:

Eco-indicador 99.

Objetivo principal: comparar las diferencias relativas entre sistemas y sus componentes.

Se enfoca a categorías finales o de daños. Determina un solo valor que indica el impacto ambiental total basado en los efectos calculados (ICV). Cumple con los requisitos de las normas ISO 14 040 – 14 044. Los valores de los Eco-Indicadores son cifras sin dimensión. Como base se utiliza el punto Eco-indicador (Pt). El valor de 1Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.

El método de evaluación para calcular el Eco-Indicador se enfoca en los efectos de emisiones en el ecosistema. Los objetivos se basan en datos científicos sobre daños medioambientales y no en declaraciones políticas. El valor de los objetivos son relacionados a tres tipos de daños medioambientales: deterioro de ecosistemas, deterioro de la salud humana, daño a recursos minerales y fósiles; y

11 categorías de impacto que son: carcinógenos, respiración de orgánicos, respiración de inorgánicos, cambio climático, radiación, agotamiento de la capa de Ozono, ecotoxicidad, acidificación, eutroficación, uso de la tierra, minerales y combustibles fósiles.

Caracterización.

Multiplicación del factor de caracterización por el tamaño de la intervención (emisión, extracción, uso de suelo).

$$S_j = \sum Q_{ji} m_i$$

Donde:

- S_j : Resultado del indicador.
- j : Categoría de impacto.
- m_i : Tamaño de la intervención de tipo i (masa de una sustancia emitida).
- Q_{ji} : Factor de caracterización que relaciona la intervención i con la categoría j .

Normalización.

Consiste en 2 pasos:

1. Encontrar las emisiones totales y consumo de recursos de un sistema durante un periodo de referencia (usualmente un año).
2. Calcular las categorías de impacto utilizando los factores normalizados.

La fórmula se muestra en la **ecuación 1**:

$$N = RI_{cat} / VR_{cat} \quad (1)$$

Donde:

- RI_{cat} : Resultado obtenido de cada categoría de año
- VR_{cat} : Valor de referencia

Impact 2002+

Es una metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, esta metodología propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías

Ing. José M. Bermúdez García

(salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de
14 puntos intermedios: efectos respiratorios, toxicidad humana,

oxidación fotoquímica, deterioro de la capa de Ozono, ecotoxicidad acuática y terrestre, acidificación, eutroficación, uso de la tierra, calentamiento global, extracción de minerales, energías no renovables y radiaciones ionizantes.

Caracterización.

Los factores de caracterización de daños pueden ser obtenidos al multiplicar el punto intermedio potencial de caracterización con los factores de caracterización de daño de las sustancias referenciadas.

Normalización.

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión. (Jolliet, Olivier, Margni, Manuele, and Colectivo de Autores 2003)

En la **ecuación 2** se muestra un ejemplo del uso de este método para el cálculo que tienen los impactos toxicológicos no cancerígenos sobre la salud humana.

$$\beta_{human} = \frac{0.1}{ED_{10}} \times \frac{1}{BW \times LT_h \times N_{365}} \quad (2)$$

Donde:

- B_{human} : Factor de efecto sobre la salud humana (Riesgo de un incidente por kg de ingestión acumulativa).
- ED_{10} : Dosis de referencia resultante en un 10% de efecto sobre el ambiente (mg/kg/día).
- BW : Promedio del peso corporal en determinada población (kg/personas).
- LT_h : Promedio de vida humana en determinada población en años (años).

- N_{365} : Número de días por año (días/años).

2.2.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales.

En esta última fase los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio.

La fase de interpretación puede abarcar el proceso iterativo de examen y revisión del alcance del ACV, así como la naturaleza y calidad de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo definido.

Aunque las acciones y decisiones subsecuentes pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, se mantienen fuera del alcance del estudio de ACV, en tanto que otros factores, como la realización técnica y los aspectos económicos y sociales también se consideran.

l) Reporte y análisis de mejoras.

- En el reporte de la investigación deben definirse:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el proceso productivo.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de mejora, si es posible.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA CORPORATIVA.

La huella ecológica transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar, suelo construido o absorción de CO₂) dándonos una idea clara y precisa del impacto de nuestras actividades sobre el ecosistema. Aunque el consumo suele referirse al ciudadano como consumidor final, la huella ecológica es perfectamente aplicable a la empresa, y a cualquier tipo de organización (como personas jurídicas), ya que éstas también son consumidoras de bienes y servicios. **Ver figura 10.**

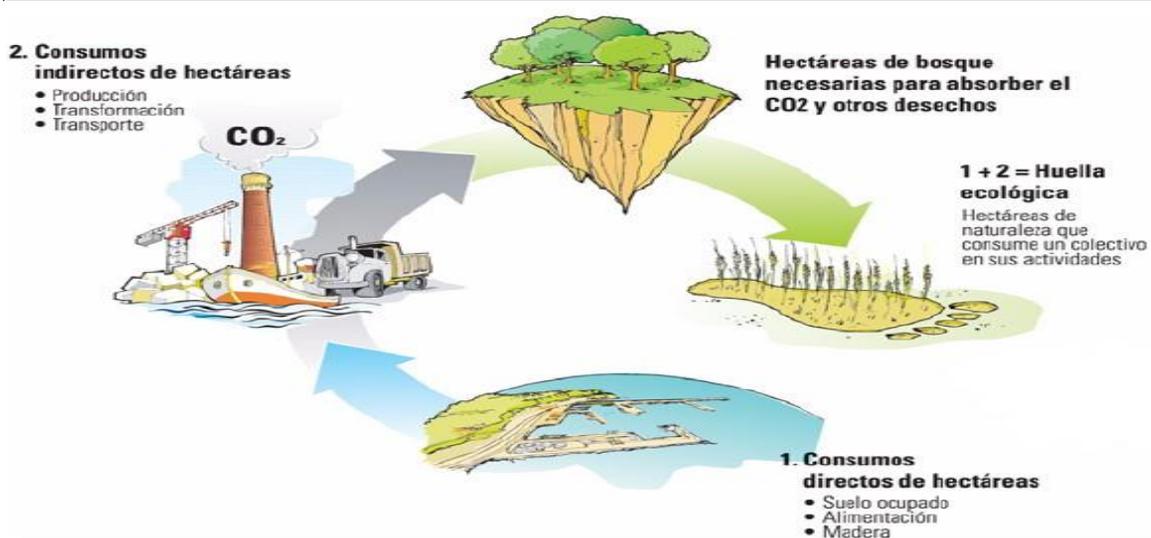


Figura 10. La huella ecológica aplicada al sector industrial. **Fuente:** Domenech Quesada, 2006

Para la descripción del cálculo de la huella ecológica corporativa se consultó el documento: “*Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*” del autor Doménech Quesada, al cual se le introdujeron adaptaciones con el fin de llevarla al ámbito de nuestro estudio; los pasos para su determinación son los siguientes:

1- Definición de objetivos y alcance.

- a) Definir función y unidad funcional.
- b) Definir los límites del sistema.
- c) Los requisitos y la calidad de los datos.

2- Cálculo de la huella ecológica.

El cálculo de la Huella Ecológica se hace a partir de la suma de las sub-huellas valoradas en el proceso de ciclo de vida de la generación de energía eléctrica. Estas necesidades para el caso del proceso objeto de estudio se pueden dividir en:

- Sub-huella energética ($SH_{ENERGIA}$).
- Sub-huella de necesidades de tierras (SH_{TIERRA}).
- Sub-huella de los insumos ($SH_{INSUMOS}$).
- Sub-huella de superficie construida ($SH_{SUPFCONST}$).
- Sub-huella necesidades de agua de mar ($SH_{AGUADEMAR}$).

2.3.1 Cálculo de la sub-huella Energía.

El cálculo de la sub-huella energía, se desglosa en el consumo de todos los portadores energéticos que lleva el ciclo de vida de producción de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, con los límites que fueron definidos. Al determinarse los mismos, se llevan a toneladas equivalentes a fin de

unificar la unidad de energía y se determina la cantidad de CO₂ emitido a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Sub-huella ENERGIA (ha/MW.h)} = \sum \frac{\left[\left(\frac{T_c}{P_b} \right) \times V_c \right] \times 4.1868 \times 10^{-6}}{F_c}$$

Donde:

- **Tc:** Total de toneladas de combustible consumido en el período (t/año).
- **Pb:** Producción Bruta del período [(MW.h)/año].
- **Fc:** Factor de conversión de energía a hectáreas absorbidas de CO₂ (71Gj requieren 1ha productiva)

Nota: Utilizando mejores estimaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para la productividad forestal, la absorción de carbono y los factores de emisión de carbono, y asumiendo un tiempo de maduración forestal (ciclo de cosecha) de 40 años, se fijó la media de absorción de carbono en 1,42 tC/ha/año ó 5,21 tCO₂/ha/año. Parece una estimación prudente y adecuada, teniendo en cuenta que algunos estudios realizados por la Universidad de Vigo, con eucaliptos, arrojan una tasa de absorción de hasta 25 tCO₂/ha/año (Oliveros, *et al.*, 2004).

Los combustibles líquidos tienen un factor de emisión de carbono de 20 tC/Tj, por lo que el ratio energía/hectáreas es de 71 Gj/ha/año (1,42/0,020= 71). Es decir, una hectárea de bosque puede secuestrar anualmente las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de 71 Gigajoules de combustible líquido. Cuando utilizamos el carbón como combustible, la productividad es de 55 Gj/ha/año, ya que el carbón tiene un factor de emisión de carbono de 26 tC/Tj (1,42/0,026 = 54,6) y la del gas es de 93 Gj/ha/año, ya que su factor de emisión es de 15,3 tC/Tj (1,42/0,0153 = 92,8).

2.3.2 Cálculo de la sub-huella Tierra.

Para el cálculo de esta huella se tuvo en cuenta la cantidad de tierra productiva necesaria para generar un MW.h del proceso. Por lo tanto la expresión para calcular la sub-huella tierra quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Sub-huella necesidades de TIERRA (ha/MW.h)} = \frac{At}{Pb}$$

Donde:

- **At:** Área total de la entidad (ha).

2.3.3 Cálculo de la sub-huella Insumos.

En esta sub-huella se tuvieron en cuenta la intensidad energética de los distintos insumos que tiene la producción de energía eléctrica a partir de las recomendaciones emitidas por Juan Luís Doménech Quesada de los insumos y servicios que aparecen en el **anexo E** quedando la expresión del cálculo de esta huella de la siguiente manera:

$$\text{Sub-huella INSUMOS (ha/MW.h)} = \sum \frac{\left(\frac{CI_x}{Pb}\right) \times IE}{Fc}$$

Donde:

- **CI_x:** Consumo total del Insumo **x** para el período de la investigación (t/año).
- **IE:** Intensidad Energética del Insumo **x** según Doménech Quesada (Gj/ton).

2.3.4 Cálculo de la sub-huella Superficie Construida.

Esta huella se calcula a partir de la división del área total construida de la entidad entre la producción bruta generada en el período que se encuentra enmarcada la investigación. Su expresión quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA (ha}_{\text{const}}/\text{MW.h)} = \frac{S_c}{P_b}$$

Donde:

- **Sc:** Superficie total construida del área total de la entidad (ha).

2.3.5 Cálculo de la sub-huella Agua de mar.

Para el caso de la generación esta huella resulta un poco errática ya que la misma expresa consumo de este recurso, por las características del proceso de generación de energía eléctrica por medio de un sistema térmico el agua de mar es usada y devuelta al medio con transformaciones físico-químicas prácticamente despreciables. Por otra parte al ser la hectárea una unidad de medida de área y los consumos de agua de mar expresados en una unidad de volumen (m^3) se representó esta unidad como las hectáreas de superficie del volumen necesario de agua de mar optando por la profundidad media de la fuente (bahía de Jagua profundidad media 9 metros). La expresión de cálculo resulta como se muestra a continuación:

$$\text{Sub-huella consumo de AGUA DE MAR (ha/MW.h)} = \frac{\left(\frac{CT_{am}}{P_b}\right)}{10000(PMf)}$$

Donde:

- **CT_{am}:** Consumo total de agua de mar en el período ($m^3/\text{año}$).
- **PMf:** Profundidad media de la fuente de agua de mar (m).
- **10000(PMf):** Factor de representación a hectáreas de superficie de la fuente de consumo de agua de mar.

2.3.6 Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa.

Para el cálculo de este indicador se adicionan cada una de las sub-huellas antes calculadas. La expresión aritmética queda conformada de la siguiente manera:

Huella Ecológica Corporativa (ha/MW.h/año)= (SH_{ENERGIA} + SH_{TIERRA} + SH_{INSUMOS} + SH_{SUPFCONST} + SH_{AGUADEMAR}).

Este indicador permite visualizar el comportamiento de cada una de las sub-huellas y el porcentaje que representan del total en aras de sectorizar y enfocar de manera oportuna y prioritaria cualquier plan o acción de mejora en el proceso, con un marcado sentido de preservación y sustentabilidad económica y ambiental.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA HUELLA HÍDRICA.

La Huella Hídrica de la Producción es el volumen de agua dulce utilizado para producir bienes, medida a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, así como el agua empleada en los hogares y la industria, especificada geográfica y temporalmente. Tiene tres componentes:

- **HUELLA HÍDRICA VERDE:** el volumen de agua de lluvia que se evapora durante la producción de los bienes; para productos agrícolas, ésta es el agua de lluvia almacenada en el suelo que se evapora de los campos de cultivo.
- **HUELLA HÍDRICA AZUL:** el volumen de agua dulce extraído de fuentes superficiales o de aguas subterráneas que utiliza la gente y no es devuelta; para productos agrícolas se contabiliza sobre todo la evaporación del agua de regadío de los campos.
- **HUELLA HÍDRICA GRIS:** el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes liberados en los procesos de producción hasta tal concentración que la calidad del agua se mantenga por encima de los estándares de calidad acordados.

La **figura 11** muestra de manera gráfica cada una de las fuentes y las extracciones que comprenden cada una de estas clasificaciones de aguas.

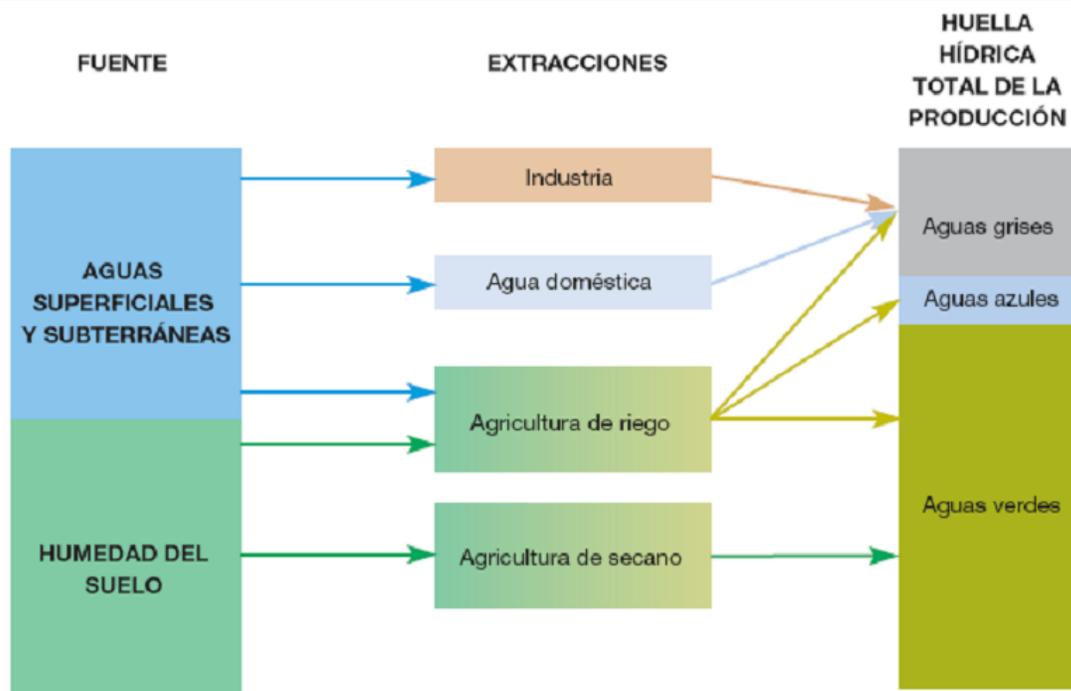


Figura 11. Determinación de la huella hídrica. **Fuente:** Informe Planeta Vivo 2010.

2.4.1 Metodología de cálculo para la huella hídrica.

Esta metodología consta de 2 partes; una primera donde se calculan las extracciones de agua provenientes de las fuentes superficiales y subterráneas, y la humedad del suelo utilizada durante todo el proceso; y una segunda donde las mismas se clasifican según su uso en verdes, azules y grises.

Para la determinación de los consumos de aguas superficiales y subterráneas, se suministraron los datos a partir de los distintos procesos.

La segunda parte es el cálculo de la huella hídrica, calculándose esta mediante la siguiente expresión:

$$\text{HUELLA HÍDRICA TOTAL CORPORATIVA (m}^3\text{/MW.h)} = (\text{AGUAS VERDES} + \text{AGUAS AZULES} + \text{AGUAS GRISES}).$$

Donde:**AGUAS VERDES (m³/MW.h) = 0**

Nota: El proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, objeto de la investigación no cuenta con volúmenes de aguas de este tipo por lo que su valor es nulo.

$$\text{AGUAS AZULES (m}^3\text{/MW.h)} = \sum \frac{AZ_i}{P_b}$$

Luego:

AZ_i: Volumen de aguas de tipo azul según la clasificación (usadas en el proceso de producción o apoyo del mismos y no son devueltas al medio a pesar de que no se contaminan) [m³].

P_b: Generación Bruta (MW.h) para el año definido en los límites temporales de la investigación.

$$\text{AGUAS GRISES (m}^3\text{/MW.h)} = \sum \frac{AG_i}{P_b}$$

Luego:

AG_i: Volumen de aguas de tipo gris según la clasificación (usadas en el proceso de remoción de residuales o aquellas que constituyen desechos líquidos industriales) [m³].

La huella de agua (Water Footprint) es un indicador geográfico explícito, que no solo muestra volúmenes de uso y contaminación de agua, sino también los lugares donde la misma se causa.

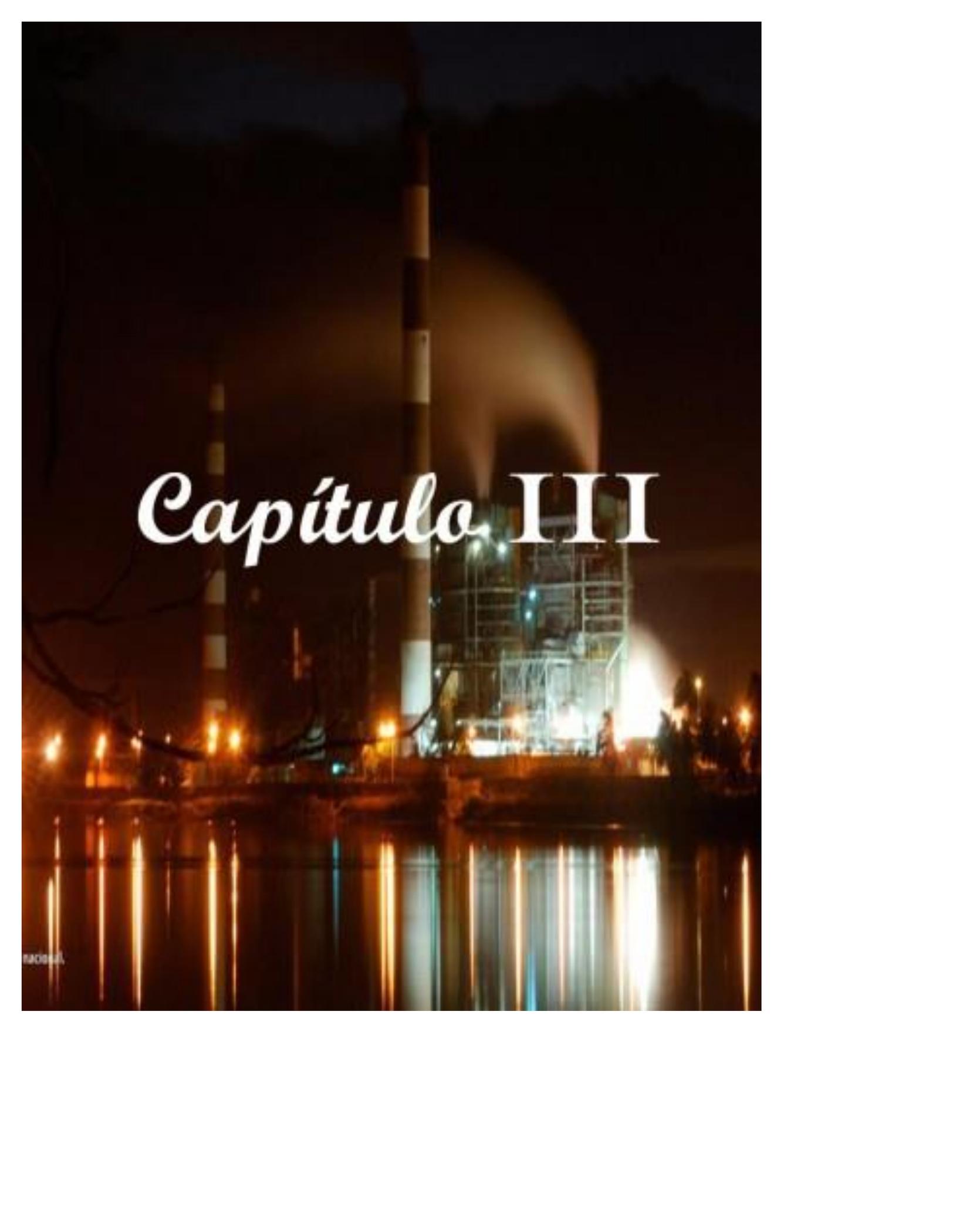
Conclusiones parciales del Capítulo II.

Ing. José M. Bermúdez García

1. Se hace una caracterización general de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, concluyendo que la misma cumple con su visión y misión, como empresa líder de la producción de energía eléctrica para el sistema

electroenergético nacional, además con un buen reconocimiento social por parte de trabajadores y comunidad aledaña.

2. Las herramientas de la economía ecológica descritas en el presente capítulo manejan cada una de las etapas de acuerdo al ciclo Deming de la mejora continua de los sistemas, declarando alcances y objetivos, realizando inventarios, evaluando y ofertando notables opciones mejoras de una manera estratificada.
3. Al proceso de generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos le resulta posible aplicarle un análisis desde la óptica de la economía ecológica a partir de las metodologías de análisis de ciclo de vida, huella ecológica y huella hídrica corporativa para valorar diferentes alternativas de mejoras ambientales.

A nighttime photograph of an industrial facility, possibly a power plant or refinery, with several tall smokestacks and a large building illuminated by lights. The scene is reflected in a body of water in the foreground. The text 'Capítulo III' is overlaid in a white, serif font.

Capítulo III

Capítulo III “Análisis de los resultados”.

En este Capítulo se realiza la evaluación del impacto ambiental en la producción de energía eléctrica en la Termoeléctrica Cienfuegos en el año 2010 de base, teniendo como sustento lo descrito en el Capítulo anterior y soportado en la norma cubana NC-ISO 14040: 1999, se interpretan los resultados obtenidos por los dos diferentes métodos de análisis aplicados con un carácter lineal (Análisis del Ciclo de Vida, la Huella Ecológica y la Huella Hídrica), se proponen mejoras a partir de un enfoque a Producciones Más Limpias según el efecto económico en paralelo a la mejora ambiental, con un margen de aplicación a mediano y corto alcance.

3.1 DEFINICION DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCE

Esta herramienta con base en la NC-ISO 14040: 1999 a pesar de no ser integra consta en si misma de cuatro fases lineales y vinculantes entre si, el desarrollo pleno de cada una de ellas es garantía de un resultado positivo.

3.1.1 Objetivos.

Objetivo General.

Analizar el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, durante el año 2010, aplicando el procedimiento de manera integrada entre las metodologías, para la identificación de mejoras que sean factibles desde el punto de vista ambiental, económico y técnico.

Objetivos Específicos.

- Elaborar un marco teórico sobre las metodologías para que sirvan como referencia y proporcione las bases conceptuales fundamentales para el desarrollo de la investigación.

- Realizar un análisis del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos para identificar las posibles alternativas de mejora.
- Evaluar las mejoras encontradas en el proceso a través de un cálculo técnico y medioambiental.

3.1.2 Alcance del estudio.

El alcance del estudio contempla los aspectos relacionados con las funciones del sistema estudiado y con el destino final del producto, en este caso, los consumidores nacionales ya sean estatales ó públicos de la energía eléctrica generada.

Unidad funcional

Como unidad funcional de nuestro sistema tenemos la producción de 1 MW.h de energía eléctrica.

Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica que en el caso de la producción de energía eléctrica tiene su basamento, en primer lugar, en la etapa de preparación de los siguientes sistemas:

- Proceso de tratamiento químico del agua cruda en agua tratada donde se utilizan productos químicos específicos, llevados todos a: 1 m³ de agua tratada o desmineralizada.
- Proceso de generación por cada una de las unidades generadoras con las diferentes entradas y salidas factorizados a 1 MW.h de generación eléctrica.

Definición de los límites del sistema.

Los límites del sistema están bien enmarcados “de la cuna a la tumba” ya que comienza con los productos iniciales para la producción de energía eléctrica,

combustible, agua y energía eléctrica insumida y termina con la producción de los megavatios puesto en las barras del SEN (Sistema Electroenergético Nacional) y

el análisis de los residuos derivados de esta producción. En los límites no se incluye la incorporación de los aditivos al combustible.

Límites geográficos

El procedimiento se limita a la generación de energía eléctrica en la empresa Termoeléctrica Cienfuegos ubicada en lóbulo noreste de la bahía de Jagua en la provincia de Cienfuegos.

Límites temporales

El tiempo de análisis de cada uno de los datos y variables a utilizar se enmarco para el año 2010.

3.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO.

3.2.1 Recolectar datos.

Para la recolección de los datos involucrados en la producción de energía eléctrica se deben describir los sistemas interrelacionados entre sí que hacen posible la generación estable y confiable de la electricidad, cada sistema forma parte del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica. En el **anexo F** se muestra el diagrama de flujo con las entradas y salidas de cada uno de los procesos del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

3.2.1.1 *Planta de Tratamiento Químico del Agua.*

Si bien es cierto que todas las centrales de generación de vapor requieren de un sistema de agua de enfriamiento (principalmente agua de mar), es necesario también un abasto y consumo de agua para poder generar vapor. Sin embargo esta agua debe de ser tratada para eliminar la dureza y obtener una calidad de la misma que no ocasione incrustaciones en las paredes de agua de la caldera.

La PTQA de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos es una planta con más de

30 años de explotación, y el tratamiento es mediante resinas aniónica y catiónicas principalmente.

El agua suministrada desde el acueducto es almacenada en un tanque de concreto el cual está dividido en dos secciones, A y B cada una con una capacidad de almacenaje de 4500 m³. En estos tanques el agua permanece el tiempo suficiente para que sedimenten parte de los sólidos en suspensión que trae la misma. En la operación normal un tanque esta en servicio y el otro en floculación, con la adición del sulfato de aluminio o alúmina [Al₂(SO₄)₃], una de las materias primas de este proceso.

Desde los tanques el agua es bombeada hacia la planta por dos bombas centrifugas de las cuales una está en servicio y la otra en reserva, hasta el filtro mecánico o de arena donde son eliminadas las impurezas mecánicas presentes en la misma.

Después del filtro mecánico el agua pasa a la unidad de intercambio iónico llamada Cation Débil la cual está compuesta por dos tanques cilíndricos de 2 m de diámetro cada uno, con un recubrimiento interior de goma, de ellos uno está en servicio y el otro en reserva. Estos equipos tienen en su interior resina sintética intercambiadora de iones de constitución carboxílica débilmente ácida.

Debido a la reacción que se produce luego pasa por una torre descarbonadora para eliminar el CO₂ que permanece disuelto en el agua mediante un proceso de transferencia de masa el mismo es absorbido por el aire, el agua por su parte es conducida hasta el tanque descarbonador con una capacidad de 75 m³.

El flujo máximo de producción de la planta es de 48 m³/h. el cual se regula mediante una válvula de retorno instalada en la descarga de las bombas de agua descarbonadas y en dependencia del consumo de las unidades.

Luego el agua pasa a los cationes fuertes de la primera etapa y que posee en su interior resina catiónica fuerte realizándose entonces las reacciones de intercambio con las sales neutras de ácidos fuertes (cloruros y sulfatos) y el resto de los bicarbonatos que no reaccionaron en el cation débil. La segunda etapa

catiónica fuerte está compuesta por dos unidades de intercambio pero son más pequeños tienen un diámetro de 1,2 m y su utilización es en dependencia de la calidad del agua que se esté recibiendo en la planta.

De la etapa catiónica el agua pasa a la etapa aniónica la cual consta de dos etapas, la etapa aniónica débil y la etapa aniónica fuerte. En estos equipos se encuentra la resina aniónica débilmente básica y se realiza el intercambio iónico entre esta y los ácidos que se encuentran en el agua que entra.

La resina aniónica débil solo es capaz de retener los cloruros y sulfatos por lo que se hace necesario tener la etapa aniónica fuerte donde son eliminados los compuestos de sílice y los remanentes de los cloruros. La etapa aniónica fuerte está compuesta por dos unidades de intercambio,

Como se puede observar después que el agua pasa por el anión fuerte queda totalmente purificada pues se han eliminado todas sus sales disueltas y sólidos en suspensión. Sin embargo como todo proceso industrial no se alcanza una eficiencia del 100% ya que se producen algunas fugas a lo largo del proceso de desmineralización se incluyó al final del proceso un último equipo denominado lecho mezclado que como su nombre lo indica es un rectificador con ambas resinas no disueltas.

El agua desmineralizada que sale de los lechos mezclados es almacenada en tres tanques de 100 m³ cada uno, y en un tanque de 1000 m³ destinado para la alimentación de las unidades CMC3 y CMC4, de las cual se sirve para sus consumos eléctricos.

Para la efectividad de la calidad del agua y por el agotamiento químico de las resinas el proceso realiza operaciones de regeneración de las propiedades de las resinas. Haciendo circular e interactuar agua con hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de entre 4-5% por las resinas aniónicas e igualmente agua con ácido sulfúrico (H₂SO₄) una concentración de entre 0.3-0.5% por las resinas catiónicas, siendo estas materias primas de las fundamentales para el sistema. También son las responsables de la generación de un gran volumen de aguas

ácidas y básicas, las cuales son neutralizadas y vertidas con un pH neutro al medio.

En la **Tabla 7** se muestra las entradas y salidas de las materias primas y residuales del proceso de tratamiento químico de agua para el año 2010.

Tabla 7. Cantidades totales y consumos de las entradas y salidas, así como los factores equivalentes a 1 m³ de agua tratada. **Fuente:** Elaboración propia.

PLANTA DE TRATAMIENTO QUIMICO DE AGUA				
ENTRADAS	UM	Cant.	UM	Factor
Agua Cruda Total	m ³ /año	303234,462	m ³ agua cruda/m ³ agua tratada	1,8903
Alúmina (Al ₂ (SO ₄) ₃)	kg/año	11988	kg/m ³ agua tratada	0,0747
Sosa Caustica (NaOH)	kg/año	192744	kg/m ³ agua tratada	1,2015
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	kg/año	178109	kg/m ³ agua tratada	1,1103
Consumo eléctrico	MWh/año	16357	MW.h/m ³ agua tratada	0,1020
Agua Tratada Total	m ³ /año	160415	m ³ /año	160415
SALIDAS	UM	Cant.	UM	Factor
Aguas básicas	m ³ /año	28493,242	m ³ aguas básicas/m ³ agua tratada	0,1776
Aguas ácidas	m ³ /año	26726,22	m ³ aguas ácidas/m ³ agua tratada	0,1666

3.2.1.2 **Generador de Vapor (Caldera).**

La caldera en un sistema de generación térmico es el corazón, ya que es donde se regulan cada uno de los parámetros de operación, especificaciones de calidad,

así como consumos de entrada y salida de materias primas, materiales y residuales.

Dentro de los subsistemas que interviene destacan aquellos en los que interviene un flujo de *input* y *output*.

Combustibles

La entidad con sus unidades de generación consumen dos tipos de combustibles uno de ellos, el Fuel oil Pesado BV para el régimen continuo de las unidades suministrados por oleoducto desde la refinería Camilo Cienfuegos hasta los tanques de almacenamiento de 1000 m³ cada uno (actualmente se encuentra dos en servicio y el otro en un mantenimiento general) y el otro es el diesel usado en menor cuantía ya que es solo para la pre combustión o las operaciones de arranque de la maquina mediante pailas hasta el tanque de almacenamiento. A continuación la **tabla 8** muestra los consumos de cada uno de estos recursos para el año base de la investigación.

Tabla 8. Consumo de combustible por unidad y factorización con relación a una unidad funcional. **Fuente:** Elaboración propia.

CONSUMO DE COMBUSTIBLES				
ENTRADAS	UM	Cantidad		
		CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Diesel	g	190130000	214440000	404570000
Fuel oil	toneladas.	205948,17	230079,33	436027,5
	UM	Factor		
Diesel	g/MW.h	226,7041864	222,9481472	224,6976964
Fuel oil	t/MW.h	0,245565204	0,239207985	0,242169154

En el **anexo G** se muestran las características de estos dos tipos de combustibles,

estas características de conjunto con otro tipo de elementos tecnológicos propios de las unidades, así como parámetros, comportamientos y consumos de operación permitieron calcular las emisiones gaseosas a partir del software Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Este sistema informático fue desarrollado por especialistas de la empresa CUBAENERGIA perteneciente al CITMA para el uso exclusivo de nuestra central térmica (**Ver anexo H**), el mismo con datos de entrada real permite estimar un total de emisiones gaseosas por unidad generadora y por emisor de fuente fija (descarga total a chimenea).

La combustión de estos hidrocarburos son factores para la emisión de residuales de tipo gaseoso, la **tabla 9** muestra una relación de gases de escala local, regional y global expedidos en dicho proceso.

Tabla 9. Factores de emisión (ton/MW.h generado) de varios tipos de contaminantes gaseosos. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SEIA.

Factores de emisión				
Emisiones Gaseosas	UM	CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Dióxido de Carbono (CO ₂)	t/MW.h	0,83447	0,81271	0,82285
Monóxido de Carbono (CO)	t/MW.h	0,00017	0,00016	0,00016
Metano (CH ₄)	t/MW.h	0,00001	0,00001	0,00001
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	t/MW.h	0,00156	0,00129	0,00142
PM ₁₀ (Ref.5% O ₂)	t/MW.h	0,00053	0,00051	0,00052
Dióxido de Azufre (SO ₂)	t/MW.h	0,00110	0,00108	0,00109
Óxido Nitroso (N ₂ O)	t/MW.h	0,00000	0,00000	0,00000

Productos químicos.

En el caso de que ocurran desviaciones en los parámetros químicos en el ciclo agua-vapor se deben inyectar sustancias químicas a las calderas para que este

régimen sea restablecido de inmediato y así eliminar daños que podrían afectar permanentemente el funcionamiento de estas. Para lograr las normas de los parámetros químicos en caldera se dosifican productos químicos que tienen diferentes funciones como se muestra en la **tabla 10**.

Tabla 10. Productos químicos que representan entradas físicas su objetivo de aplicación. **Fuente:** Elaboración Propia.

PRODUCTO	OBJETIVO DE SU APLICACION
Fosfato de sodio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reaccionar con la dureza que haya entrado en el agua de alimentar, para precipitarla y poder eliminarla a través de las extracciones. ➤ Aumento de la alcalinidad al agua de caldera.
Hidracina	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Captador de oxígeno disuelto en el agua. ➤ Inhibidor de la corrosión. ➤ Como agente alcalinizador.
Sulfato Ferroso	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación de los tubos de Cupro-Nickel del condensador. ➤ Eliminación de escaramujos que pueden tupir los tubos del condensador.

Para la preparación y dosificación de los productos químicos existen esquemas de dosificación integrados por tanques de preparación y bombas dosificadoras, los cuales son dominados por los operadores. La **tabla 11** muestra las entradas equivalentes de cada uno de estos productos a cada uno de los sistemas de generación.

Tabla 11. Consumos de productos químicos, así como los factores equivalentes a 1 MW.h de generación eléctrica por unidades. **Fuente:** Elaboración propia.

CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS								
ENTRADAS	UM	Cantidad			UM	Factor		
		CMC3	CMC4	ETE Cfgos		CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Fosfato Trisódico (Na ₃ PO ₄)	g/año	196230	225348	421578	g/MW.h	0,2340	0,2343	0,2341
Hidracina al 4% (H ₄ N ₂)		302715	347634	650349		0,3609	0,3614	0,3612
Sulfato Ferroso (FeSO ₄)		25x10 ⁵	25x10 ⁵	25x10 ⁵		2,9809	2,5992	1,3885

Residuales líquidos y sólidos.

La producción eléctrica en sistemas térmicos posee una serie de operaciones que generan residuales. A continuación se describen de manera general aquellas actividades que tienen este tipo de salidas y las características de los mismos.

Aguas oleosas y albañales.

Los sistemas de lubricación de los diferentes equipos y de la turbina de vapor a menudo presentan fugas de aceite las cuales pueden contaminar el manto y las aguas de la bahía si no se detectan y se eliminan a tiempo, para el control de este tipo de fugas el departamento de operaciones y el taller químico tienen dentro de sus responsabilidades velar y eliminar con la mayor premura cualquier tipo de escape de este tipo. Otra fuente de generación de este tipo de residuales son los drenajes de los tanques y los condensados de los precalentadores de los tanques de petróleo, la planta cuenta, a su vez, con un sistema de tuberías de recolección por donde se mueven las aguas albañales las cuales son controladas y pasivadas en una fosa séptica, el monitoreo y la corrección ante desviaciones por medio de

la limpieza de la misma por carro fosa es responsabilidad del área química y del grupo de Medio Ambiente.

Aguas residuales de la operación de lavado de los CAR.

Esta operación se realiza para disminuir el diferencial de presión creado por la deposición en los cestos de material particulado y hollín producto de la combustión, en estos cestos se deposita gran parte de este material, para su limpieza en operación se usan 250 m³/2.5h de agua cruda a temperatura ambiente por lavado. El residual proveniente de cada lavado está compuesto por un sin número de sustancias las que pueden observar en el **anexo I**. Estas sustancias son altamente contaminantes de los suelos y del agua de mar de la bahía, por su elevada carga de metales pesados y su carácter ácido.

Escorias de caldera y desechos refractarios.

Dentro de de este apartado podemos añadir el comentario que las escorias de caldera están declaradas como desechos peligrosos según el ANEXO I del Convenio de Basilea (Categoría Y18). Este residuo es producto de la solidificación de los elementos pesados no combustionados y llegan a formar incrustaciones muy solidas en áreas de la caldera principalmente en el horno, posee gran variedad de metales pesados, en la entidad este desecho se encuentra confinado en un área aprobada por las entidades reguladoras del CITMA. Los materiales refractarios constituidos fundamentalmente por ladrillos son elementos retirados por sustitución en los puntos rojos de la caldera identificados para evitar las perdidas energéticas que ello representa. La **tabla 12** las cantidades generadas y los factores equivalentes para una unidad de producto.

Tabla 12. Cantidades de residuales sólidos generados y factorizados a una unidad de producto. **Fuente:** Elaboración propia.

RESIDUALES SOLIDOS								
INPUT	U M	Cantidad			U M	Factor		
		CM C3	CMC 4	ETE Cfgos		CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Material refractario retirado	ton.	200	150	350	ton/MW.h	0,0002385	0,000156	0,00019439
Escoria de Caldera		20	20	40		2,385E-05	2,079E-05	2,2216E-05

3.2.1.3 Turbina y Generador eléctrico.

El sistema de turbina y generador no posee grandes entradas de materiales son dos equipos que son alimentados linealmente por vapor en caso del primero y del trabajo mecánico del segundo. Las principales entradas se muestran el **tabla 13** estas son las concernientes al sistema de lubricación y aceite en el caso de la turbina para un mejor trabajo de esta y en el del generador para el enfriamiento y sellaje por presión del hidrogeno, el cual constituye elemento indispensable para el funcionamiento del equipo, el cual mantiene cilindros en operación y en reserva para la reposición por perdidas. El control de la concentración de hidrogeno y aire dentro del generador es uno de los parámetros mas seguidos en la operación ya que una mezcla inadecuada de estos elementos conllevaría a resultados fatales.

Tabla 13. Cantidades de hidrógeno y aceite así como las respectivas factorizaciones a una unidad de producto. **Fuente:** Elaboración propia.

ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS CONSUMOS DE HIDROGENO Y ACEITES							
ENTRADA S	UM	Cantidad			UM	Factor	
		CMC3	CMC4	CMC3		CMC4	

				ETE				ETE
--	--	--	--	------------	--	--	--	------------

Hidrógeno	g	112464	89971,2	202435,2	g/MW.h	0,1341	0,0935	0,1124
Aceite	litros	6685,11	7666,89	14352,00	l/MW.h	0,0080	0,0080	0,0080
SALIDAS	UM	Cantidad			UM	Factor		
Aceite recuperado	litros	12336,15	14147,85	26484	l/MW.h	0,0147	0,0147	0,0147

Nota: La cantidad de aceite recuperado mayor que el entrado al sistema se debe a una reposición por sustitución en Enero/2010 de un volumen ingresado en el año anterior.

Para el caso del insumo eléctrico de la planta es una entrada fija en cada uno de los procesos del mismo se analizaron los consumos acumulados de ambas unidades (**Ver anexo J**), arrojando las bombas de agua de alimentar, los ventiladores de tiro forzado y las bombas de circulación como los equipos que responden al consumo de aproximado del 80% del insumo total.

El insumo eléctrico o demanda eléctrica interna del proceso es de los aspectos de mayor notoriedad en los diagramas de red representados en los **anexos K y L**.

3.2.2 Descripción de procesos.

Con la información vista anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de producción de la energía eléctrica y emisión de contaminantes principales de esta industria, en el **anexo M** se muestran las materias primas esenciales para la producción de la electricidad de manera general, el uso de los combustibles y del agua, siendo esta última la sustancia del proceso, por lo que debe poseer condiciones especiales para su transformación, se observa además el uso de la energía empleada en forma de electricidad y calor que se consume para generar electricidad y son mostrados además los contaminantes esenciales que produce esta transformación energética, todas

estas entradas y salidas complementan el análisis del ciclo de vida (ACV) que se analiza y estudia.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en cada proceso estudiado sirve de base para crear el diagrama de proceso mostrado en el **anexo F**, la representación gráfica de los sistemas estudiados, sistema que fueron la base de los datos obtenidos para el análisis del ciclo de vida de la electricidad, ayuda a comprender, enmarcar, delimitar e interrelacionar cada proceso dándonos una visión más clara y una mayor organización a la hora de enfrentar el análisis.

Otro tipo de caracterización del proceso es desde el punto de vista económico mostrado en la **figura 12**, el cual representa cada uno de los gastos de la entidad por las diferentes cuentas contables para el año 2010. Esta es una de las maneras de enfocar mejoras al proceso, además de que la misma permite una mayor panorámica a la hora de proponer opciones no viables económicamente.

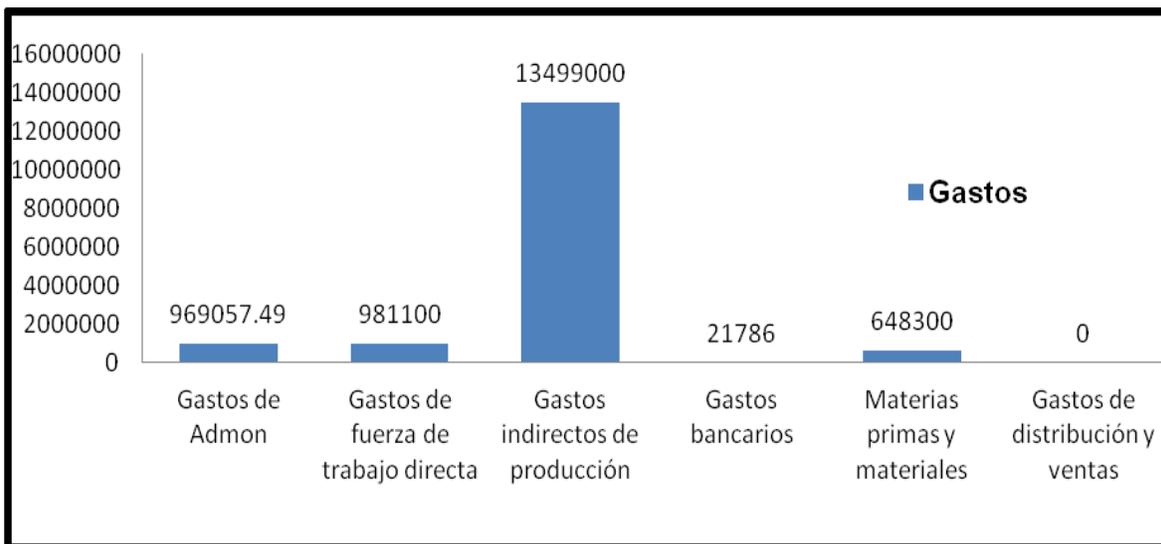


Figura 12. Gastos adjuntos al proceso. **Fuente:** Elaboración propia a partir de registros económicos de la Dirección de Administración Financiera.

Se destacan tres aspectos fundamentales de salida del gráfico el primero es referido al valor nulo de los gastos de distribución y venta ya que no es objeto de

Ing. José M. Bermúdez García

la empresa este aspecto, el segundo es el hecho de que los combustibles tecnológicos no figuran dentro de los gastos de materias primas y materiales,

aspecto esto que se muestra en la **figura 13** el cual refleja el costo de cada una de las entradas equivalentes a un MW.h generado en el período de la investigación. El último aspecto esta dado por el hecho de que los gastos indirectos de producción son los mayores, esto último determinado por los gastos de mantenimiento de las unidades generadoras en más de un 80% de la cifra, lo que permite dilucidar que las mejoras deben preferiblemente estar enfocadas a reducir los gastos de los mantenimientos para tener la componente económica en el vector positivo.



Figura 13. Costo de cada una de las entradas relativas a la producción de un MW.h.

Fuente: Elaboracion propia a partir de bases de datos contables de la direccion de Administracion Financiera.

Resulta casi excluyente por parte del por ciento que representa el costo del fuel oil por encima de las demás variables de entrada, aspecto este que influye en la decisión del despacho electroenergético nacional en mantener a ambas unidades de la entidad en cargas bajas y llevando frecuencia.

3.2.3 Procesamiento de la información y los datos obtenidos.

Con todos los datos obtenidos de los diferentes sistemas de análisis y para dar cumplimiento a los objetivos propuestos son incluidos estos en la herramienta de procesamiento de la información SimaPro 7.1, del análisis de los mismos podrán ser obtenidas las posibles mejoras a aplicar en el ciclo de vida de los procesos de tratamiento químico de agua (PTQA), así como de la generación de electricidad en las unidades CMC3 y CMC4 y de manera global en el proceso ETE Cfgos.

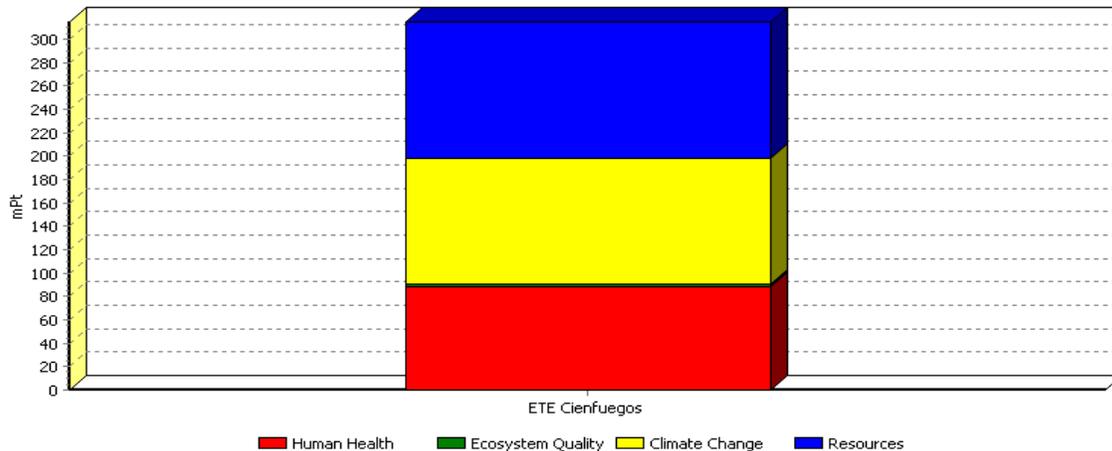
Para el caso de la huella ecológica corporativa e hídrica se procesaron de acuerdo a la metodología descrita para las mismas en el capítulo anterior.

3.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO.

3.3.1 Mediante el análisis del ciclo de vida.

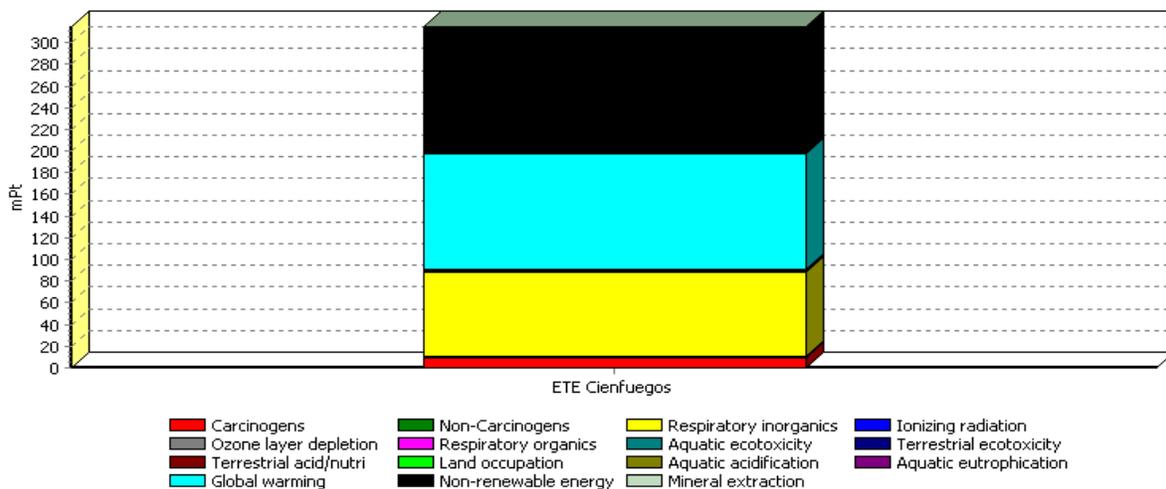
Para la evaluación del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica se realiza un análisis comparativo entre las principales bases de datos que se encuentran en el SimaPro 7.1: Impact 2002+ y el Ecoindicador 99, de esta información se obtienen las categorías más afectadas.

Los métodos europeos de análisis Ecoindicador 99 e Impact 2002+ desarrollados por Instituto Suizo Federal de Tecnología y equipos de expertos de Holanda, Suiza y Alemania, respectivamente, están basados en condiciones particulares de explotación de los recursos, emisión de contaminantes y daños a la salud humana específicos de ese continente, las bases de datos evalúan estas condiciones y dan un resultado que puede ser utilizado para tener una cierta aproximación en los cálculos de los ciclos de vida de procesos (productos) en nuestras condiciones geográficas, un ejemplo de ello puede ser observado en las **figuras 14 y 15**, evaluando el proceso ETE Cfgos por el método IMPACT 2002+. En el **anexo N** se puede evaluar la similitud para cada uno de los procesos modelados por el Ecoindicador 99 (E), observándose la similitud en la ponderación de los impactos.



Analizando 1 MWh (ETE Cienfuegos); Método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ / puntuación única

Figura 14. Evaluación por categorías de daños para una unidad funcional. Método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.



Analizando 1 MWh (ETE Cienfuegos); Método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ / puntuación única

Figura 15. Evaluación del Impacto ambiental acumulativo para una unidad funcional. Método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.

En la misma se muestran los resultados que se logran al aplicar las metodologías a los datos obtenidos en el año 2010 para un MW.h de la Central Termoeléctrica de Cienfuegos, el cual lleva como subproceso el tratamiento químico de agua con un litro como unidad funcional, es importante señalar que aunque estos métodos fueron desarrollados en los años 1999 y 2002 respectivamente, como su nombre

lo indica, y como se dijo con anterioridad están elaborados para las condiciones europeas muestra un resultado totalmente lógico, se puede observar que el consumo de combustible no renovable, el calentamiento global y la respiración de inorgánicos por los seres humanos principalmente producido por las emisiones en chimenea y el calentamiento global por los volúmenes de gases de efecto invernadero que son producidos en la quema de combustibles fósiles son los impactos preponderantes que ambos métodos dan a relucir de forma clara.

A continuación se plotearon cada uno de las categorías de impacto para una unidad funcional por el método IMPACT 2002+ del proceso ETE Cfgos según se muestra en la **anexo Ñ**. Estos valores llevados a por ciento acumulado arrojaron un gráfico de Pareto mostrado en la **figura 16**.

Se escogió la salida de la metodología IMPACT 2002+ como referencia para el Pareto por su amplia variedad de impactos (4 más) que el método Eco-indicador 99 (E), aunque sería conveniente destacar la similitud del resultado por la ponderación de los impactos para ambos métodos.

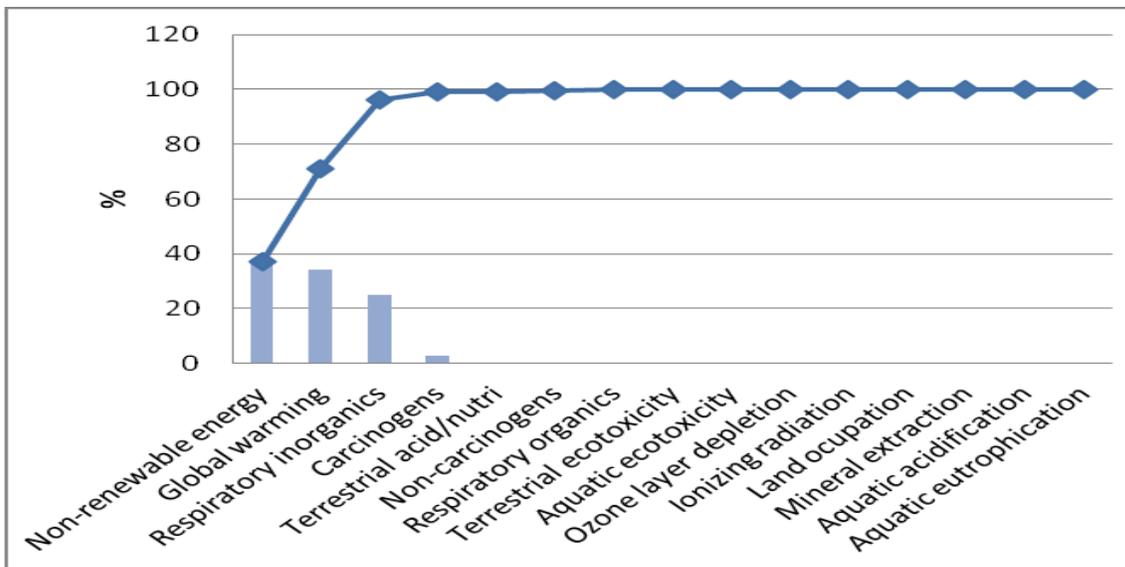
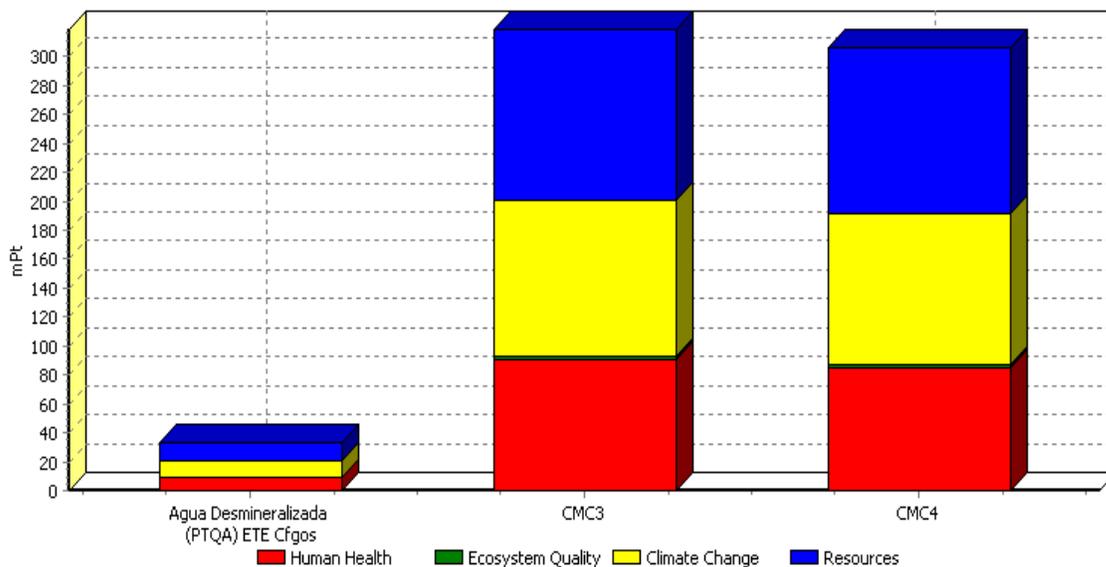


Figura 16. Gráfico de Pareto para las categorías de impacto del proceso ETE Cfgos. **Fuente:** Elaboración Propia.

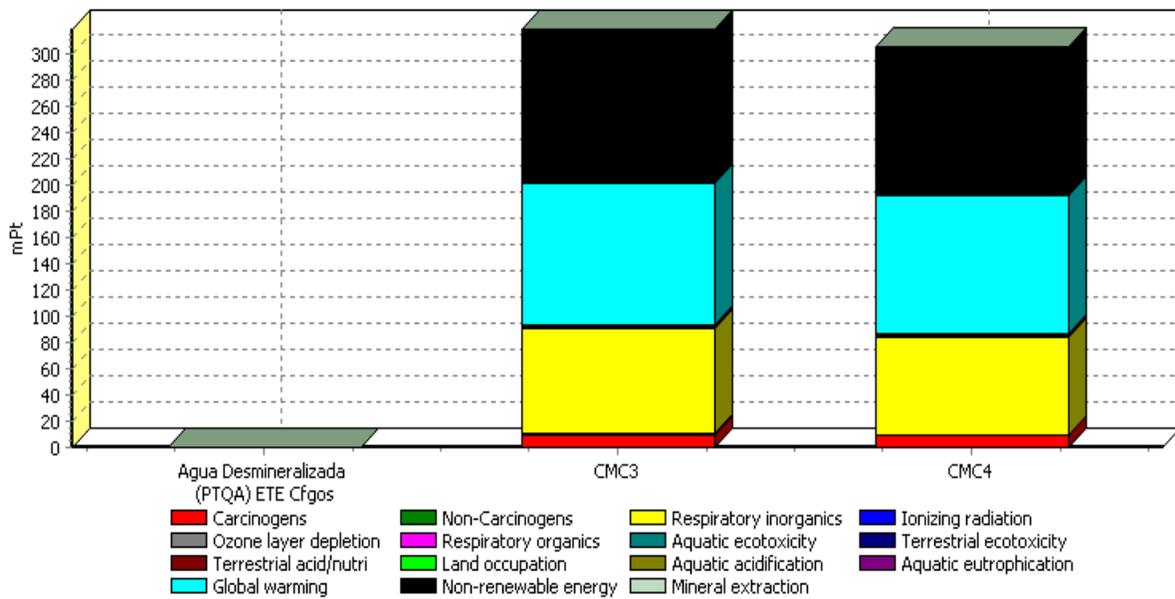
Como se expusiera con anterioridad el uso del combustible fósil ponderado como recurso energético agotable, de conjunto con los procesos de combustión en los que interviene e impacta al medio mediante los residuales gaseosos (Respiratory inorganics), centran las potencialidades para las acciones de mejoras.

El diagrama de red (véase anexo O) nos lleva a visualizar con mayor claridad aquellos subprocesos u operaciones donde sería ventajoso una profundización exploratoria enmarcada en mejoras de reducción en la fuente. Se destaca muestran a continuación las categorías de impacto por cada uno de los procesos individuales la PTQA, CMC3 y CMC4 para la unidad funcional declarada en cada caso, según el método de análisis IMPACT 2002+. **Ver figura 17 y 18.**



Comparando 1 m3 (Agua Desmineralizada (PTQA) ETE Cfgos), 1 MWh (CMC3) y 1 MWh (CMC4); Método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ / puntu

Figura 17. Evaluación por las categorías de daño de cada uno de los procesos para una unidad funcional. IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.



Comparando 1 l (Agua Desmineralizada (PTQA) ETE Cfgos), 1 MWh (CMC3) y 1 MWh (CMC4); Método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ / puntuar

Figura 18. Evaluación por categoría de impacto ambiental de cada uno de los procesos para una unidad funcional. Método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.

Ambos modelos reflejan un deterioro de los resultados, resaltando las magnitudes superiores que arrojaron la unidad CMC3, resultado este lógico si se tiene en cuenta que la unidad CMC4 esta recién modernizada.

Estratificando el impacto más significativo condujo la investigación a la los consumos y sobreconsumos del combustible por cada una de las variables de diferenciales de temperatura y presión así como por reposiciones y consumos eléctricos. A continuación en la **figura 19** se muestran los principales sobreconsumos en toneladas equivalentes de cada una de las dos unidades generadoras.

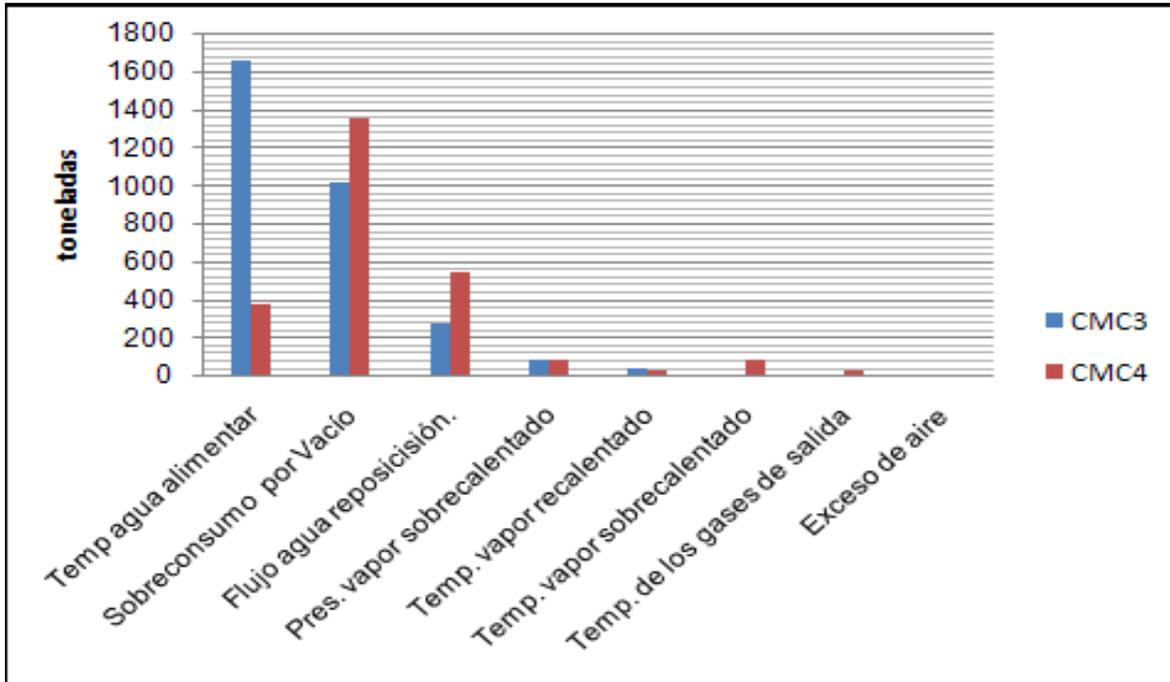


Figura 19. Sobreconsumos de combustibles acumulados por unidades generadoras al cierre del 2010. **Fuente:** Elaboracion Propia a partir de la base de datos del grupo de Régimen de la UEB de Produccion.

Tal y como se puede apreciar en cada uno de los análisis los consumos de combustible y procesos agregados son los de mayor impacto es por ello que las posibles mejoras deberán estar enfocadas a la disminución en la fuente, accionar sobre los sobreconsumos de combustible y los insumos eléctricos, principalmente en la unidad CMC3, siendo esta la más vulnerable a la mejora.

3.3.2 Mediante la Huella Ecológica Corporativa.

El alcance del estudio, la unidad funcional, los límites geográficos y temporales, así como las entradas de cada uno de las materias primas y materiales que se analizaron y aquellas que fueron excluidas en el análisis del ciclo de vida serán las bases para el cálculo de cada una de las sub-huellas ecológicas que sean significativas para el proceso.

La huella ecológica total representativa de un MW.h tal como se enuncio en el capitulo anterior responde a la sumatoria de cada una de las sub-huellas bases.

3.3.2.1 **Cálculo de la sub-huella ENERGÍA.**

En la **tabla 14** se exponen cada una de las entradas de tipo energético que intervienen en el proceso de generación de energía de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Tabla 14. Sub-huella ENERGÉTICA. **Fuente:** Elaboración propia.

Variabes de estudio	Cantidad (ton/MW.h)	Kcal. liberadas	Cantidad Gj	SH _{ENERGIA}
Consumo eléctrico.	0,060575561	587529,6352	2,45986908	0,034646043
Diesel.	0,000259088	2630,727734	0,01101433	0,000155131
Fuel oil.	0,248232554	2407637,329	10,080296	0,141976

Tal como se puede apreciar la mayor cantidad y porciento equivalente es aportada por los volúmenes de consumo de fuel oil por unidad de producto (combustible base de generación), así como por el insumo tecnológico el cual repercute de manera importante.

3.3.2.2 **Cálculo de la sub-huella INSUMOS.**

La sub-huella de los insumos representada en la **tabla 15** es quien determina el equivalente de hectáreas que se requieren para aquellas entradas no energéticas, es decir aquellas variables materiales de consumo necesarias para el proceso.

Tabla 15. Sub-huella INSUMOS. **Fuente:** Elaboración propia.

Variables de estudio	Cantidad (ton/MW.h)	I.E. (Gj/ton)	Gj	SH _{INSUMOS}
Aceites y lubricantes.	7,97108E-06	43,75	0,00034873	4,9118E-06
Hidrógeno.	1,12432E-07	35	3,9351E-06	5,5424E-08
Fosfato Trisódico (Na ₃ PO ₄)	2,34144E-07	35	8,195E-06	1,1542E-07
Hidracina al 4%(H ₄ N ₂)	3,61203E-07	35	1,2642E-05	1,7806E-07
Sulfato Ferroso (FeSO ₄)	1,3885E-06	35	4,8597E-05	6,8447E-07
Material refractario.	9,77502E-05	5	0,00048875	6,8838E-06

De acuerdo a cada uno de los respectivos consumos y los índices de la intensidad energética por cada uno de las variables de entrada destacan los 53.66% y 38.29% equivalentes respectivamente del volumen de material refractario y de aceites y lubricantes.

3.3.2.3 Cálculo de la sub-huella TIERRA.

La sub-huella tierra ofrece tal y como lo indica su nombre la extensión de este recurso natural del cual se sirve el producto salida del proceso de generación en este caso. La **tabla 16** ofrece la huella por el uso del área total que requiere la infraestructura tecnológica, las de apoyo y las demás que se encuentran en el perímetro de la instalación.

Tabla 16. Sub-huella INSUMOS. **Fuente:** Elaboración propia.

Variable de estudio	Tierra total (ha)	Tierra total por MW.h (ha/MW.h)	SH _{TIERRA}
Área Total	20,24	1,12413E-05	0,0000112

3.3.2.4 Cálculo de la sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA.

La sub-huella de la superficie construida tal y como se muestra en la **tabla 17** es el área construida dentro del área total de la instalación.

Tabla 17. Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA. **Fuente:** Elaboración propia.

Variable de estudio	Superficie total construida (ha)	Superficie construida por MW.h (ha/MW.h)	SH _{SUPCONST}
Área Total	17,48	9,70837E-06	0,00000971

3.3.2.5 Cálculo de la sub-huella AGUA DE MAR.

La **tabla 18** ofrece la cantidad de hectáreas necesarias de la bahía por MW.h generado, teniéndose en cuenta la profundidad media de la bahía de Jagua que es de donde se alimenta el sistema de enfriamiento de la industria en cuestión.

Tabla 18. Sub-huella AGUA DE MAR. **Fuente:** Elaboración propia.

Variabes de estudio	Cantidad de agua de mar (m ³)	Agua de mar por MW.h (m ³ /MW.h)	SH _{AGUADMAR}
Agua de mar	410405016	227,9384574	0.00253265

Ing. José M. Bermúdez García

Esta sub-huella se determino calcularla por los volúmenes y la importancia que presenta esta variable, la misma da un enfoque de la necesidad de la variable para el propio proceso aunque posee un componente de distorsión del resultado

ya que ese recurso es tomado del medio y devuelto al mismo sin mayores impactos.

3.3.2.6 Cálculo de la HUELLA ECOLÓGICA TOTAL.

Resulta indispensable y concluyente el cálculo de la huella total, ya que la misma es un indicador de sustentabilidad del proceso. La **tabla 19** manifiesta cada una de las sub-huellas y el por ciento equivalente de las mismas sobre la huella ecológica total del proceso de generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Tabla 19. HUELLA ECOLÓGICA TOTAL. **Fuente:** Elaboración propia.

Sub-huella	Calculada (ha/MW.h)	Huella Total (ha/MW.h)	% equivalente
ENERGIA	0,17677717	0.17934356	98,56901
INSUMOS	0.00001282		0,00715328
TIERRA	0.0000112		0,006245
SUPERFICIE CONSTRUIDA	0.00000971		0,00541419
AGUA DE MAR	0,00253265		1,41217755

Del análisis de la tabla se puede observar que, de la sub-huella energía y de manera estratificada el uso de combustible (fuel oil) es el de mayor impacto sobre la huella total (98.57%).

3.3.3 Mediante la Huella Hídrica.

La huella hídrica o ciclo virtual del agua en el proceso de generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos mostrado en la **figura 20**

solamente comprende las extracciones de aguas industriales y domesticas las cuales únicamente contribuyen a las aguas grises (residuales) y las azules aquellas que son de uso industrial que no se contaminan pero no regresan a las capacidades hídricas.

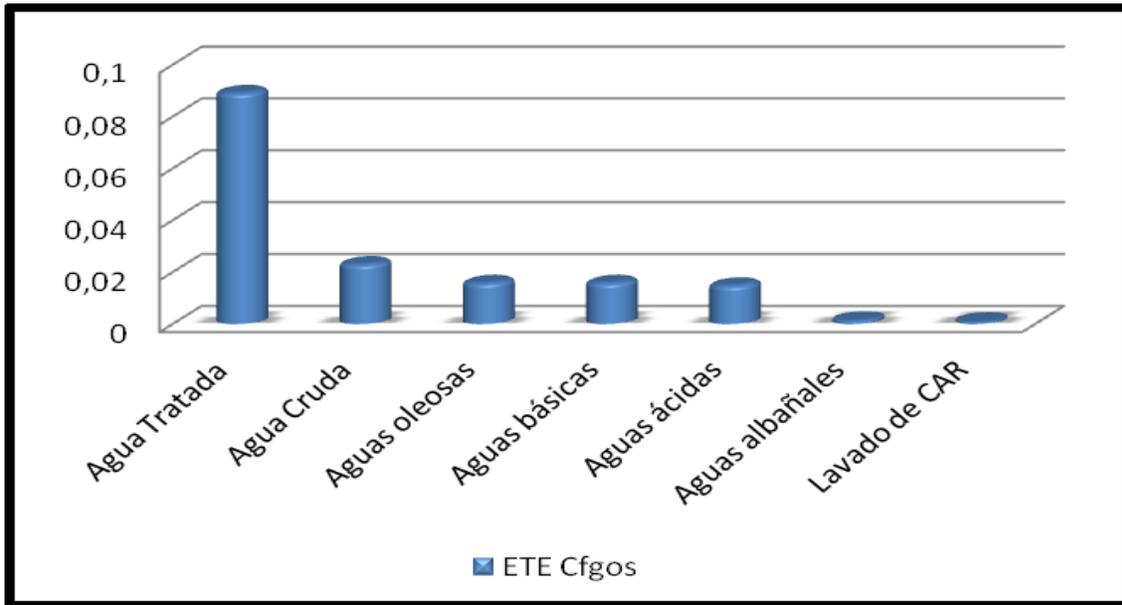


Tabla 20. Tipos de aguas que comprenden la huella hídrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos (factor equivalente a m³/MW.h). **Fuente:** Elaboración propia.

Una vez evaluado el impacto de cada uno de estos indicadores del proceso se procede continuar con la fase correspondiente al análisis de las mejoras propuestas.

3.4 ANÁLISIS DE MEJORAS.

Dentro de las mejoras que pueden ser ejecutadas en la Unidad CMC3 como la unidad de mayores consumos e impactos ambientales se encuentran las relacionadas con el cambio de los equipos y sistemas del generador de vapor y la modernización de agregados principalmente los que están relacionados con los procesos de combustión de petróleo, dentro de las mejoras propuestas se encuentran:

1. Modernización de la unidad y cambio de combustible base de fuel oil pesado BV a GNL. El cambio de combustible clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Selección de nuevas materias primas y materiales.
 - Ausencia de almacenamiento del combustible en el exterior o interior de la sala de calderas. Las operaciones de precombustión, tan complicadas en el caso de petróleo y carbón, se limitan a la estación de recepción y el circuito de distribución interna por tuberías, en el caso del gas natural.
 - No hay formación de cenizas de ninguna forma: sólidas, líquidas, fundidas (escorias) o volantes. Todos los dispositivos de recuperación (tolvas, ceniceros, registros, etc.) y de evacuación pueden suprimirse, especialmente los separadores de polvo, tan importantes y tan numerosos en las grandes centrales modernas de carbón pulverizado.
 - No hay deposición ni formación de depósitos adherentes en el hogar y/o incrustaciones en las superficies de intercambio de calor de las zonas convectivas del generador de vapor, mejorando la transmisión de calor de las partes metálicas y no aumentando la resistencia del circuito de gases.
 - La facilidad de dosificación y medición del gas natural permite regular y mantener en forma sencilla y efectiva la relación aire – combustible, en niveles muy convenientes para asegurar combustión completa y alto rendimiento térmico. Siendo la proporción de azufre prácticamente nula, no tienen que existir corrosiones en la parte final de la caldera, especialmente en los economizadores o recuperadores de aire, los ventiladores de tiro forzado y los conductos de unión.
 - La temperatura de los humos puede disminuirse sin temor, permitiendo la recuperación de calor para precalentamiento del agua (economizadores) y del aire (recuperadores) en generadores de vapor muy grandes, compensando la disminución de la calidad del aire como

comburente.

- La combustión del gas permite reducir la contaminación de atmosférica, disminuyendo las emisiones de CO₂ respecto a otros combustibles con relación carbono/hidrógeno más elevada. (Castillón Torres, Percy, 2010)
 - Las operaciones de lavado de los calentadores de aire serian nulas, permitiendo un ahorro importante de agua por este concepto e igual cantidad a tratar, así como la disminución de un 100% de la carga contaminante de tipo inorgánica emitida al medio por esta unidad.
 - Reducción de los ciclos y períodos de mantenimiento preventivos y por averías lo que conlleva a manejar menor cantidad de desechos generados propios de estas operaciones.
2. Sustitución de las compuertas de regulación de los Ventiladores de Tiro Forzado, estos ventiladores suministran el aire para la combustión. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Nuevas tecnologías.
- El cambio de las compuertas de regulación de los Ventiladores de Tiro Forzado permite una mejora en las curvas de comportamiento de los mismos a diferentes cargas y por lo tanto una disminución del consumo de energía eléctrica (Insumo) de estos de 218 kW.h a máxima carga y un margen de reserva de aire del 11%.
3. Sustitución de ambos CAR, los calentadores de aire regenerativos calientan el aire que va a los quemadores a temperaturas cercanas a los 306 °C mejorando el proceso de combustión. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Nuevas tecnologías.
- La sustitución de los calentadores permitiría en un primer momento interconectar los residuales de los lavados de los CAR al sistema de tratamiento ya funcionando para la unidad CMC4, permitiendo una reducción de la carga contaminante en mas de un 90% por concepto de

efectividad en la remoción de elementos contaminantes generados por el mismo.

- Reducción de los consumos de agua por concepto de frecuencia de lavado (250 m³/lavado de CAR), en el año de referencia la unidad CMC3 necesito de 5 lavados mas que la unidad CMC4 para alcanzar parámetros de operación en su sistema de aire gases, lo que se traduce en aproximadamente 1500 m³ de agua cruda consumida e igual cifra a tratar con medios alcalinos.
- 4. Cambio del sistema completo de quemadores por quemadores de bajo NO_x HT-PS ó HT-SJ, estos quemadores pueden ser utilizados para la quema de crudo con una viscosidad de 1400 cSt. y gas natural, respectivamente. Esta mejora tecnológica como su nombre lo indica reduce las emisiones de NO_x por concepto de mayor aire para la llama de los quemadores, permitiendo una mejor combustión y por tanto una mayor eficiencia de cada uno de los quemadores y de la caldera en general. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Nuevas tecnologías.
- 5. Conexión a la planta de tratamiento para los residuales del lavado de los CAR de la unidad CMC3 y reaprovechamiento del exceso de aguas básicas con una concentración de NaOH para la neutralización, floculación y sedimentación de estos residuales líquidos con alto grado de acidez. El **anexo P** muestra de manera gráfica la mejora propuesta asimilándose un volumen de aguas ácidas lo que permite un considerable ahorro del elemento para neutralización (NaOH sólida) e igual volumen de agua para su disolución. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 2/ Reciclaje interno.

Dentro de las mejoras que se proponen con dualidad a ambas unidades y con un enfoque claro en la metodología de Producciones Más Limpias están las a continuación propuesta:

6. Sustitución de los calentadores No.5 en ambas unidades que actualmente están sobreconsumiendo un total de más de 2000 toneladas equivalentes de combustible por concepto de las bajas temperaturas del agua de alimentar. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Nuevas tecnologías.
7. Aprovechamiento calórico de todo el volumen generado de aceite por ambas unidades de generación, tanto en mantenimientos como los de trasiego diario por conceptos de reposición o contaminación. Esta mejora clasifica como una acción de Producción Más Limpias de Nivel 2/ Reciclaje interno.
 - Las características calóricas de este material con una mezcla de entre el 5-10% de aceite dosificado para 1 tonelada de combustible, permitiría aprovechar de manera segura estos volúmenes de desecho peligroso, además de representar un ahorro de combustible y económicamente de los pagos a la Empresa Comercializadora de Combustibles Cienfuegos por el servicio de recogida de aceites.
 - Tecnológicamente los parámetros técnicos de nuestras calderas son capaces de asimilar estos volúmenes sin consecuencia de emisión de dioxinas y furanos ya que con estos volúmenes de mezcla aceite/combustible, las altas temperaturas alcanzadas dentro del horno > 1000 °C y el tiempo de residencia de los gases a estas temperaturas de > 3.5 segundos. El **anexo Q** refleja una descripción del sistema de inyección a la estación de aditivos del aceite a quemar.
8. Reparación de las Bombas de Agua de Alimentar, siendo estas (seis en total) los equipos que más consumen energía eléctrica en todo el proceso de producción de electricidad, es la mejora de mayor peso que interviene en la disminución del insumo eléctrico, esta disminución en los consumos

Ing. José M. Bermúdez García

es del orden 400 kW.h por bomba a máxima carga, (Dos bombas en operación y una en reserva /por unidad). Esta mejora clasifica como una

acción de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Nuevas tecnologías.

9. Otra de las mejoras involucradas que pudiesen apalear los sobreconsumos de combustible son las relacionadas con las pérdidas por vacío en ambas unidades. Es de destacar que acá solamente se podría accionar sobre las causas de tipo tecnológicas del bloque, ya que existen causas de tipo natural como el de la temperatura de agua de mar que reduce la eficiencia térmica del condensador y el ensuciamiento por escaramujos y mejillones limitando el flujo de agua por los tubos del condensador. Técnicamente para minimizar sería necesario acciones de Producción Más Limpias de Nivel 1/ Reducción en la fuente/ Modificación del proceso/ Buenas Prácticas:
 - Respetar los ciclos o períodos de operación y mantenimiento de los sistemas de lavado por bolas del condensador (taprogge), el cual permite reducir considerablemente las obstrucciones por ensuciamiento en los tubos, asumiéndose un aumento del caudal de agua de enfriamiento.

Otro tipo de mejoras resultan las que tienen acción sobre la conciencia del hombre y la disciplina operacional y tecnológica.

10. Capacitar al personal en temas de ahorro de agua y energía eléctrica, manejo de desechos (recuperables y peligrosos), enfoque de la metodología de Producciones Más Limpias, eficiencia energética, normas de operación y aprovechamiento óptimo de las materias primas del proceso.
11. Diagnosticar, monitorear y corregir de manera preventiva las desviaciones de sobreconsumos de portadores energéticos en equipos claves del proceso.
12. Fomentar la concientización y motivación del personal directo al proceso de detección y extinción de averías con marcado impacto ambiental (salideros de agua y vapor, derrames aceites y combustibles, etc.) como prioridad y con un alto grado de compromiso y efectividad en el trabajo terminado.

- Solo para que se tenga idea si por este concepto se lograra reducir solamente un 15% de las perdidas de agua del período evaluado las mismas conllevarían a un ahorro de cerca de los 2000 m³/año de agua sin adicionar la energía equivalente que requiere el bombeo de este volumen de agua.

A continuación se desarrollo una corrida para comparar el análisis del ciclo de vida presentado hasta el momento por la investigación contra las mejoras propuesta con enfoque de producciones Más Limpias a partir de la identificación del ya desarrollado.

Se mantuvieron los valores de entrada y salida de aquellos elementos que no varían y se modelo con el método IMPACT 2002+. Las **figuras 21 y 22** muestra la comparación por categorías de impactos entre los procesos ETE Cfgos (ACV para condiciones reales para el año 2010) y el ETE Cfgos con CMC3 Gas (ACV para condiciones reales que no varían y las estimaciones de las mejoras propuestas).

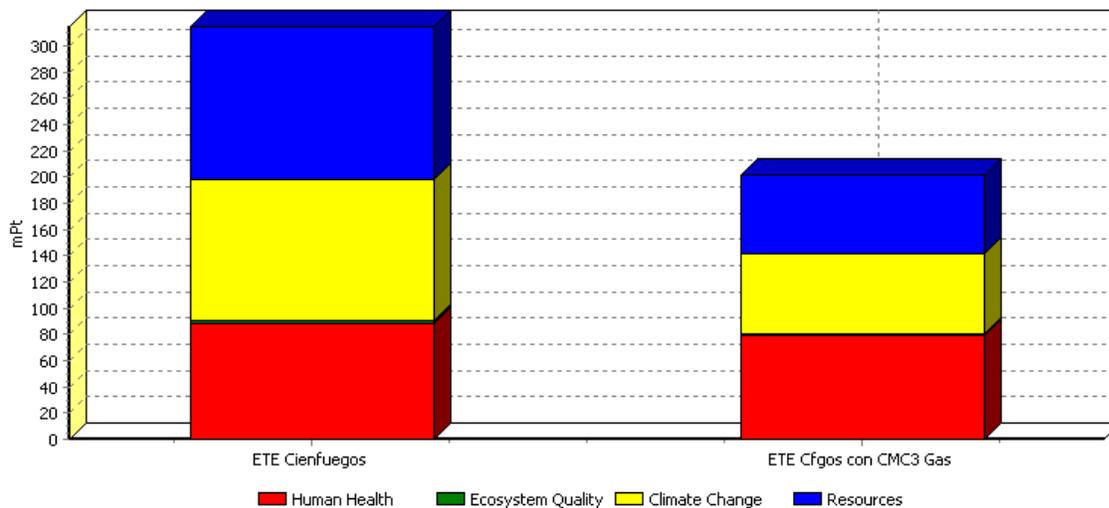
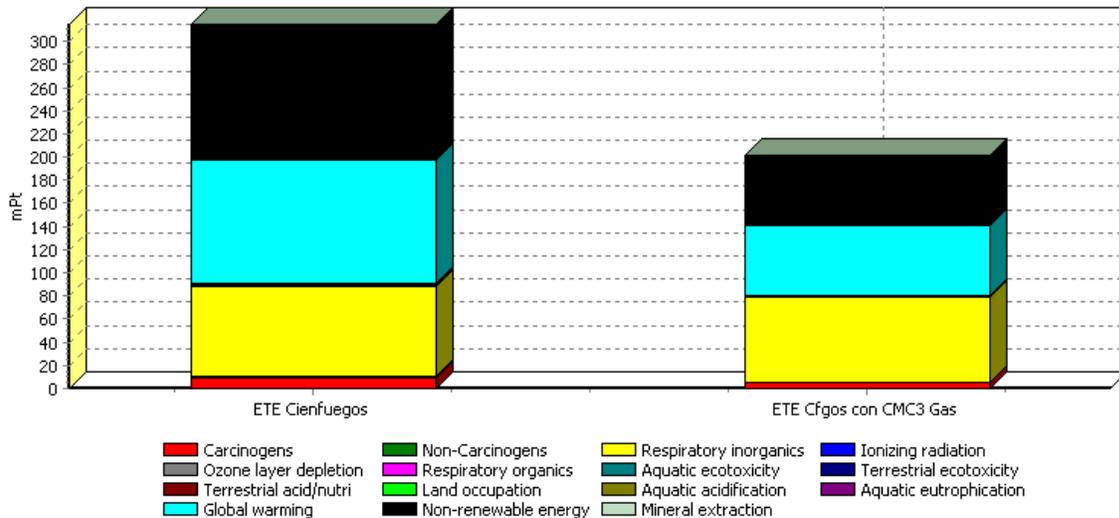


Figura 21. Evaluación por categoría de daño para las condiciones actuales del proceso y las propuestas. Método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.



Comparando 1 MWh (ETE Cienfuegos) con 1 MWh (ETE Cfgos con CMC3 Gas); Método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ / puntuación única

Figura 22. Evaluación por impacto ambiental para las condiciones actuales del proceso y las propuestas. Método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.

Tal y como se aprecia en el gráfico la reducción resulta considerable, el **anexo R** enuncia de forma clara la cuantía estadística de la mejora propuesta mediante el análisis de incertidumbre entre el análisis del ciclo de vida de los dos procesos planteados por las categorías de impacto para una unidad funcional.

De manera paralela estas mejoras aunque enmarcadas fundamentalmente sobre los bloques generadores repercuten igualmente de manera positiva sobre el proceso de tratamiento químico de agua, ya que el consumo eléctrico de este proceso es insumido por la generación de dichas unidades generadoras. **Ver anexo S.**

La interpretación del ciclo de vida también puede, mediante la racionalización y el enfoque en los resultados, demostrar los vínculos que existen entre el ACV y otras técnicas de gestión ambiental. Por lo tanto, es importante considerar no solamente esta técnica desde la aplicación hasta la fase de interpretación del ciclo de vida (considerando las demás fases) sino también, por ejemplo, el uso concurrente de otras técnicas.

Para la evaluación de la huella ecológica solamente se valoró el impacto de las mejoras propuestas sobre la sub-huella energética siendo esta la de mayor peso dentro de la huella total. A continuación la **tabla 20** muestra los índices para esta sub-huella con las mejoras propuestas.

Tabla 20. Sub-huella energética resultado de las opciones de mejora propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

Variables de estudio	Cantidad (ton/MW.h)	Kcal. liberadas	Cantidad Gj	SH_{ENERGIA}
Consumo eléctrico.	0,059727606	579305,2179	2,42543509	0,034161058
Diesel (CMC4).	0,0001191	1209,31758	0,00506317	7,13123E-05
Fuel oil (CMC4).	0,127785786	1239409,673	5,18916042	0,073086766
Gas (CMC3).	0,12044677	1067254,74	4,46838214	0,04804712

La huella ecológica corporativa total con la aplicación de aquellas mejoras que tiene un marcado accionar sobre las variables energéticas del proceso se ve reducida en un **11.94 %** con respecto a la huella ecológica total actual.

El impacto de las mejoras sobre la huella hídrica se muestra a continuación en la **tabla 21** y de manera gráfica en la **figura 23**.

Tabla 21. Descripción de los tipos de aguas que comprenden la huella hídrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración propia.

Aguas de tipo		Cierre 2010	Propuesto
AGUAS GRISES			
Aguas básicas	m ³ /MW.h	0.0158251	0.0148437
Aguas ácidas	m ³ /MW.h	0.0148437	0.0148437
Lavado de CAR	m ³ /MW.h	0.0009719	0.0011203*
Aguas Albañales	m ³ /MW.h	0.0014596	0.0014596
Aguas Oleosas	m ³ /MW.h	0.0158305	0.0071237
AGUAS AZULES			
Agua Cruda	m ³ /MW.h	0.0230381	0.0195824
Agua Tratada	m ³ /MW.h	0.0890943	0.0890943
TOTAL	m³/MW.h	0.1610633	0.1480677

***Nota:** El incremento de las aguas del C.A.R. es por adición del volumen de las aguas básicas agregadas, esto representa una cantidad mayor (agua residual de igual forma) pero disminuye considerablemente los costos de tratamiento de este residual y los aportes de carga contaminante de tipo inorgánicos vertidos a la bahía.

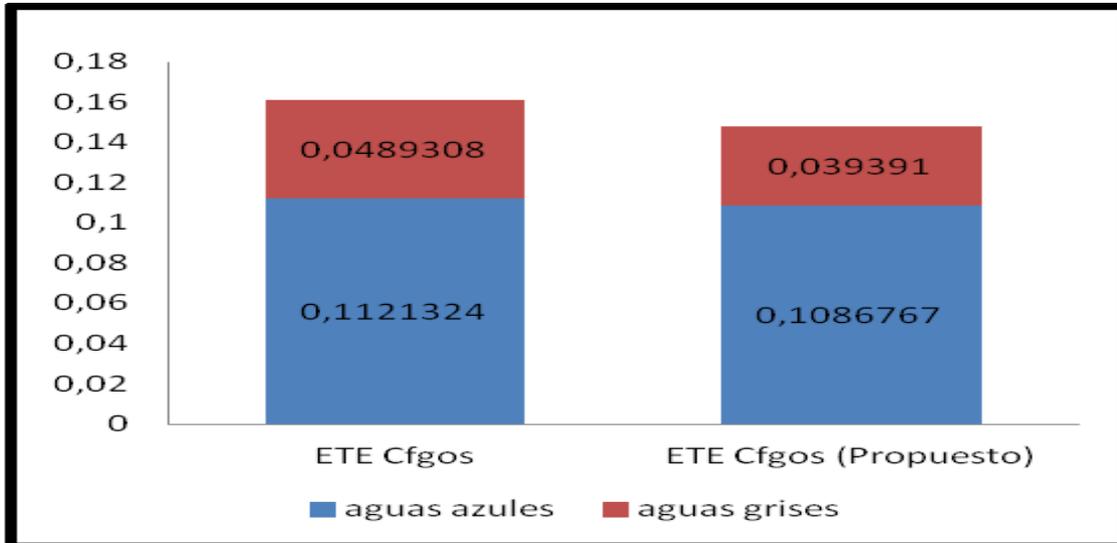


Figura 23. Cantidad de m³/MW.h por cada uno de los tipos de agua entre los dos procesos enunciados. **Fuente:** Elaboracion propia.

Tal y como se muestra las mejoras propuestas repercuten favorablemente en la disminución de algunas de las aguas, lo que a su vez repercute en ahorros ambientales y económicos de esta materia prima así como de la energía que la misma consume.

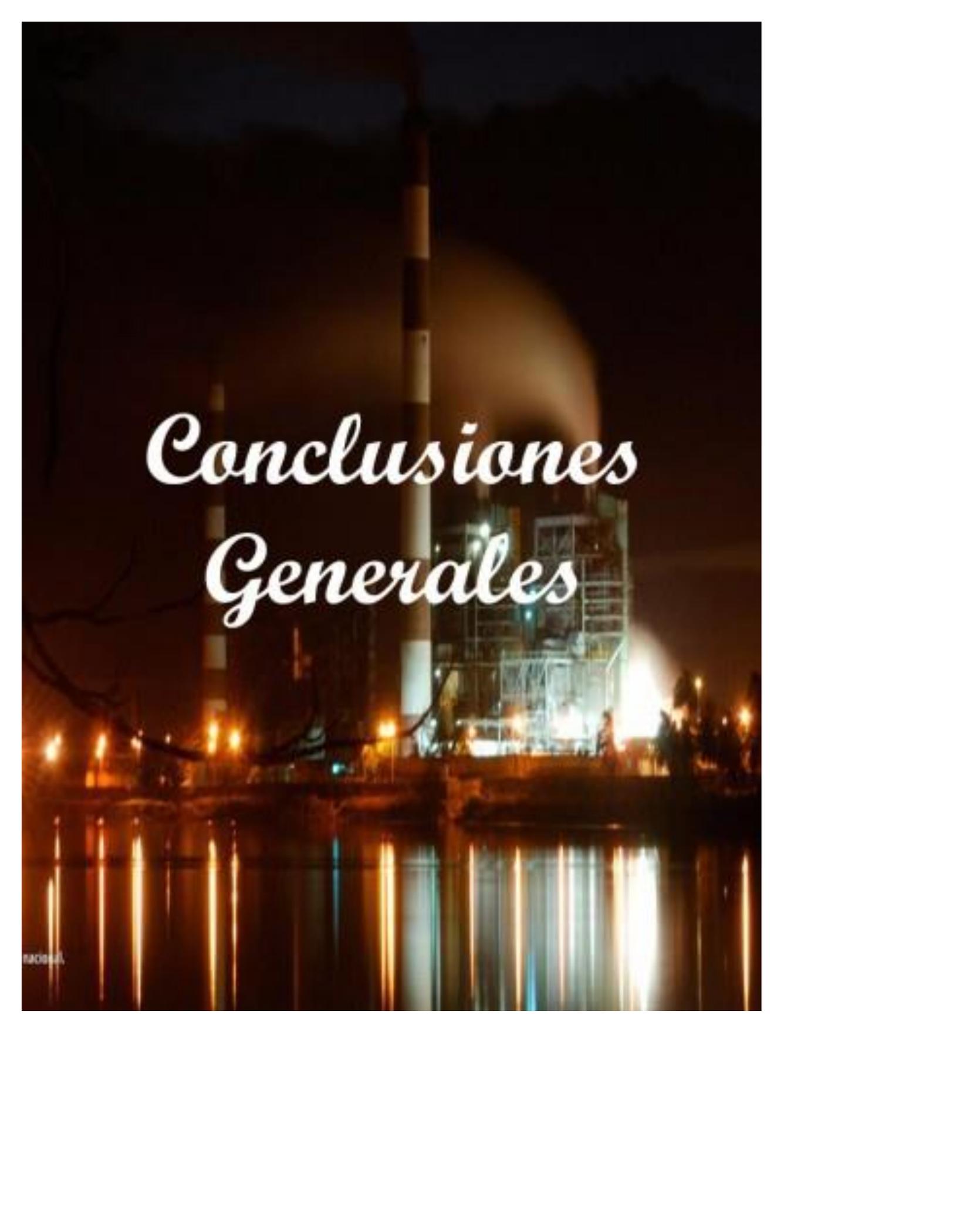
Conclusiones parciales del Capítulo III.

1. Se demuestra que en el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos existen potencialidades de ahorro de energía por sobreconsumos y posibilidad de disminución de sus volúmenes de residuales.
2. La aplicación del análisis de ciclo de vida demostró que las principales categorías de daños del proceso corresponde al uso de recursos y al cambio climático, y de acuerdo a las categorías de impacto el consumo de energía no-renovable, la emisión de gases contribuyentes al calentamiento global y de respiración de inorgánicos en más de un 95%.

3. La huella ecológica total del proceso de generación a las condiciones del período base de la investigación arrojó una demanda de 0.179344 ha/MW.h, siendo la sub-huella energética la responsable de un 98.57%.
4. Por otra parte la huella hídrica demostró un índice 0.1611 m³/MW.h, correspondiendo un 69.62% y 30.38% a las aguas azules y grises respectivamente.
5. Un análisis económico realizado mostró que los mayores gastos corresponden a los gastos indirectos de producción por las cifras elevadas que se requieren por mantenimiento, y de manera puntual el costo del combustible por encima de las demás materias primas, el cual de cargarse a nuestros gastos sería la cuenta de materias primas y materiales la más significativa.
6. A partir del análisis integrado de estos instrumentos se comprobó la compatibilidad de los mismos de una manera armónica, lo que permite apuntar las mejoras a lograr la sostenibilidad del proceso analizado.
7. En la fase de evaluación de las propuestas de mejora se mostró mediante el análisis del ciclo de vida una significativa disminución de cada una de las categorías tanto de daños como de impactos fundamentalmente por la disminución de los sobreconsumos de combustible.
8. De aplicar las alternativas de mejoras propuestas el proceso disminuiría su huella ecológica en un 11.94% y su huella hídrica en un 8.07%.
9. Económicamente las mejoras proponen ahorros de combustible por disminución de los sobreconsumos por temperatura de agua de alimentar de alrededor de 957100 CUP/año, eficiencia del insumo eléctrico (actualmente se sobreconsume el equivalente a 238057 CUP/año por el estado de los VTFs de la unidad CMC3), disminución de los volúmenes de agua de proceso (7019.6 CUP/año) y materias primas para tratamiento de las residuales, gastos en transportación y disposición final de aceites usados todos estos con pequeñas inversiones y buenas prácticas tecnológicas y desde una perspectiva más

amplia de inversión ahorros por gastos de mantenimiento y mayor disponibilidad de la maquina fundamentalmente.

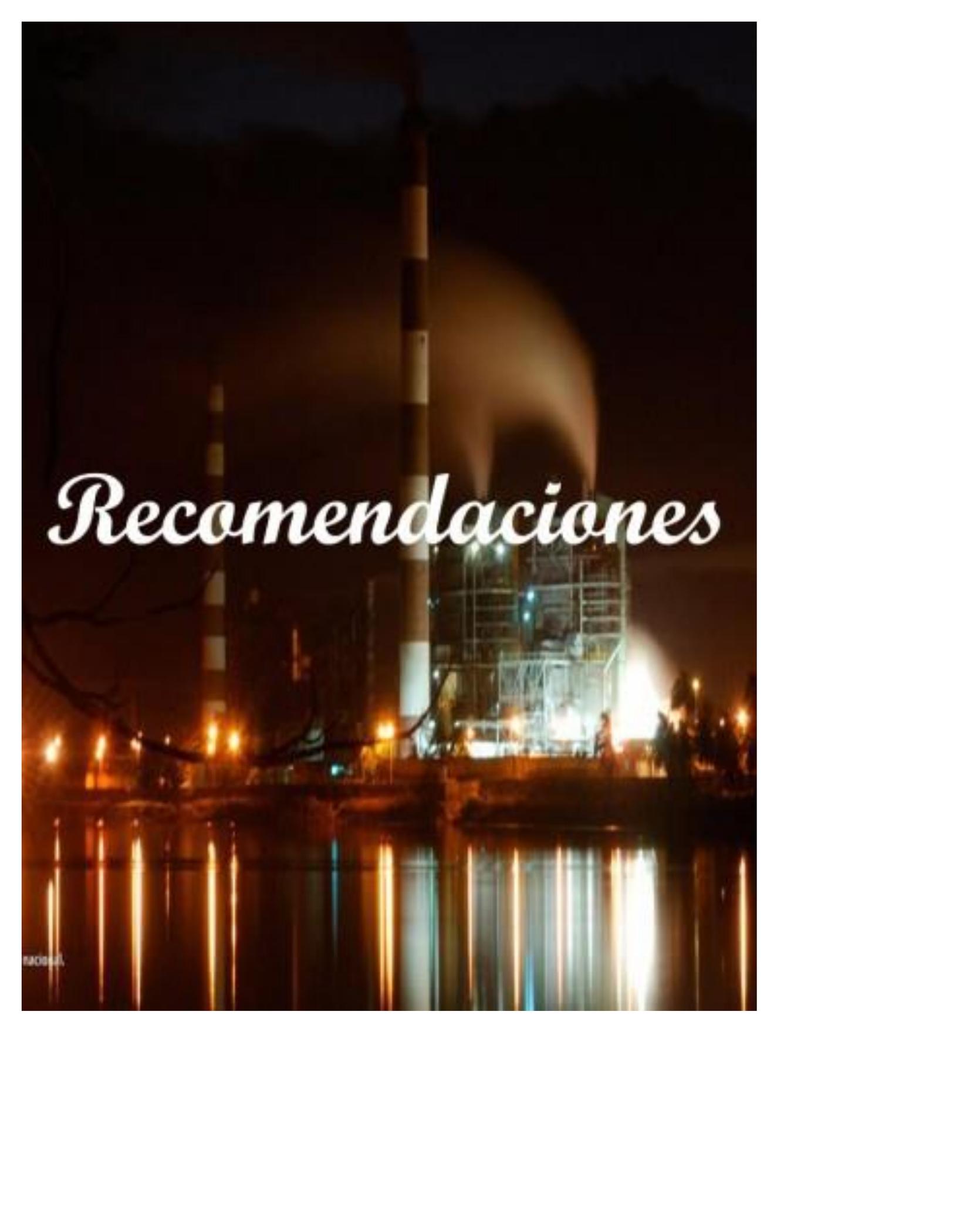
10. El enfoque de mejoras a partir de la metodología de Producciones Más Limpias viabiliza económica y ambientalmente cualquier propuesta de mejora, ya que la misma esta alineada a reducir en la cuna del propio ciclo de vida.



Conclusiones Generales

Conclusiones Generales

1. Se demuestra que la aplicación de instrumentos de Economía Ecológica basado en tres de las metodologías de Análisis de Ciclo de Vida, Huella Ecológica e Hídrica a nivel corporativo son herramientas eficaces para analizar la ecoeficiencia lográndose puntos de contacto con las Producciones Más Limpias.
2. La aplicación de las herramientas de economía ecológica de análisis de ciclo de vida, huella ecológica y huella hídrica al objeto de estudio enmarcado en iguales límites representa un proceder de diagnóstico y de visualización de opciones de mejora muy completa y eficaz manejando íntegramente cada una de las fases de la mejora continua del ciclo Deming.
3. A partir de la aplicación integrada de los instrumentos de economía ecológica al proceso de generación de energía eléctrica se logran importantes reducciones de las categorías de daños e impactos, disminución de las ha/MW.h en un 11.94% y de los m³/MW.h en un 8.07%, lo que se revierte en una mayor efectividad y sustentabilidad de dicho proceso.
4. Entre las mejoras de mediano plazo destaca la sustitución del combustible base de la unidad CMC3 revirtiendo en mejoras económicas (menores gastos de mantenimiento, y consumos de materias primas y materiales), tecnológicas (mayor disponibilidad) y ambientales (menores volúmenes de residuales).
5. Económicamente las mejoras a corto plazo proponen ahorros de 1202176.6 CUP/año por disminución de los principales sobreconsumos de combustible, eficiencia del insumo eléctrico y disminución de los volúmenes de agua de proceso.



Recomendaciones

Recomendaciones

1. Para futuras investigaciones vinculadas con el tema tomar como base teórica la revisión bibliográfica aquí abordada, a pesar de la evolución natural de cada una de estas metodologías con el tiempo, ya que la misma posee carácter lacónico y dinámico.
2. Aplicar estas metodologías a las demás centrales termoeléctricas del país para conocer las categorías de impactos que más afectan el medio ambiente, la salud humana y la producción en sentido general.
3. Presentar resultados del trabajo a las direcciones de la entidad y de la Unión Nacional Eléctrica (UNE) en función de que sean aplicadas las mejoras propuestas.
4. Hacer de esta metodología un proceso cíclico de mejora continua para cada uno de los años y sirva de patrón ante desviaciones o como referencia documental a otro tipo de mejoras que se susciten.
5. Fomentar la capacitación de todos los niveles en concordancia con la metodología de Producciones Más Limpias como un carácter proactivo de la gestión ambiental por procesos.



Bibliografía

Bibliografía

- Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México. Available from http://www.ine.gob.mx/cclimatico/descargas/e2009e_bioenergia.pdf
- Aranda, A. (2006). "Ecodiseño y análisis de ciclo de vida". from http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE_O+Y+ACV.PDF.
- Autores, C. d. (2010). *"Informe Planeta Vivo 2010"*. Madrid, España: World Wide Fund for Nature (WWF).
- Ávila, M. A. (2010). "Electricidad perdida" Retrieved from http://www.cubaenergia.cu/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=651&tmpl=component&format=raw&Itemid=5
- Albis Arrieta, A., Ortiz Toro, J., & Martínez De la Rosa, J. (2017). Remoción de cromo hexavalente de soluciones acuosas usando cáscara de yuca (Manihot esculenta): Experimentos en columna. INGE CUC, 13(1), 42-52. doi:<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.04>
- Bermúdez, F. G. (2011). *"Análisis del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos"*. Unpublished Trabajo de diploma de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Cardim, A. (2001). "Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento". *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona*. Retrieved from <http://www.icce.es/icce/articulo29.htm>.
- Carranza, M. A. (2008). "Eco- Eficiencia. Camino hacia el desarrollo sostenible". Retrieved from <http://www.uic.org.ar/Archivos/Revista/File/ECO%20UIC%20-%20Introduccion%20a%20la%20Ecoeficiencia%20-%20Marcelo%20Carranza%2013Mar08.pdf>.
- Castillo, H. O. (1978). *"Unidades japonesas 169MW calderas"*: La Habana, Cuba.
- Chacón, J. R. V. (2008). "Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)". Available from www.escuelaing.edu.co/.../3historia_ampliada_comentada_analisis_ciclo_vida.pdf
- Chávez, L. V. (2010). *"Análisis ambiental y económico de la producción de alcohol: Ejemplo de caso ALFICSA"*. Unpublished Trabajo de diploma de

Ing. José M. Bermúdez García

- Licenciatura en Economía, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Conesa, V., & Fernández, V. (2005). "Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA)". Available from [http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20\(nuevo%202003-04\).pdf](http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20(nuevo%202003-04).pdf)
- Corral, A. M. (2009). "Convertir el CO₂ en combustible." Retrieved from <http://www.cuantaciencia.com/tecnologia/convertir-co2-combustible>
- Ecological Footprint Standards 2009. (2009). Available from <http://www.footprintstandards.org>
- Hernández Velásquez, V., & Alvarado Bawab, M. (2017). Control on-off de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistidos con microondas. INGE CUC, 13(2), 53-59. doi:<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.06>
- Cruz Viroso, I.; Cabello Eras, J. J.; Sorinas González, L. Evaluación de la calidad del aire en Cienfuegos. Mejoras en el desempeño ambiental. CUBASOLAR. Revista Científica de las Fuentes Renovables de Energía, 2015, vol. 52.
- Cruz-Viroso, I., José-Cabello-Eras, J., Sorinas-González, L., Varela-Haro, A. D. R., & Costa-Pérez, I. (2015). Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos. Ingeniería Industrial, 36(1), 2-16.
- Eras, Juan José Cabello, et al. Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. Journal of Cleaner Production, 2016, vol. 137, p. 803-812.
- Eras, Juan José Cabello Eras, et al. "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA URBANA EN LAS PRINCIPALES CIUDADES COLOMBIANAS." Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional 13.1 (2017).
- García, N. (2009). "Cuba a la vanguardia en el uso de la metodología Análisis del Ciclo de Vida". Available from <http://emba.cubaminrex.cu/Default.aspx?tabid=26290>
- Garzón, M., Colmenares Montañez, J., & Viveros Rosero, L. (2017). Influencia de la densidad seca y el contenido de agua de compactación en las curvas exploratorias de un suelo residual derivado de ceniza volcánica. INGE CUC, 13(1), 19-31. doi:<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.02>
- Goldfinger, S., Moran, D., & Wackernagel, M. (2004). "Ecological Footprint Accounting: Comparing Resource Availability with an Economy's Resource Demand". Retrieved from http://nature.berkeley.edu/BeahrsELP/2004%20Readings%20from%20CD/W4%20Read%20ecological_footprint_accounting.pdf
- Gómez, M. (2010). *Metodología para el análisis del ciclo de vida en la producción de zumo de mango ecológico*. . Unpublished Trabajo de diploma, Universidad Central "Martha Abreus", Villa Clara, Cuba.

Ing. José M. Bermúdez García

- González, D. M. (2008). *"Evaluación del Impacto Ambiental en la Empresa Gydema con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida"*. Unpublished Trabajo diploma de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Guía sectorial de Producciones Más Limpias en hospitales, clínicas y centros de salud. Retrieved from www.cnpml.org
- Hernández, A. C., & Noa, C. P. (2010). *"Análisis del Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos"*. Unpublished Trabajo de diploma de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Iglesias, D. H. (2005). "Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario". Retrieved from <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>
- Lamana, N. R., & Aja, A. H. (2005). "Análisis del ciclo de vida.". from <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>
- Liste, R. J. M. d. O. (2011). *"Determinación del ciclo de vida del café en las empresas Agroindustrial Eladio Machín y la torrefactora y distribuidora de Café Cienfuegos"*. Unpublished Trabajo de diploma de Licenciatura en Economía, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Memoria Anual 2007 del Despacho Nacional de Carga. (2008). Cuba: Unión Nacional Eléctrica (UNE).
- Memoria Anual 2008 del Despacho Nacional de Carga. (2009). Cuba: Unión Nacional Eléctrica.
- Memoria Anual 2009 del Despacho Nacional de Carga. (2010). Cuba: Unión Nacional Eléctrica (UNE).
- Páramo Bermúdez, G., & Benítez Lozano, A. (2013). Deformación incremental de lámina sin matriz (DIELESS) como alternativa viable a procesos de conformación de lámina convencionales. INGE CUC, 9(1), 115-128. Recuperado de <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/148>
- Riveros, O., Romero, J., & Herrera, J. (2017). Implementación de la Técnica de los K-Vecinos en un Algoritmo Recomendador para un Sistema de Compras Utilizando NFC y Android. INGE CUC, 13(1), 9-18. doi:<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.01>
- Samper, M. A. G., Guilianny, J. G., & Eras, J. C. (2017). EFICIENCIA EN EL USO DE LOS RECURSOS Y PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (RECP) PARA LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR HOTELERO. Revista de Gestão Social e Ambiental, 11(2).
- Saavedra Sueldo, C., Urrutia, S., Paravié, D., Rohvein, C., & Corres, G. (2014). Una propuesta metodológica para la determinación de capacidades estratégicas

Ing. José M. Bermúdez García

en pymes industriales. INGE CUC, 10(2), 43 - 50. Recuperado de <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/489>

Virosa, Ibis Cruz, et al. "Gestión comparada del riesgo en el control de la contaminación atmosférica de Generadores de Vapor; Comparative Management of risk in the atmospheric contamination control of Steam Boiler." *Ingeniería Energética* 37.3 (2016): 195-206.

Viviescas Jaimes, A., Herrera Rey, L., & Arenas Páez, S. (2017). Determinación de la capacidad resistente de puentes viga-losa en concreto postensado mediante pruebas de vibración ambiental: Caso de estudio Puente El Ramo. *INGE CUC*, 13(1), 32-41. doi:<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.03>

- Memoria Anual 2010 del Despacho Nacional de Carga.* (2011). Cuba: Unión Nacional Eléctrica.
- Normalización, O. N. d. (2000). NC-ISO 14 041: 2000 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario".
- Normalización, O. N. d. (2001). NC ISO 14040: 1999 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura".
- Normalización, O. N. d. (2001). NC-ISO 14 042: 2001 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida".
- Normalización, O. N. d. (2001). NC-ISO 14 043: 2001 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida".
- Normalización, O. N. d. (2001). NC-ISO 14 049: 2001 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario".
- Normalización, O. N. d. (2004). NC ISO 14001:2004 "Sistema de Gestión Ambiental."
- Normalización, O. N. d. (2007). "NC 521:2007 "Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas."".
- Normalización, O. N. d. (2010). "NC TS 803 "Calidad del aire emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor".
- Penela, A. C., & Negro, M. d. C. G. (2008). "Hacia el desarrollo sostenible de organizaciones y empresas: La huella ecológica corporativa y su aplicación a un productor de mejillón en Galicia (España)". *Revista Luna Azul*, vol. 27.
- Penela, A. C., Negro, M. d. C. G., & Quesada, J. L. D. (2009). "El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella corporativa del carbono (HCC)". *Revista Desarrollo Local Sostenible*, vol. 2.
- Penela, A. C., Negro, M. d. C. G., Quesada, J. L. D., Villasante, C. S., Rodríguez, G. R., & Arenales, M. G. (2008). "Huella ecológica corporativa: concepto y aplicación a dos empresas pesqueras de Galicia". *Revista Galega de Economía*, vol. 17.
- Penela, A. C., Quesada, J. L. D., & Negro, M. d. C. G. (2009). "El ecoetiquetado en base a la huella ecológica y del carbono: una herramienta de marketing verde". *UAIS. Programa de difusión e investigación en Desarrollo Sustentable*.
- Peña, M. D. (2009). "Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA". Unpublished Trabajo de diploma de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014. (2006). In SENER (Eds.) Available from www.energia.gob.mx

- Protección ambiental y producción + limpia. Parte 1. (2006). In E. ACADEMIA (Eds.) Available from www.pml.cu/curso/Texto%20general%20final.Parte1.pdf
- Protección ambiental y producción +limpia. Parte 2. (2006). In E. ACADEMIA (Eds.) Available from www.pml.cu/cursos/Texto%20general%20final.Parte2.pdf
- Quesada, J. L. D. "Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa". Retrieved from www.caei.com.ar
- Quesada, J. L. D. (2007). *"Huella ecológica y desarrollo sostenible"* (AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) ed.). Madrid, España.
- Quesada, J. L. D., & Penela, A. C. (2009). "El método compuesto de las cuenta contables MC3 una alternativa para estimar la huella ecológica de empresas y organizaciones". *Revista académica UAIS-Programa de difusión e investigación en Desarrollo Sustentable*.
- Quintero, A. G., Robledo, A. J., & Cerón, G. C. (2008). "Los nuevos conceptos sobre agua virtual y huella hídrica aplicados al desarrollo sostenible: implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico". *vol. 1*,
- Rodríguez, A. S. (2007). "La huella ecológica como elemento de valoración integrada de la sostenibilidad del desarrollo".
- Rodríguez, R. M. L. (2010). *"Análisis del Ciclo de Vida de la producción de Cemento"*. Unpublished Trabajo de diploma de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Romero, B. R. (2004). "El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental". Retrieved from www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf
- Ruíz, Y. R. B. (2011). *"Determinación de la huella ecológica del municipio de Aguada de Pasajeros"*. Unpublished Trabajo de diploma de Licenciatura en Economía, Universidad carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Salazar, D. B. (2011). *"Estudio comparativo del régimen de funcionamiento del Generador de Vapor de la CTE " Carlos Manuel de Céspedes" trabajando con combustible líquido y gaseoso"*. Unpublished Tesis de diploma de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Serrano, D., & Dufour, J. (2008). "El Análisis del Ciclo de Vida de la Energía 1ra Parte." *Energía y Sostenibilidad*. Retrieved from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/05/22/92559>
- Suárez, P. O. (2008). *"Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González"*. Unpublished Trabajo de diploma, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Suppen, N., & Hoof, B. (2005). *"Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño"*.

- Torres, P. C. (2006). *"Combustión Industrial de Gas Natural"*.
- Veitía, E. V. (2010). *"Evaluación del ciclo de vida en proyectos de construcción de viviendas aisladas en Cienfuegos"*. Unpublished Tesis de maestría Gestión Ambiental, Universidad Carlos R. Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Yano, T., & Kiyama., K. (Eds.). (2003). *"Low NOx Combustion Technologies For Lignite Fired Boilers"*.



Glosario de términos

Glosario de términos

ABC

ACV: Análisis del Ciclo de Vida.

BV: Referido al combustible petróleo Bajo Vanadio.

B.A.A.: Bomba de Agua de Circulación.

B. Circ.: Bomba de agua de circulación.

B. Cond.: Bomba de condensado de vapor.

CIGEA: Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental.

CAR: Calentador de Aire de tipo Regenerativo.

CITMA: Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Medio Ambiente.

CMC: Carlos Manuel de Céspedes, nombre de las unidades generadoras

CUBAENERGIA: Entidad perteneciente al CITMA con un importante desarrollo en

investigaciones de contaminación atmosférica

DEF

DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno, ensayo pasado los 5 días.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

DNC: Despacho Nacional de Carga.

EICV: Evaluación del Inventario del Ciclo de Vida.

EMAS: siglas en Ingles [*European Eco-Management and Audit Scheme*]

ENERGAS: Empresa mixta cubana entre la UNE, CUPET y la Sherritt Power Ltd.

Esp.: [Abreviatura]. Especialista.

GHI

GEF CT: Grupos Electrónicos de Fuel emplazados en las Centrales Termoeléctricas.

GEI: Gases Efecto Invernadero.

GES: Grupos de Emergencia Sincronizados.

GNL: Gas Natural Licuado.

GRI: siglas en Ingles [*Global Report Initiative*]

HE: Huella Ecológica.

HEC: Huella Ecológica Corporativa. **IE:** Intensidad Energética.

ISO: siglas en Ingles [*International Standard Organization*]

JKL

MNÑ

MINBAS: Ministerio de la Industria Básica.

NMCC: Normalización, Metrología y Control de la Calidad.

OPQ

PML: Producciones Más Limpias.

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PTQA: Planta de Tratamiento Químico de Agua.

RST

sCt: unidad de medida que expresa viscosidad de un líquido.

SEN: Sistema Electroenergético Nacional.

SSTMA: Seguridad y Salud en el trabajo y Medio Ambiente.

t: Unidad de medida de peso (Toneladas métricas).

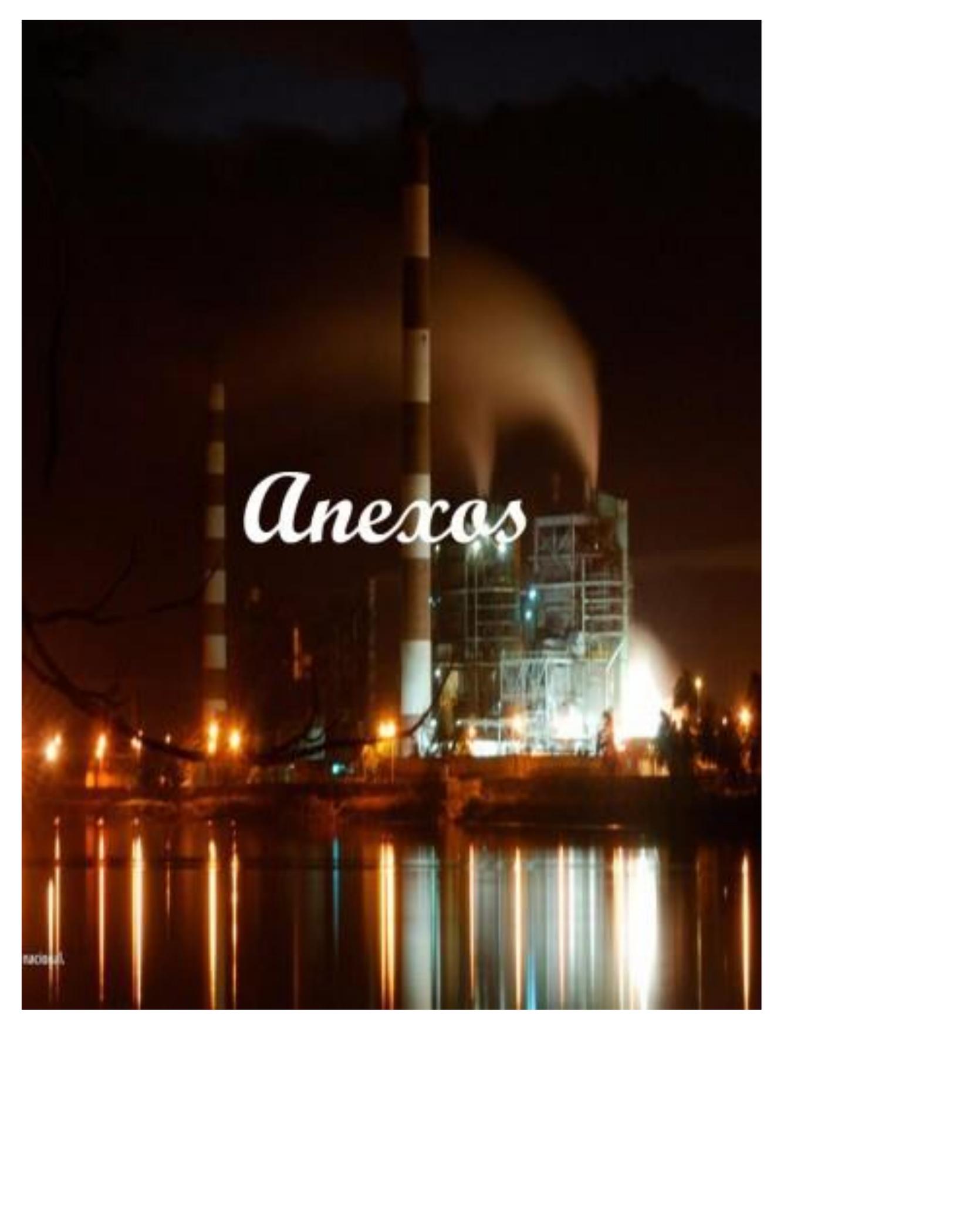
UVW

UNE: Unión Eléctrica Nacional.

VRG: Ventilador Regenerativo de Gases.

VTE: Ventilador de Tiro Forzado.

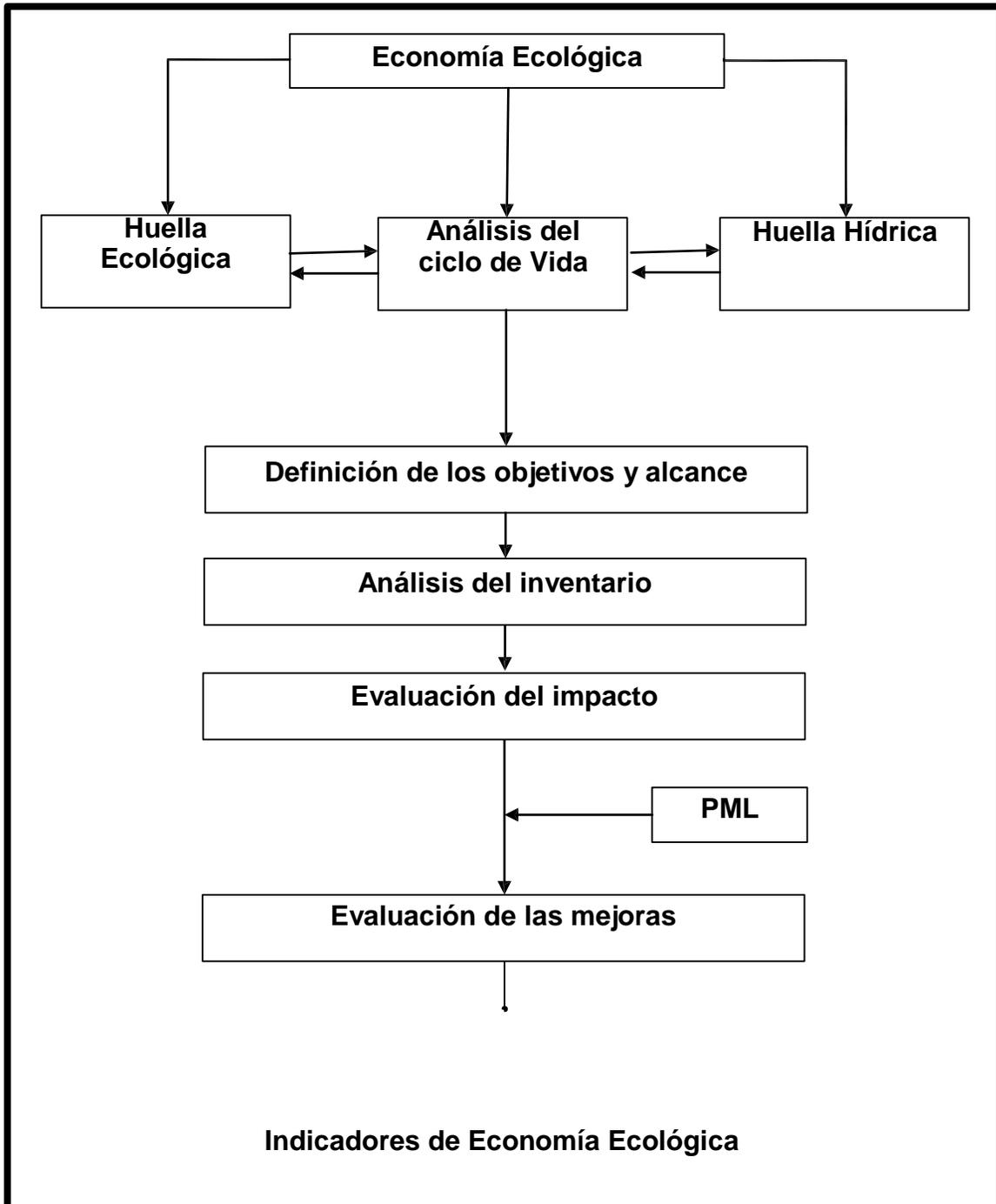
XYZ

A photograph of an industrial facility at night. The scene is dominated by a large, multi-story building with a complex metal framework, illuminated by bright lights. To the left, a tall, dark smokestack with white horizontal bands stands prominently. A plume of white smoke or steam rises from the building. The entire scene is reflected in a body of water in the foreground, creating a clear mirror image. The sky is dark, and the overall atmosphere is industrial and nocturnal. The word "Anexas" is overlaid in a white, cursive font in the center of the image.

Anexas

ANEXOS

Anexo A. Hilo Conductor de la Investigación. **Fuente:** Elaboración Propia.



Anexo B: Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental.

Fuente: (Suppen, 2007)

<p style="text-align: center;">ECO INDICADOR 99</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por Pre con colaboración de científicos suizos. • Tres versiones: jerarquizado, igualitario, individualista. • Difiere en la concepción del mundo y realizar diferentes suposiciones sobre: <ul style="list-style-type: none"> – Que sustancias incluir. – Horizonte de tiempo. – Substitución de recursos, cuando se agotan. • Otras características: <ul style="list-style-type: none"> – Incluye descomposición y movimiento de las sustancias en el ambiente. – Uso de suelo, partículas, agotamiento de minerales. – Ponderación por medio de un panel (especialistas en medio ambiente).
<p style="text-align: center;">CML</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por un científico en Leiden (Holanda). • Recopilación de métodos desarrollados por otros o por el mismo CML en el pasado. • En SimaPro solo la base. Pocas versiones de caracterización de algunos efectos. • Otras características: <ul style="list-style-type: none"> – No ponderación. – Diferentes puntajes para eco-toxicidad. – Horizonte de tiempo infinito: los metales dan calificaciones muy altas. – No uso de suelo o partículas. – Transparente, buena calidad de los modelos detrás de los cálculos.
<p style="text-align: center;">EDIP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método danés, desarrollado por investigadores ambientales. • Mejora de CML 92. • En desarrollo: <ul style="list-style-type: none"> – Factores de caracterización específicos y regionales (no apoyados por SimaPro). – Se actualizará (ecoinvent y EDIP).
<p style="text-align: center;">EPS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Priority Strategies en diseño de productos. • Método sueco (Bengt Steen). • Calificaciones solas basadas en valores monetarios. • Otras características:

	<ul style="list-style-type: none"> – Las categorías son diferentes a las clásicas: morbilidad, problemas (fastidio). – “salidas diferentes”: efectos positivos para capacidad de producción. – Agua (capacidad de producción) incluida.
<p>ECOPUNTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método suizo. • Se conoce como <i>knapsack</i>, UBP, <i>ecoscarcity</i>. • Simplificación de Eco-indicador 95, con ponderación basado en políticas suizas (distancia al objetivo). • Método viejo pero muy popular en Suiza (éxito de la simplicidad). • Ecoinvent no está bien caracterizado la categoría de desechos (importante para una calificación final, principalmente por residuos nucleares).
<p>TRACI</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método desarrollado por la US EPA. • Enfoque en emisiones tóxicas. • Destino de los contaminantes no incluido. • Desarrollado por científicos: no está diseñado para inventarios disponibles en las bases de datos públicas. • Se desarrolla un grupo de normalización. • BEES: caracterización para emisiones de interiores.
<p>IMPACT 2002 +</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por EPFL en Suiza. • Mejoras para emisiones tóxicas, reuso de los métodos existentes para otros efectos. • Intermedias/finales (no calificación única). • Otras características: <ul style="list-style-type: none"> – Método completo. – Distingue entre emisiones a largo plazo. – Adaptado en ecoinvent. – Científicos: muchos factores de caracterización disponibles que no se usan en el inventario.

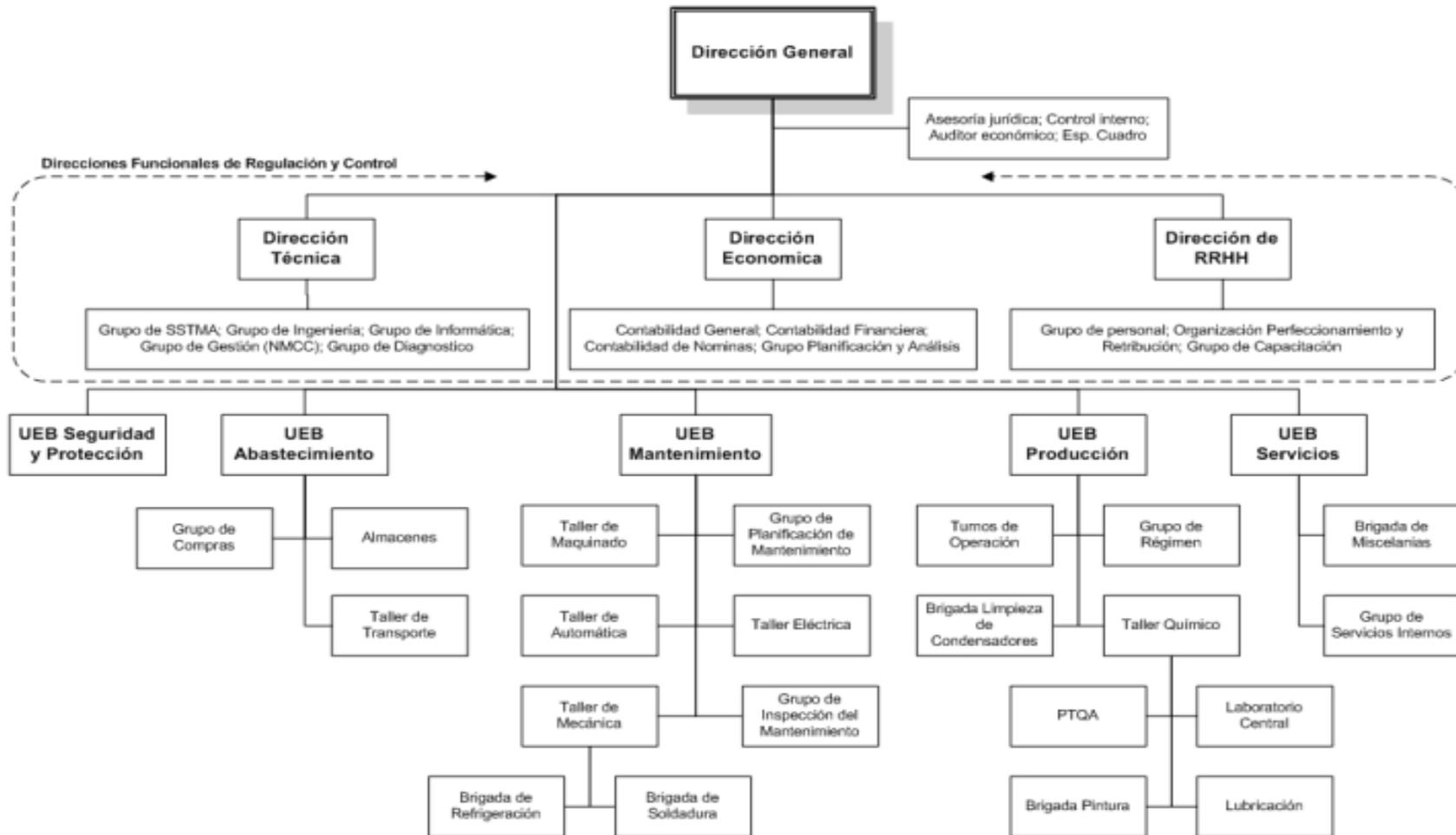
Anexo C. Listado de las principales herramientas del Análisis del Ciclo de Vida. **Fuente:** Vega Chávez, Lianet. 2010.

Nombre	Vendedor	Coste (Euros)	Procedencia de los datos	Comentarios
Boustead Model	Boustead	24.000	Europa	-
CLEAN	EPRI	14.000	E.E.U.U.	-
Eco-it	PRE' Consulting	-	Holanda	-
EcoManager	Franklin Associates, Ltd.	10.000	E.E.U.U.	-
EcoPack2000 Max	Bolliger	5.800	Suiza	-
EcoPro	EMPA	-	Suiza	Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUWAL.
ECO-SCAN	Turtle Bay	-	Países Bajos	Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del ecodiseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo.
Euklid	Fraunhofer-Institut	-	Alemania	Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales.
GaBi	IPTS	10.000	Alemania	Además de las posibilidades convencionales de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos.
KCL-ECO	Finnish Paper Inst.	3.600	Finlandia	Presenta una interfaz gráfica muy completa. Posee los indicadores Ecoindicador95 v

				DAIA 98 y destaca por sus datos de la industria papelera.
LCA1	P&G/ETH	-	Europa	-
LCAD	Battelle/DOE	< 1.000	E.E.U.U.	-
LCAiT	Chalmers Industrietechnik	4.000	Suecia	Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel.
LCASys	Philips ORIGIN	-	Holanda	-
PEMS	PIRA	9.100	Media Europea	Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfico es flexible.
PIA	BMI/TME	1.400	Europa	-
Miet	Universidad de Leiden	-	Países Bajos	Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Tiene carácter gratuito.
REPAQ	Franklin Associates, Ltd.	10.000	E.E.U.U.	-
SimaPro	PRe' Consulting	3.000	Holanda	Permite realizar ACVs completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para departamentos de diseño o I+D.
SimaTool	Leiden Univ.	-	Holanda	
TEAMTM	Ecobalance	10.000	Europa EEUU	Herramienta muy completa, flexible y potente aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes.

Umberto	IFEU	281,21	Alemania	Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar eco-balances empresariales.
Wisard	Price waterhouse Coopers	-	Francia	Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales.

Anexo D. Organigrama jerárquico de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración Propia.



Anexo E. Intensidad energética de los distintos materiales e insumos. Fuente: Guía

Tabla 3. Intensidad energética y conversión de los materiales, de euros a toneladas			
Categoría de Materiales	Capítulos arancelarios	Intensidad energética (Gj/t)	Índice de conversión (toneladas por mil euros)
Mineral bruto en general	25, 26	1,50	12,76
Cemento, yeso, piedra, tierra, sal, azufre, etc.	25	3,30	21,33
Manufactura cemento, yeso, piedra....	68	5,00	2,18
Vidrio, porcelana, material refractario....	69, 70	20,00	2,07
Derivados del plástico	39	43,75	0,76
Material textil sintético semi-elaborado	54, 55, 56, 60	43,75	0,28
Textil sintético confeccionado	57 a 59 y 61 a 66	50,00	0,11
Abonos	31	50,00	6,63
Combustibles, aceite mineral, etc.	27	43,75	4,54
Productos químicos, higiénicos y de limpieza; pinturas, barnices, etc.	28, 29, 32, 33, 34, 35, 38	35,00	0,75
Productos básicos de hierro, acero y metales	72	30,00	1,65
Aluminio y derivados básicos	76	90,00	0,37
Manufacturas del aluminio	76	300,00	0,37
Manufacturas del hierro, acero y metales	73 a 75; 80 a 83, 93 y 94	100,00	0,31
Miscelánea de productos manufacturados	95, 96	100,00	0,12
Maquinaria industrial	84	100,00	0,15
Aparatos eléctricos, telecomunic., sonido, oficina	85, 90	140,00	0,08
Vehículos terrestres, tractores	87	140,00	0,17
Vehículos y material para vías férreas	86	140,00	0,10
Barcos y demás artefactos flotantes	89	140,00	0,19
Joyería, oro, piedras preciosas	71	150,00	0,01
Productos farmacéuticos	30	200,00	0,03
Productos fotográficos y cinematográficos	37	600,00	0,27

Anexo F. Diagrama de flujo general de entradas y salidas del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración Propia.



Anexo G. Características fundamentales de los combustibles utilizados en la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. **Fuente:** certificado de calidad del laboratorio de CUVENPETROL S.A.

Fuel Oil Pesado BV.

DETERMINACION	UM	METODO	RESULTADO OBTENIDO	ESPECIFICACION
Densidad a 15°C	g/cm ³	ASTM D-1298	0.967	0.9959 máx
Gravedad °API	°API	ASTM D-1298	15.4	10.5 min.
Azufre Total	% m/m	ASTM D-4294	2.063	3.5 máx.
Agua por destilación	% v/v	ASTM D-95	0.1	1.5 máx
Viscosidad a 50°C	mm ² /s	ASTM D-445	430	450 máx.
Temperatura de inflamación	°C	ASTM D-93	100.0	62 min.
Temperatura de fluidez	°C	ASTM D-97	3°C	(+) 16 máx.
Cenizas	% m/m	ASTM D-482	0.039	0.05 máx.
Carbón Conradson	% m/m	ASTM D-4530	10.11	15 máx.
Sedimento por extracción	% m/m	ASTM D-473	0.01	0.15 máx.
Asfáltenos	% m/m	IP-143	5.3	12.0 máx.
Vanadio	ppm	ASTM D-5863	116	180 máx.

Sodio	ppm	ASTM D-5863	5	40 máx.
Aluminio + Silicio	ppm	ISO-10478	<15	80 máx.
Valor Calórico Inferior	kcal/kg	ASTM D-4868	9699.12	9500 min.
	MJ/kg	ASTM D-4868	40.61	38.10 min.

Balance másico Fuel oil Pesado BV

Elemento	UM	Valor
Carbono	%	85.4
Hidrógeno	%	11.5
Oxígeno	%	0.5
Nitrógeno	%	0.5
Azufre	%	2,06
Agua	%	<0,05
Cenizas	%	0.041
Valor calórico superior	kcal/kg	10263
Valor calórico inferior	kcal/kg	9699.12

Diesel Regular IFO-180

DETERMINACION	UM	METODO	RESULTADO OBTENIDO	ESPECIFICACION
Densidad a 15°C	g/cm ³	ASTM D-1298	0.9498	0.991 máx

Azufre Total	% m/m	ASTM D-4294	1.955	4.5 máx.
Agua por destilación	% v/v	ASTM D-95	0.1	0.5 máx
Viscosidad a 50°C	mm ² /s	ASTM D-445	145	180 máx.
Temperatura de inflamación	°C	ASTM D-93	95.1	62 min.
Temperatura de fluidez	°C	ASTM D-97	3°C	(+) 30 máx.
Cenizas	% m/m	ASTM D-482	0.048	0.15 máx.
Carbón Conradson	% m/m	ASTM D-4530	7.537	18 máx.
Sedimento Total	% m/m	ASTM D-4870	0.01	0.1 máx.
Vanadio	ppm	ASTM D-5863. D 1548	103	300 máx.
Aluminio + Silicio	ppm	ISO-10478	<15	80 máx.

GNL (Propiedades físico-químicas)

Elemento	UM	Valor
Nitrógeno	%	0.03
Metano	%	96.72
Etano	%	2.03
Propano	%	0.85
Iso-butano	%	0.13
N-butano	%	0.20
Iso-Pentano	%	0.02
N-pentano	%	0.01

Dióxido de carbono	%	0.01
--------------------	---	------

PROPIEDADES FISICAS

Masa molecular	kg/kgmol	16.73
Densidad en condiciones normales	kg/Nm ³	0.672
Densidad GNL	kg/m ³	434.2
Poder calorífico superior	MJ/m ³	37.10
Poder calorífico inferior	MJ/m ³	33.45

Anexo H. Sistema informático SEIA para el cálculo de emisiones ya sea por el método teórico de la combustión o por mediciones de gases. **Fuente:** CUBAENERGIA.

The image displays four sequential screenshots of the SEIA software interface, connected by red curved arrows indicating the workflow:

- Screenshot 1:** The main menu titled "SEIA Versión Central Termoelectrica 'Carlos M. de Céspedes' de Cienfuegos". It features the logo "SEIA Sistema para la Evaluación del Impacto Ambiental" and a navigation pane with buttons for "Emisiones", "Datos Meteorológicos", "Dispersión", "Impactos y Costos", and "Salir". A red circle with the number "1" is overlaid on the bottom left.
- Screenshot 2:** The "Emisiones" window. It shows a table of characteristics for "Combustible Crudo1". A red circle with the number "2" is overlaid on the bottom right.

Característica	Valor Mínimo	Valor Promedio	Valor Máximo	Unidades	Esencial (1)
Contenido de azufre	5	5.4	6.5	wt %	1
Contenido de carbono	78.08	81.39	82.02	wt %	1
Contenido de cenizas	0.32	0.32		wt %	1
Contenido de hidrógeno	9.89	9.89	10.5	wt %	1
Contenido de humedad	1.5	2	2.5	wt %	1
Contenido de nitrógeno	0.3	0.5		wt %	1
Contenido de oxígeno	0.4	0.5		wt %	1
Densidad	0.9937	0.998	1.0015	g/cm3	1
Valor Calórico Neto (VCN)			38.52	MJ/kg	1
- Screenshot 3:** The "Factores de emisión basados en el cálculo teórico de la combustión" window. It shows calculated emission factors for various pollutants. A red circle with the number "3" is overlaid on the bottom left.

Contaminante	Unidades	Factor E
TSP	g/kwh	1.8151
CO2	g/kwh	952.4451
SO2	g/kwh	30.8298
NOx	g/kwh	1.6150
Cenizas	g/kwh	0.9147
PM10	g/kwh	1.3006
CO	g/kwh	0.1715
CH4	g/kwh	0.0086
VOC	g/kwh	0.0372
N2O	g/kwh	0.0029
- Screenshot 4:** The "Valores usados en el cálculo de las emisiones" window. It displays technical characteristics of the installation and fuel, such as chimney height, temperature, and fuel composition. A red circle with the number "4" is overlaid on the bottom left.

Anexo I. Características, cantidades y factor de vertimiento por MW.h producido de cada uno de los residuales líquidos.

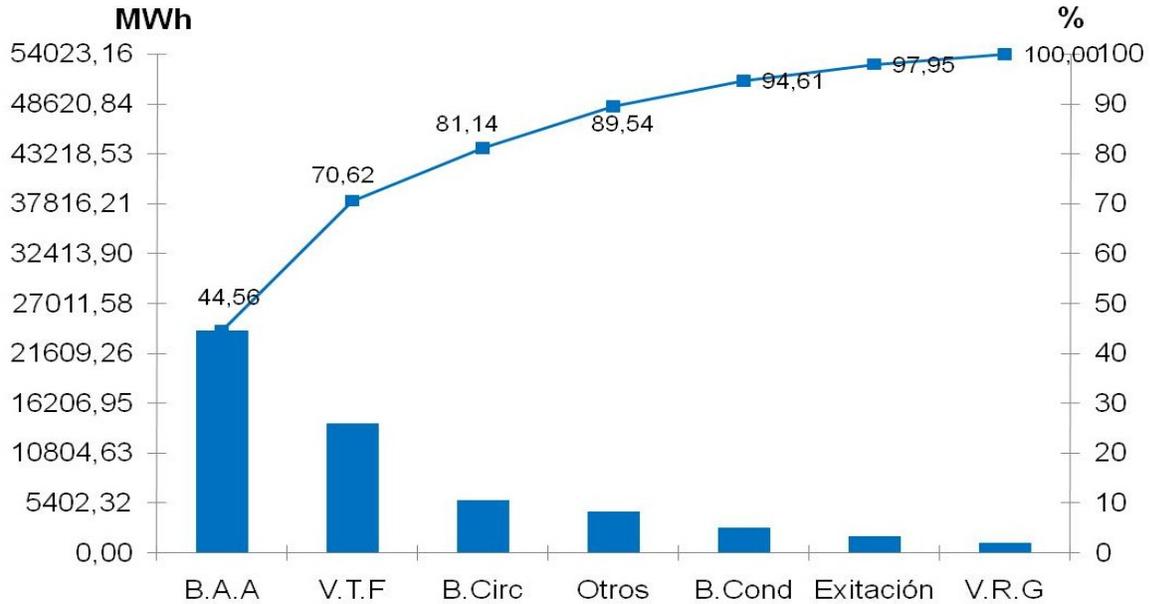
Fuente: Elaboración propia a partir de informes de caracterización y monitoreo de estos residuales.

RESIDUALES LIQUIDOS								
ENTRADAS	UM	Cantidad			UM	Factor		
		CMC3	CMC4	ETE Cfgos		CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Aguas Albañales								
DBO5	mg/año	846631,3907	970968,6093	1817600	mg/MW.h	1,0095	0,0001	1,0095
DQO	mg/año	2687062,519	3081687,481	5768750	mg/MW.h	3,2040	3,2040	3,2040
Aguas Oleosas								
Grasas y Aceites	mg/año	1655905,917	1899094,083	3555000	mg/MW.h	1,9744	1,9744	1,9744
Aguas de lavado de CAR								
Fósforo Total	mg/l	0,92	0,09	1402500	mg/MW.h	1,645	0,023	0,779
Sólidos Suspendidos	mg/l	2460,43	29,6	3698045000	mg/MW.h	4400,593	7,694	2053,890
DBO5	mg/l	100	5	151250000	mg/MW.h	178,855	1,300	84,004

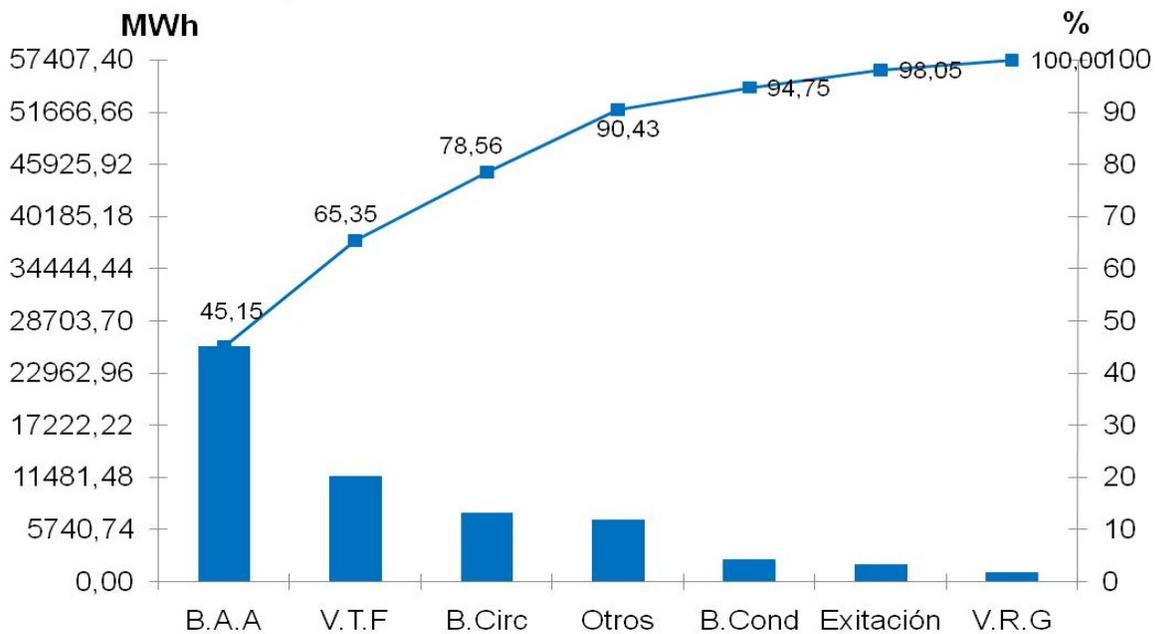
DQO	mg/l	720	40	1090000000	mg/MW.h	1287,753	10,397	605,385
Sólidos Sedimentables	mg/l	7,5	0,2	11300000	mg/MW.h	13,414	0,052	6,276
Grasas y Aceites	mg/l	30,14	4,2	46260000	mg/MW.h	53,907	1,092	25,693
Cobre (Cu)	mg/l	1,47	0,02	2210000	mg/MW.h	2,629	0,005	1,227
Plomo (Pb)	mg/l	0,2	0,05	312500	mg/MW.h	0,358	0,013	0,174
Niquel (Ni)	mg/l	87,3	1,41	131302500	mg/MW.h	156,140	0,366	72,925
Zinc (Zn)	mg/l	0,73	0,1	1120000	mg/MW.h	1,306	0,026	0,622
Cadmio (Cd)	mg/l	0,05	0,01	77500	mg/MW.h	0,089	0,003	0,043
Cobalto (Co)	mg/l	0,108	0,05	174500	mg/MW.h	0,193	0,013	0,097
Cromo (Cr)	mg/l	0,152	0,021	233250	mg/MW.h	0,272	0,005	0,130
Vanadio (Va)	mg/l	236	4,13	355032500	mg/MW.h	422,097	1,073	197,185
Hierro (Fe)	mg/l	102,6	7,82	155855000	mg/MW.h	183,505	2,033	86,562

Anexo J. Estado del insumo eléctrico por cada una de las unidades generadoras durante el período base. **Fuente:** Elaboración propia a partir de registros del grupo de Régimen de la UEB de Producción.

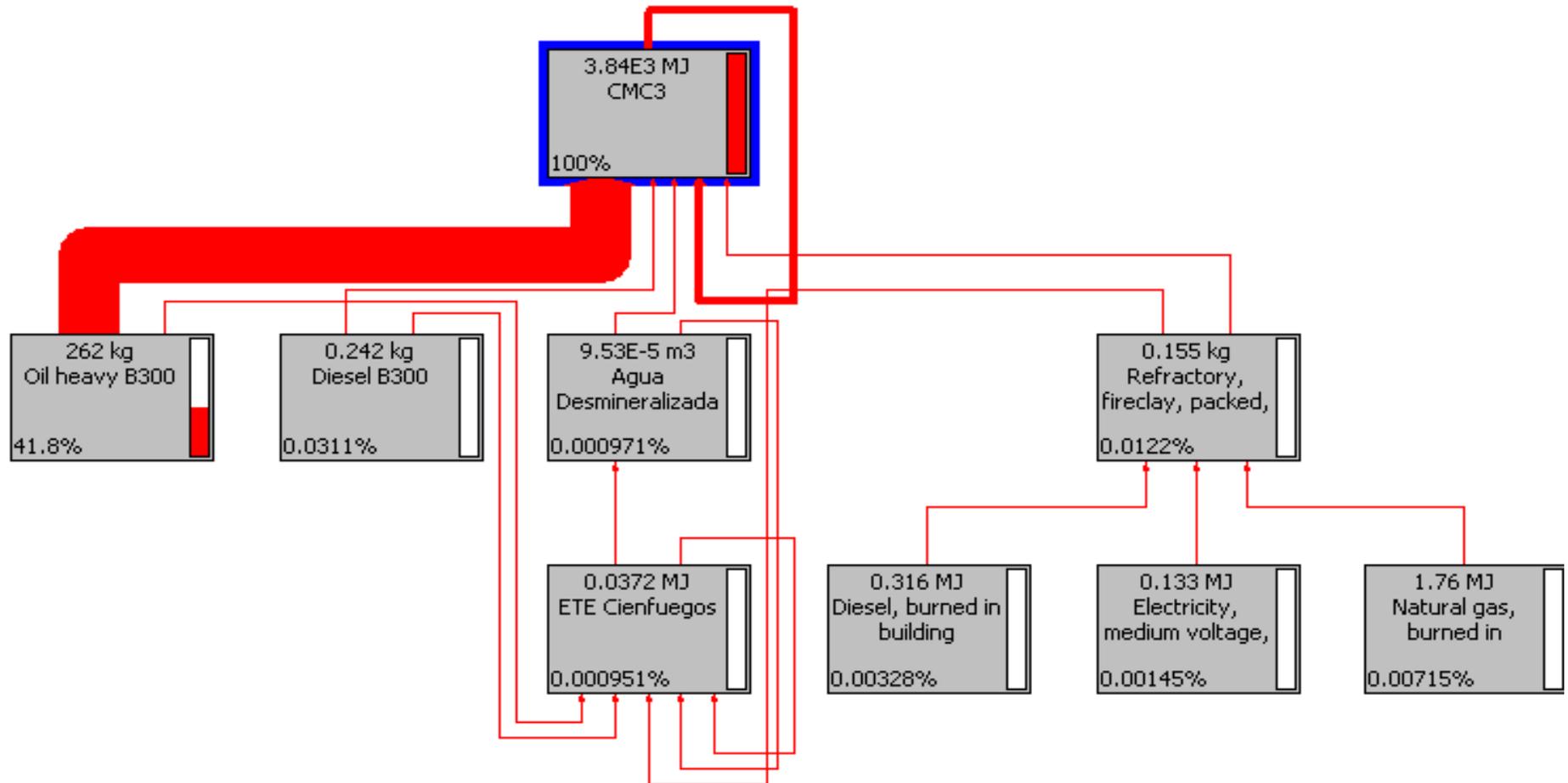
Mayores consumidores de la Unidad # 3 en el 2010



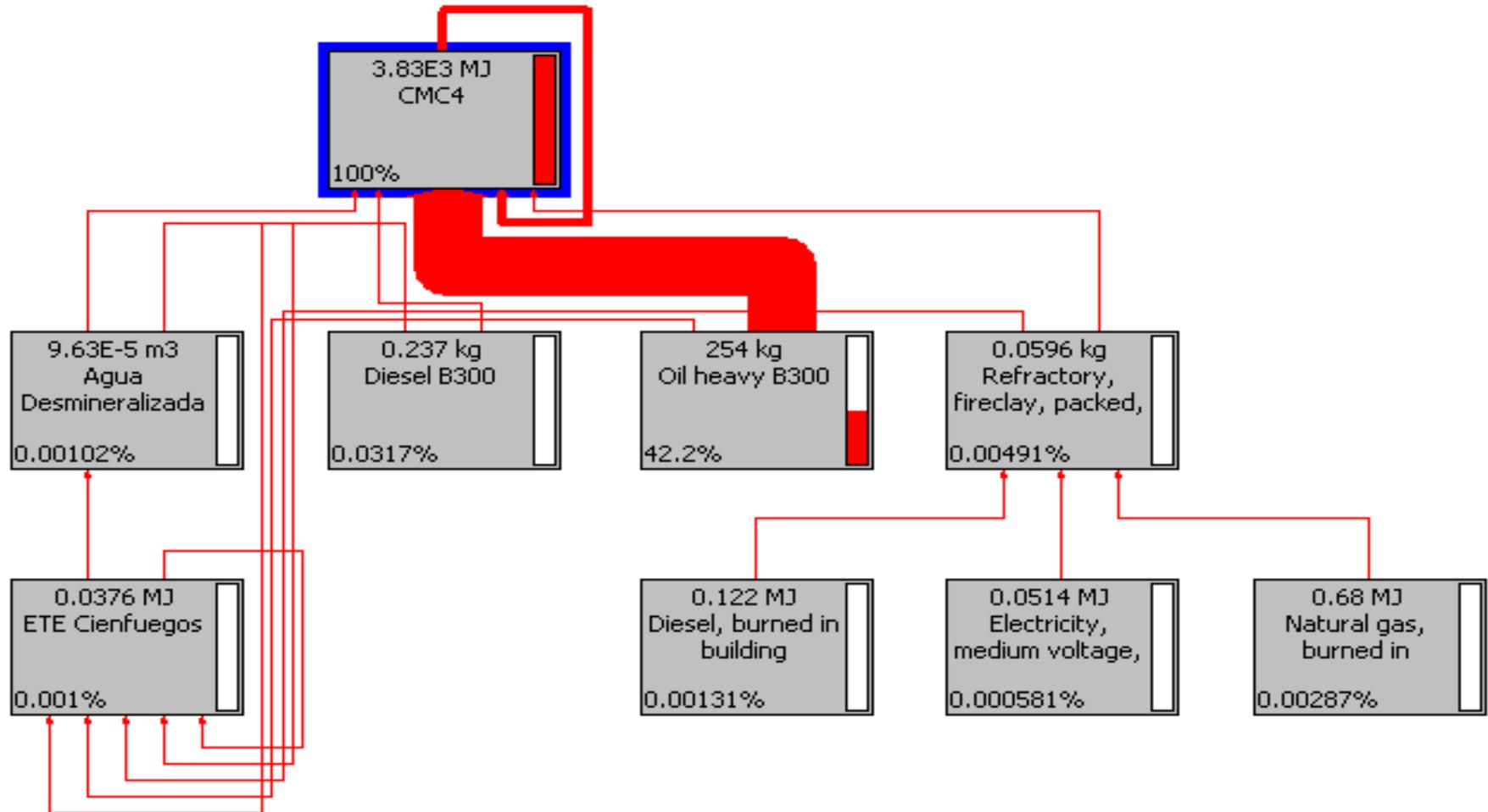
Mayores consumidores de la Unidad # 4 en el 2010



Anexo K. Diagrama de red para el proceso de CMC3. **Fuente:** Elaboración Propia a partir del software SimaPro 7.1.



Anexo L. Diagrama de red para el proceso de CMC4. **Fuente:** Elaboración Propia a partir del software SimaPro 7.1.



Anexo M. Inventario factorizado de materias primas y materiales y emisión de los contaminantes en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración propia.

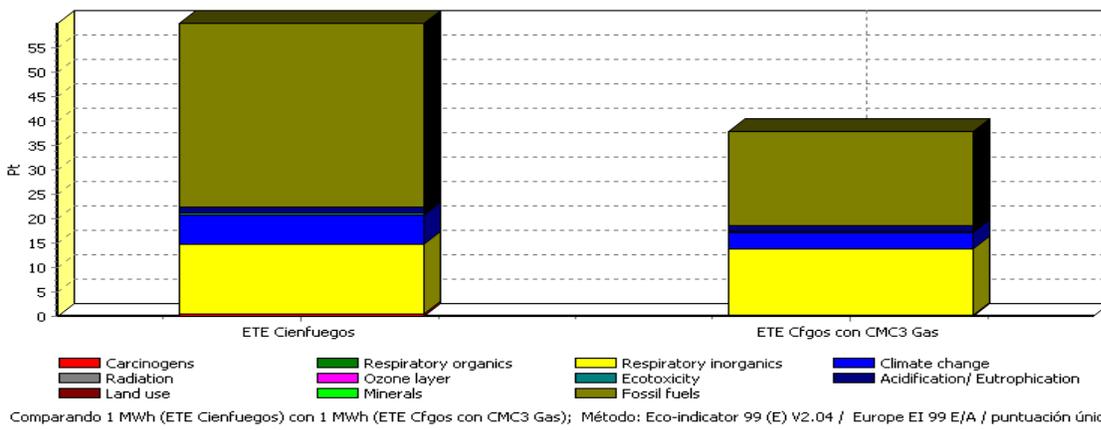
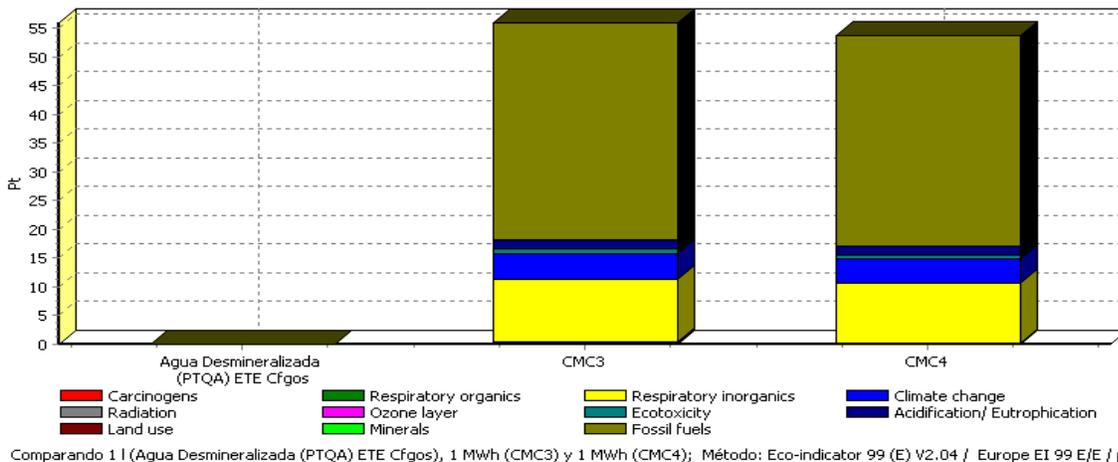
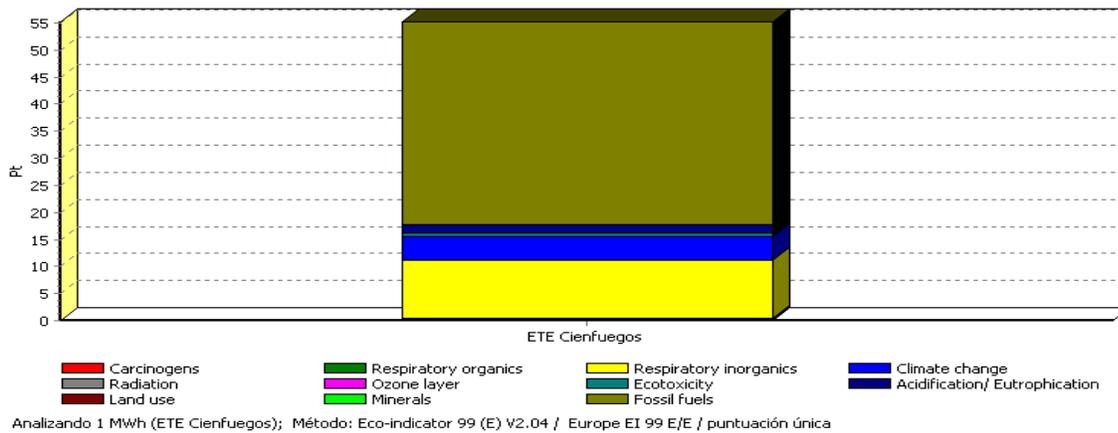
ENTRADAS	UM	CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Hidrógeno	g/MW.h	0,134098036	0,093540908	0,112432269
Aceite	litros/MW.h	0,007971084	0,007971084	0,007971084
Fosfato Trisódico(Na_3PO_4)	g/MW.h	0,233977607	0,234288934	0,234143919
Hidracina al 4%(H_4N_2)	g/MW.h	0,360946499	0,361426768	0,36120306
Sulfato Ferroso (FeSO_4)	g/MW.h	2,980910251	2,5991903	1,388497024
Diesel	g/MW.h	226,7041864	222,9481472	224,6976964
Fuel oil	t/MW.h	0,245565204	0,239207985	0,242169154
Agua de mar	litros/MW.h	242118,4542	215574,2776	227938,4574
Agua Tratada	litros/MW.h	0,088363719	0,089731327	0,0890943
Material refractario	t/MW.h	0,000145468	5,61425E-05	9,77502E-05
Insumo eléctrico	MW.h	0,060566185	0,059303803	0,060575561
Agua Cruda	m ³ /MW.h	0,049459668	0,047949509	0,048652936
SALIDAS	UM	CMC3	CMC4	ETE Cfgos
Generación Bruta	MW.h/año			1800508
Material refractario retirado	t/MW.h	0,000238473	0,000155951	0,00019439
Escoria de Caldera	t/MW.h	2,38473E-05	2,07935E-05	2,2216E-05
Aceite recuperado	litros/MW.h	0,014709182	0,014709182	0,014709182

Aguas Albañales

DBO5	mg/MW.h	1,009492876	0,000097	1,009492876
DQO	mg/MW.h	3,203956883	3,203956883	3,203956883
Aguas Oleosas				
Grasas y Aceites	mg/MW.h	1,974442768	1,974442768	1,974442768
Cantidad de lavados de CAR		6	1	7
Fósforo Total	mg/MW.h	1,645462458	0,023392713	0,778946831
Sólidos Suspendidos	mg/MW.h	4400,592605	7,693603289	2053,889791
DBO5	mg/MW.h	178,854615	1,29959515	84,00406996
DQO	mg/MW.h	1287,753228	10,3967612	605,3847025
Sólidos Sedimentables	mg/MW.h	13,41409613	0,051983806	6,276006549
Grasas y Aceites	mg/MW.h	53,90678097	1,091659926	25,69274894
Cobre (Cu)	mg/MW.h	2,629162841	0,005198381	1,227431369
Plomo (Pb)	mg/MW.h	0,35770923	0,012995952	0,173562128
Niquel (Ni)	mg/MW.h	156,1400789	0,366485832	72,92525221
Zinc (Zn)	mg/MW.h	1,30563869	0,025991903	0,622046667
Cadmio (Cd)	mg/MW.h	0,089427308	0,00259919	0,043043408
Cobalto (Co)	mg/MW.h	0,193162984	0,012995952	0,096917092
Cromo (Cr)	mg/MW.h	0,271859015	0,0054583	0,129546772
Vanadio (Va)	mg/MW.h	422,0968915	1,073465594	197,1846279
Hierro (Fe)	mg/MW.h	183,504835	2,032566815	86,56168148
Emisiones Gaseosas				
Dióxido de Carbono (CO ₂)	t/MW.h	0,83447	0,81271	0,822845728

Monóxido de Carbono (CO)	t/MW.h	0,000166	0,0001617	0,000163703
Metano (CH ₄)	t/MW.h	0,000008	0,0000078	7,89316E-06
Óxidos Nitrosos (NO _x)	t/MW.h	0,00156	0,00129	0,001415765
PM10 (Ref.5% O ₂)	t/MW.h	0,000529	0,0005112	0,000519491
Dióxido de Azufre (SO ₂)	t/MW.h	0,001104	0,001076	0,001089042
Oxido Dinitrógeno (N ₂ O)	t/MW.h	0,0000024	0,0000027	2,56026E-06

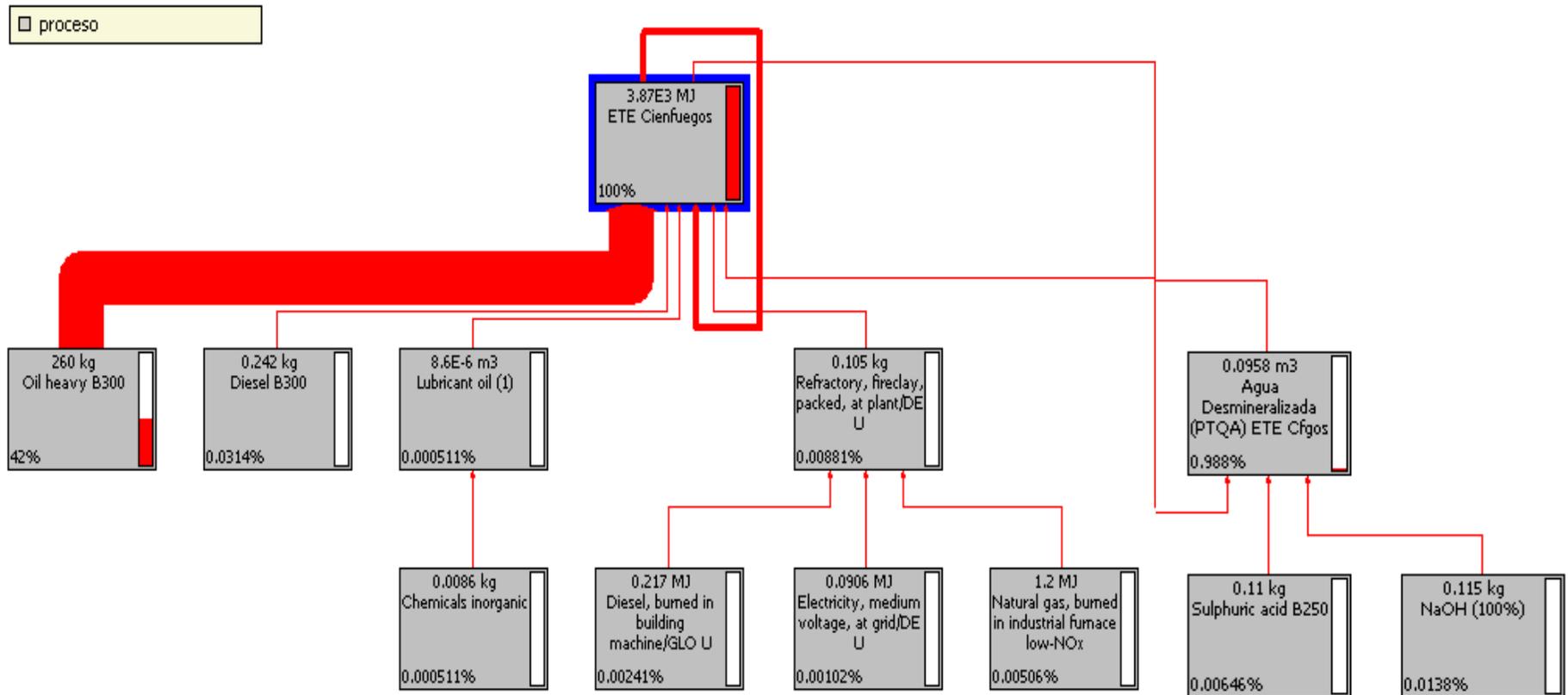
Anexo N. Evaluaciones por el modelo Eco-indicador 99 (E) en paralelo con los mismos procesos modelados por el IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro7.1.



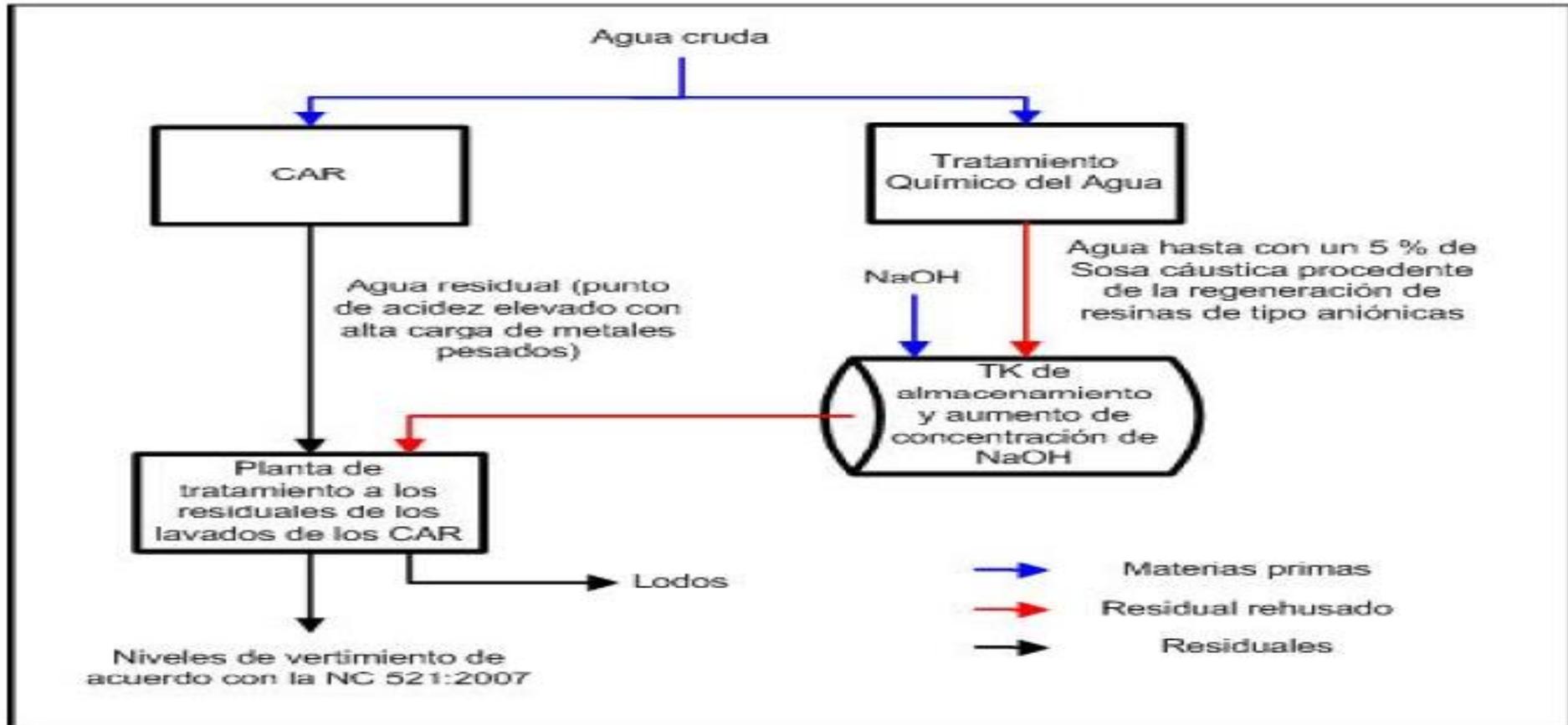
Anexo Ñ. Categoría de impacto de salida para una unidad funcional del proceso ETE Cfgos por el método IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración Propia a partir de SimaPro 7.1.

Categoría de impacto	UM	ETE Cfgos	% representado del Total
Carcinogens	Pt	0.00909	2.89
Non-carcinogens	Pt	0.000994	0.32
Respiratory inorganics	Pt	0.0781	24.83
Ionizing radiation	Pt	0.0000000458	0.000014
Ozone layer depletion	Pt	0.00125	0.04
Respiratory organics	Pt	0.000422	0.13
Aquatic ecotoxicity	Pt	0.000267	0.08
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000377	0.12
Terrestrial acid/nutri	Pt	0.00114	0.36
Land ocupation	Pt	0.0000000218	0.000069
Aquatic acidification	Pt	0	0
Aquatic eutrophication	Pt	0	0
Global warming	Pt	0.107	34.02
Non-renewable energy	Pt	0.117	37.20
Mineral extraction	Pt	0.0000000037	0.000011
TOTAL		0.314515	100

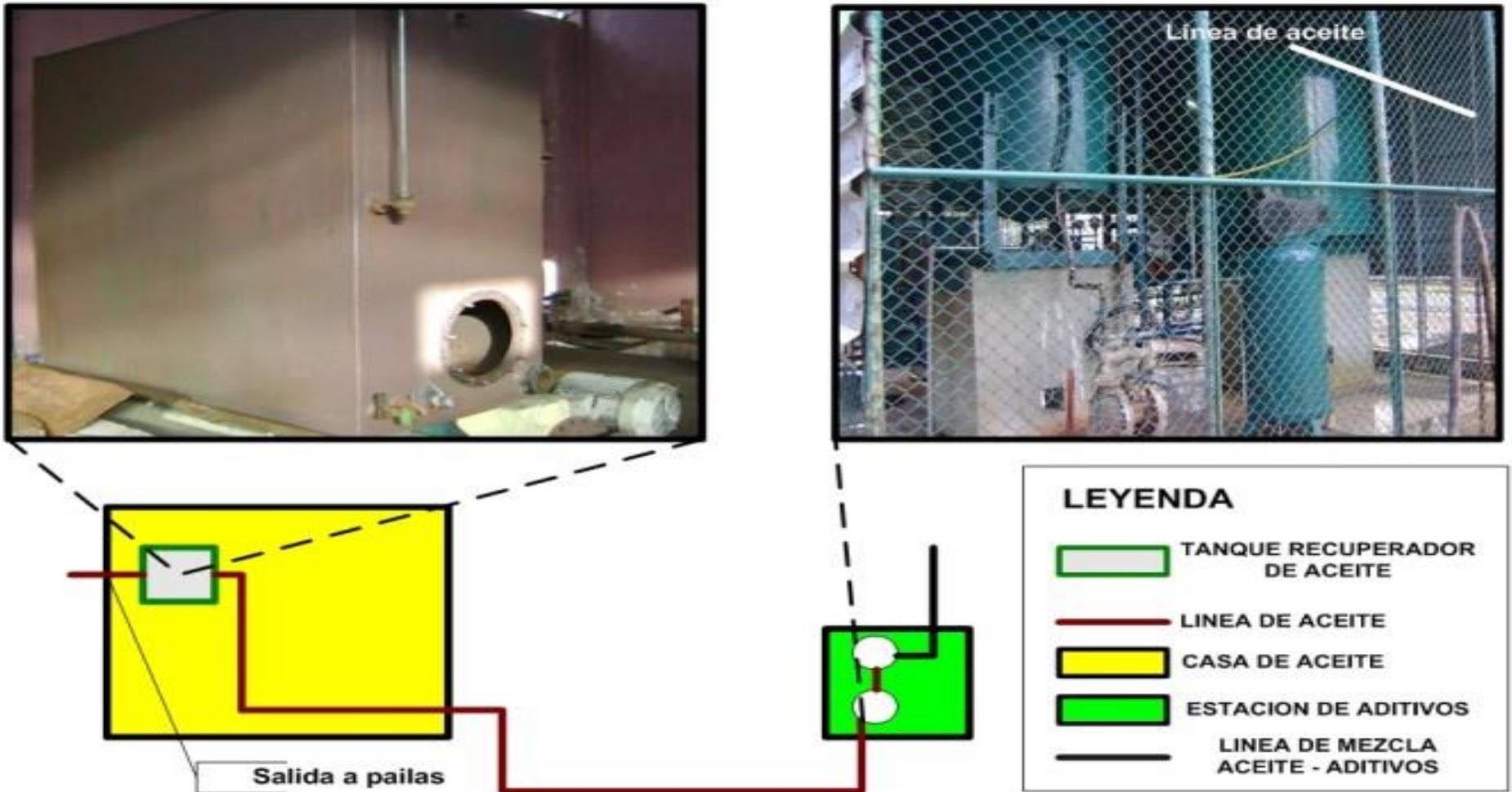
Anexo O. Evaluación del impacto ambiental para según categoría de daño 1 MW.h en el proceso de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Método: IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.



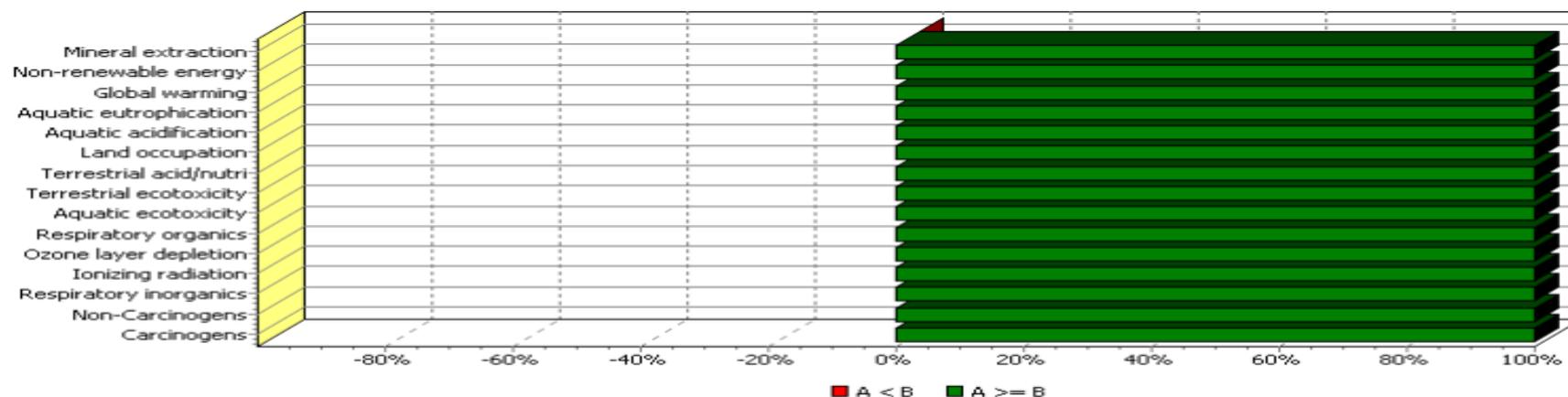
Anexo P. Descripción gráfica de la mejora propuesta No.5 para el reciclaje interno de las aguas básicas del proceso de regeneración de resinas en el de tratamiento de las aguas acidas provenientes del lavado de los Calentadores de Aire de tipo Regenerativos. **Fuente:** Elaboración propia.



Anexo Q. Diagrama del sistema propuesto para el aprovechamiento calórico del aceite recuperado. **Fuente:** Elaboración propia.



Anexo R. Analisis de incertidumbre entre el ACV actual y el propuesto por categoria de impacto. IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboracion propia a partir de SimaPro 7.1

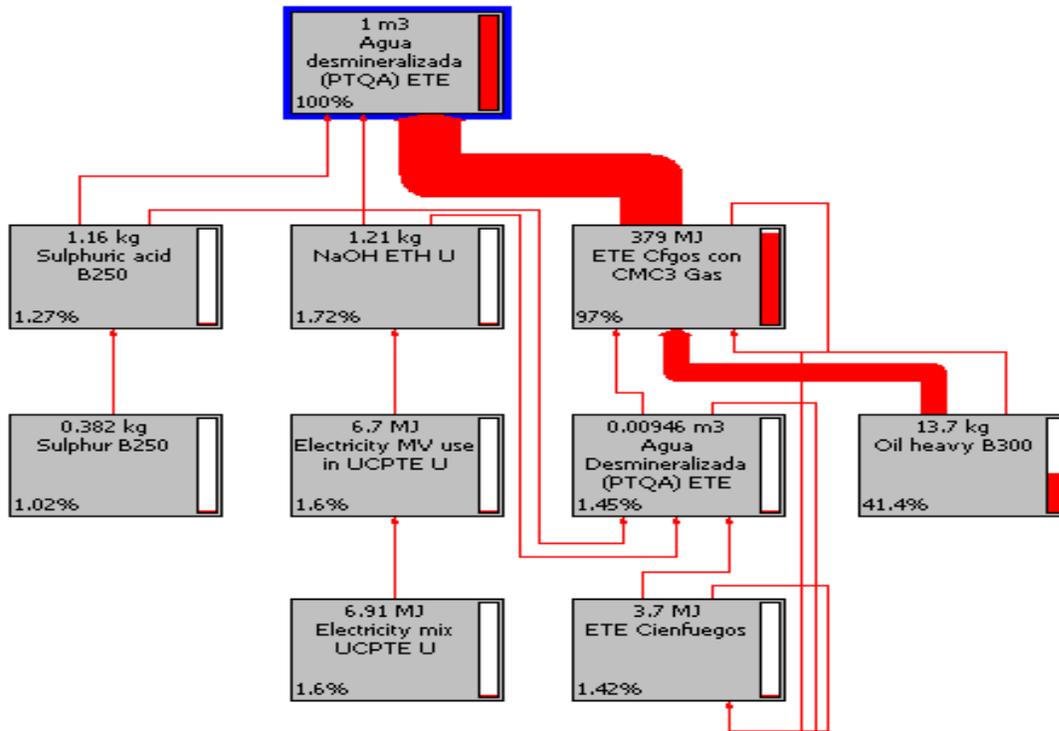


Análisis de incertidumbre de 1 MWh (ETE Cienfuegos) (A) menos 1 MWh (ETE Cfgos con CMC3 Gas) (B), método: IMPACT 2002+ V2.03 / IMPACT 2002+ , intervalo de confianza: 95 %

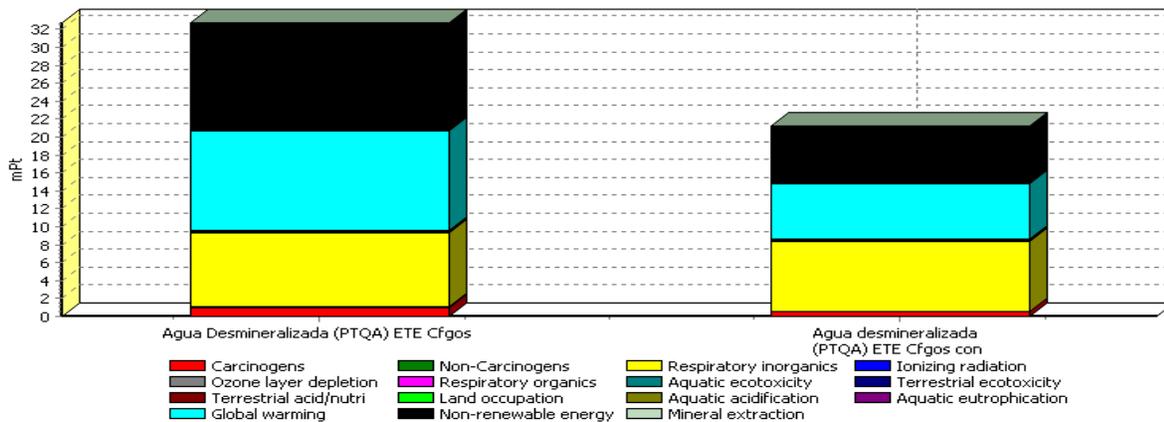
Categoría de impacto	△ A >= B	Mediana	Promedio	DS	CV (Coeficiente de variación)	2.5%	97.5%	Error estándar
Aquatic acidification	100%	0.746	0.746	2.01E-6	0.00027%	0.746	0.746	8.53E-8
Aquatic ecotoxicity	100%	3.53E4	3.53E4	0.128	0.000363%	3.53E4	3.53E4	1.15E-7
Aquatic eutrophication	100%	0.000721	0.000721	1.97E-8	0.00273%	0.000721	0.000721	8.64E-7
Carcinogens	100%	11.1	11.1	8.88E-6	7.98E-5%	11.1	11.1	2.52E-8
Global warming	100%	467	467	0.000353	7.55E-5%	467	467	2.39E-8
Ionizing radiation	100%	0.513	0.545	0.107	19.7%	0.48	0.795	0.00622
Land occupation	100%	0.000126	0.000127	3.9E-6	3.07%	0.000123	0.000136	0.000972
Mineral extraction	100%	4.85E-5	4.97E-5	6.71E-6	13.5%	4.08E-5	6.51E-5	0.00427
Non-Carcinogens	100%	1.22	1.22	5.6E-6	0.00046%	1.22	1.22	1.45E-7
Non-renewable energy	100%	8.6E3	8.6E3	0.0157	0.000182%	8.6E3	8.6E3	5.77E-8
Ozone layer depletion	100%	0.000409	0.000409	6.47E-10	0.000158%	0.000409	0.000409	5.01E-8
Respiratory inorganics	100%	0.0405	0.0405	5.83E-7	0.00144%	0.0405	0.0405	4.55E-7
Respiratory organics	100%	0.679	0.679	2.47E-7	3.64E-5%	0.679	0.679	1.15E-8
Terrestrial acid/nutri	100%	1.93	1.93	1.37E-5	0.00071%	1.93	1.93	2.24E-7
Terrestrial ecotoxicity	100%	316	316	0.0286	0.00907%	316	316	2.87E-6

Anexo S. Repercusión de las mejoras propuestas para los bloques generadores sobre el proceso de tratamiento químico de agua. IMPACT 2002+. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro7.1.

Diagrama de Red



Evaluación por impactos ambientales



Comparando 1 m3 (Agua Desmineralizada (PTQA) ETE Cfgos) con 1 m3 (Agua desmineralizada (PTQA) ETE Cfgos con CMC3 Gas); Método: IMPACT 2002-