

TERMOELÉCTRICA CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES



**“Comparación del impacto ambiental de
dos alternativas de producción de
energía en la Termoeléctrica de
Cienfuegos.”**

Tesis de Grado
INGENIERÍA INDUSTRIAL

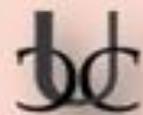
Guillermo Airam Piloto Cuellar

Tutores: Msc. Mailiú Díaz Peña

Msc. Berlan Rodríguez



CIENCIAS ECONÓMICAS
Y EMPRESARIALES



UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS
Carlos Rafael Rodríguez

CURSO
2011-2012



Carretera a O'Bourke # 914, Zona Industrial No. 1



República de Cuba

**Universidad de Cienfuegos
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

**Título: “Comparación del impacto ambiental de dos alternativas
de producción de energía eléctrica en la Termoeléctrica de
Cienfuegos”**

**Trabajo de Diploma
Ingeniería Industrial**

Autor: Guillermo Piloto Cuellar

**Tutor: Msc. Berlan Rodríguez Pérez
Msc. Mailiu Pérez Peña**

Cienfuegos, 2012.



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos: "Carlos Rafael Rodríguez" como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Industrial, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad.

Guillermo Airam Piloto Cuellar

Autor del trabajo

Los abajo firmantes, certifican que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científica y Técnica.
Nombres, Apellidos y Firma.

Tutor: MsC. Mailiu Díaz Peña

Computación
Nombre, Apellidos y Firma.

Tutor: MsC. Berlan Rodríguez Pérez



18 de junio del 2012

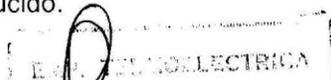
Año del 54 Aniversario del Triunfo de la Revolución

AVAL

Hago constar que el trabajo nombrado "Comparación del impacto ambiental de dos alternativas de producción de energía eléctrica en la Termoeléctrica de Cienfuegos" ha sido desarrollado íntegramente con datos validados obtenidos de la producción en la Termoeléctrica Cienfuegos durante el año 2010, estos datos son usados en los cálculos de los indicadores técnico-económicos y forman parte de la información con que se evalúa la empresa a nivel nacional y se estimula a los trabajadores en los diferentes sistemas de pagos por el cumplimiento de los indicadores productivos.

El trabajo realiza una comparación entre el fuel oil y el gas natural licuado evaluándolos en función de las categorías de impacto del Análisis del Ciclo de Vida de la energía eléctrica (ACV), con el uso de técnicas y herramientas de la carrera de Ingeniería Industrial, obteniendo a través de la herramienta informática openLCA los principales impactos medioambientales que resultan en la producción de electricidad con gas natural son: Agotamiento de los Recursos, Calentamiento Global, Acidificación y Eutrofización, que afectan al ecosistema y a los recursos mientras que para el fuel oil son: Agotamiento de los recursos (Uso de la Energía (Energy Use)), Calentamiento Global (Global Warming) y el Uso del Agua que afectan, a su vez, las materias primas y la salud humana.

Las mejoras más importantes consisten, en la conversión de las unidades para la quema de gas natural licuado, la cual brindará por concepto de sustitución de importaciones para el país un ahorro valorado en 51 243 608.78 CUC, al mismo tiempo que las mejoras permiten una disminución de las emisiones de CO₂ en 112,20 kg, una reducción de las emisiones de NO_x en 0,433883426 kg y un descenso en el uso de los recursos de 301,695582 kg para 1 MWh, permitiendo de manera general una disminución en las categorías de impacto relacionadas con el agotamiento de los recursos y el calentamiento global. Las mejoras permiten además reducir el uso de la energía (portadores energéticos) significativamente a 30,08 MJ por MWh producido.



Msc. Yeranis Zúñiga García
Director Técnico Termoeléctrica Cienfuegos



Pensamiento

"El hombre no posee el poder de crear vida. No posee tampoco, por consiguiente, el derecho a destruirla."

Mahatma Gandhi



Dedicatória

A mis padres y yayi



Agradecimientos

La gratitud es el sentimiento que nos obliga a estimar el beneficio o favor que se nos ha hecho o ha querido hacer, y a corresponder a él de alguna manera. Esta sensación está vinculada al agradecimiento y afecto personal, puro y desinteresado, compartido con otra persona, que nace y se fortalece con el trato. La gratitud, en definitiva, puede expresarse mediante palabras, objetos o ritos. Se trata de un sentimiento de reconocimiento hacia el prójimo o hacia la divinidad. Como culminación de estos cinco años debo darle las gracias:

A mis padres por el camino justo que me condujeron.

A Mimina, Lizet, Dianelys y Gainza por su cariño y apoyo.

A los Compañeros de Aula por los buenos y malos ratos que compartimos, especialmente amis amigos con los que compartí gratos momentos de complicidad: Darelis, Dayana, Darol, Roberto, Maydelis, Maday, Sarahit y Eliza.

A mis amigos Lecier, Basulto, Yailen y Lulu por brindarme su ayuda cuando la necesité.

A los Docentes:

Mailiu: por recibirme con tanto cariño y regalarme tu tiempo y tu amistad, ha sido un placer y un privilegio trabajar junto a ti.

Berlan: gracias por tu guía y por permitirme ser tu amigo.

Anibal: Por brindarnos tus conocimientos, por todos tus aciertos y por brindarme tu atención cada vez que le necesité.

A Jose Manuel por el apoyo incondicional que me ofreció para la realización de mi tesis de Diploma

A todos aquellos que de una forma u otra influyeron en mi formación brindando su granito de arena, gracias, muchas gracias.



Resumen

RESUMEN

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente, de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos. La presente investigación tiene como objetivo el uso de esta metodología para la comparación del impacto ambiental en la producción de energía en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos Carlos Manuel de Céspedes, a partir de fuel oil y gas natural Licuado(GNL), para ello primeramente se realiza un análisis crítico de bibliografías relacionadas con el tema, fundamentalmente la serie de normas NC-ISO 14 040, lo que permite proponer las técnicas más adecuadas que conllevan a la definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto ambiental y análisis de mejoras, mediante el método de evaluación de impacto ambiental de puntos intermedios y final: Eco-Speed.

Se aplicaron técnicas y herramientas de la ingeniería industrial las que posibilitaron la elaboración del inventario factorizado del proceso base de generación de energía para un MW.h que sirviera para la determinación y comparación del análisis del ciclo de vida, la huella ecológica e hídrica, en el que arrojó como resultado que el GNL es una mejor alternativa de producción ya que el mismo representa una disminución de un impacto ambiental comparado con el fuel de un 38.9%. A partir de los resultados obtenidos se propone un grupo de mejoras a las que se les aplica un análisis económico financiero.



Abstract

ABSTRACT

The life cycle analysis (LCA) is a tool used to evaluate the potential impact on the environment, product, process or activity throughout its life cycle by quantifying the use of resources. This research aims to use this methodology to compare the environmental impact of energy production in the Power Plant in Cienfuegos Carlos Manuel de Cespedes, from fuel oil and liquefied natural gas(LNG), for it is first a critical analysis of bibliographies related to the topic basically the standard series ISONC-14 040, which allows us to propose the most appropriate techniques that lead to the definition of objectives and scope, Inventory analysis, impact assessment and analysis improvements, by the method of environmental impact assessment of intermediate and final points: Eco-Speed.

Was applied techniques and tools of industrial engineering that enabled the development of the inventory process factored base for power generation MW.h serve for the determination and comparison of life cycle analysis, ecological footprint and water, in that resulted in the LNG is a better alternative production because it represents a reduction of environmental impact compared to a 38.9% fuel. From the results it proposes an improvement group to which is applied an economic and financial analysis.



Indice

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO I. “MARCO TEÓRICO REFERENCIAL”	26
1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE. ORIGEN Y EVOLUCIÓN.....	26
1.1.1. Indicadores del desarrollo sostenible.....	28
1.2 ECOEFICIENCIA	31
1.3 GESTIÓN POR PROCESOS	32
1.4 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL (SGA)	34
1.4.1. Características del Sistema de Gestión Ambiental.....	36
1.4.2. Importancia del Sistema de gestión ambiental.....	37
1.4.3. Herramientas de un Sistema de Gestión Ambiental.....	37
1.5 EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) COMO UNA HERRAMIENTA DENTRO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL.....	38
1.5.1. Importancia del ACV.....	42
1.5.2. Aplicación del ACV	43
1.5.3. Soporte Informático para el Ecodiseño en el Análisis del Ciclo de Vida.....	45
1.5.4. Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental	47
1.6. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	48
1.6.1 Tipos de contaminantes e impacto ambiental de los mismos, en Termoeléctricas.....	48
1.6.2 Características de la Industria Eléctrica en Cuba.....	49
CONCLUSIONES PARCIALES.....	54
CAPÍTULO II. “CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA A UTILIZAR”	56
2.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	56
2.1.1 Ecosistema de la Termoeléctrica	59
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CIENFUEGOS	60
2.3 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS, COMO PUEDEN SER LABORATORIOS, OFICINA TÉCNICA O SISTEMAS	62
2.3.1 Descripción de la Estructura Organizacional	62
2.4 NECESIDADES DE ESTUDIO	63
2.5 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).....	64
2.5.1. Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance	65
2.5.2. Etapa 2: Análisis de Inventario.....	68
2.5.3. Etapa 3: Evaluación del impacto.....	70
2.5.4. Etapa 4: Análisis de mejoras	82

CONCLUSIONES PARCIALES.....	83
CAPÍTULO III: “APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO”	85
3.1 ETAPA 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE	85
3.2 ETAPA 2: ANÁLISIS DEL INVENTARIO	87
3.2.1 Planta de Tratamiento Químico de Agua (PTQA).....	87
3.2.2 Generador de Vapor (Caldera) y sistemas de quemadores de la caldera	90
3.2.3 Generador eléctrico y Turbina	93
3.3 ETAPA 3: EVALUACIÓN DEL IMPACTO	96
3.4 ETAPA 4: ANÁLISIS DE MEJORAS.....	104
3.4.1 Análisis Económico	106
CONCLUSIONES PARCIALES.....	111
CONCLUSIONES GENERALES.....	114
RECOMENDACIONES	116
GLOSARIO.....	118
BIBLIOGRAFÍA	123
ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.



Introducción

INTRODUCCIÓN

"El desafío de cara al futuro no es tanto regresar al pasado, que será imposible, sino recuperar muchas de las buenas prácticas del pasado modernizándolas."

Joaquín Nieto

A Cualmente, en el mundo se ha diversificado la producción de energía eléctrica, de acuerdo a las exigencias tanto de consumidores domésticos (por el crecimiento de la población), como por los usos industriales a gran escala. La necesidad de incrementar la oferta eléctrica ha obligado al hombre a utilizar todo tipo de centrales, tanto es así que desde el mismo tiempo en que comenzó la revolución industrial a finales del siglo XVIII, se usaron motores para mover generadores eléctricos utilizando combustibles fósiles.

El consumo del gas natural para la producción de energía eléctrica, así como para uso en procesos industriales, se ha incrementado notablemente en los últimos años. En América del Sur, se han construido y construirán a futuro, más gaseoductos que permitan globalizar la venta de este combustible. Sus características químicas, demuestran que el gas natural, realmente es un combustible limpio que, es totalmente menos contaminante que cualquier otro derivado del petróleo. Su ventaja comparativa en materia ambiental en relación con el carbón o con el petróleo reside en el hecho de que las emisiones de dióxido de azufre son ínfimas y que los niveles de óxido nitroso y de dióxido de carbono son menores, de ahí que el mismo sea considerado como el combustible fósil de este siglo. Una mayor utilización de esta fuente de energía permitiría particularmente limitar los impactos negativos sobre el medio ambiente tales como: la lluvia ácida, la deterioración de la capa de ozono o los gases con efecto de invernadero.

Según el informe *Stern* de 2006, sobre la economía del cambio climático, el sector energético representa un 65% de las emisiones de gases de efecto invernadero. La industria de generación eléctrica constituye un cuarto de todas esas emisiones (Stern, 2006).

En el año 2002, los líderes de varios gobiernos del mundo y representantes de la industria y la sociedad civil se reunieron en el encuentro mundial para el Desarrollo Sustentable en Johannesburgo. Uno de los resultados de esta reunión, es un Plan de Implementación para cambiar los patrones no sustentables de consumo y producción. Entre los elementos principales del plan hay un llamado para: "mejorar los productos y servicios a la vez que se reducen los impactos en salud y medio ambiente, usando donde sea apropiado, modelos científicos *como el análisis de ciclo de vida (ACV)*"(Suppen, 2007).

Específicamente la industria energética en Cuba es una de las que provoca mayor impacto negativo sobre el medio ambiente. Alrededor del 90 % de la generación de electricidad en los últimos años se realizó con combustibles fósiles, lo que tiene un efecto determinante en las emisiones de este sector. Los principales contaminantes provenientes de la generación de electricidad en el país son el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

El análisis de ciclo de vida es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental de las nuevas tecnologías energéticas, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando se aplica el Análisis de Ciclo de Vida a la energía se pueden obtener resultados sorprendentes o inesperados, esto brinda el soporte y la motivación para realizar este trabajo. La energía, en este caso eléctrica, produce un impacto ambiental tanto en origen (fósil o renovable), producción, uso y tratamiento de residuos, como cualquier otro producto de consumo (Serrano & Dufour, 2008).

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, se encuentra entre las mejores del país en cuanto a su eficiencia y estabilidad dentro del SEN (Sistema Electro-energético Nacional) desde su fundación en el año 1968, por lo tanto, resulta de gran interés la optimización de sus procesos en busca de mejorar su interrelación con el medio ambiente. La electricidad es indispensable en todos los procesos empresariales en la actualidad, de ahí la importancia de llevar los mismos a mejoras de eficiencia técnica y ambiental. Esta Termoeléctrica se dedica a brindar el servicio de generación de electricidad al Sistema Electro-energético Nacional (aproximadamente el 16% de la demanda), la misma se encuentra situada en el centro sur de la isla de Cuba, donde transfiere la totalidad de su capacidad instalada tanto a la zona oriental, zona central, como a la zona occidental del país. Forma parte de la estructura de generación dentro del grupo de plantas térmicas, que conforman el 58 % de la generación total de la isla, y dentro de este grupo integrado por 9 termoeléctricas, representa el 12 % de la generación eléctrica.

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

- Sobre consumos del combustible base para la generación eléctrica. (El consumo anual se sobrepasó en 10 000 ton de combustible, lo que representó un gasto de 4267400 CUC)
- Los sobre consumos de agua.
- Las elevadas cargas contaminantes vertidas a la atmósfera y al medio receptor marino del cual se nutre su proceso fundamental. (Hubo un incremento de 129 000 000 m³ cargas contaminantes emitidas y 300mg/Nm³ de partículas a la atmósfera).

Como respuesta al aumento de la demanda nacional de electricidad en el país se están llevando a cabo nuevos proyectos con el objetivo de aumentar la generación eléctrica mediante formas más factibles para el país ya sea desde el punto de vista económico y ambiental, inmersa en estas transformaciones se encuentra la termoeléctrica de Cienfuegos, la cual se halla en la fase de concertación contractual y se ha planteado como meta la generación de electricidad a partir del gas natural licuado, como una alternativa menos agresiva al medio ambiente, a lo que contribuirá la regasificadora de Cienfuegos, una de las obras del desarrollo del polo petroquímico.

La organización respeta lo establecido en la Legislación Ambiental vigente pero tiene como objetivo seguir realizando mejoras continuas para cuantificar el impacto, y a pesar de que ya se han realizado estudios previos sobre la base de la evaluación de impacto medio ambiental (ACV) teniendo en cuenta los criterios ambientales, económicos y técnicos, los mismos han quedado limitado a la base de un solo escenario (fuel oíl), sin tener en cuenta como influiría la sustitución del combustible hacia otras alternativas más eficientes y menos contaminantes al medio ambiente, en este caso el gas natural licuado. A partir de estos elementos mencionados se establece la situación problemática de la presente investigación.

Basado en los aspectos abordados se plantea el problema de investigación.

Problema de investigación.

¿Cómo será el impacto ambiental del proceso de generación de energía eléctrica a partir del gas natural licuado en comparación al Fuel Oíl en la Empresa Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes de Cienfuegos?

Hipótesis.

El análisis del ciclo de vida del proceso de generación de energía eléctrica a partir del gas natural licuado permitirá que la Empresa Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes de Cienfuegos tenga una menor contribución a las categorías de impacto ambiental.

Definición de Variables.

Variable independiente: Análisis del Ciclo de Vida.

Variables dependientes: Categorías de Impacto Ambiental.

Conceptualización y Operacionalización de las Variables.

Análisis del Ciclo de Vida: es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto mediante: la compilación de un inventario de

entradas y salidas del sistema; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a estas entradas y salidas, y la interpretación de los resultados de las fases de inventario y de impacto con relación a los objetivos del estudio.

Esta variable se propone medirse mediante cuatro etapas, definición de objetivos y límites del sistema, análisis de inventario (entradas y salidas de los sistemas), análisis del impacto (clasificación, caracterización y valoración), y análisis de mejoras (de los productos y sus procesos), utilizando consulta de documentos del proceso, consulta a especialistas, balances de masa, mapeo de proceso (SIPOC), diagrama de flujo (IDEFO).

Categorías de Impacto Ambiental: Efectos producidos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema producto analizado. Estas deben 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.

Esta variable se propone medirse a partir de factores de caracterización y para esto se emplea el método de evaluación de impacto: Eco-Speed (incorporado al software openLCA).

La investigación es del tipo **correlacional**.

El **Objetivo General** de la investigación es:

Comparar el impacto ambiental de la producción de energía a partir del Gas natural Licuado en relación al uso del Fuel Oil con la aplicación de la metodología de ACV en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes.

Una vez determinado el Objetivo General de la investigación se hace necesario para dar cumplimiento al mismo llevar a cabo los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar el inventario del ciclo de vida de la producción de energía para 1 MW producida en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes, a partir del gas natural licuado.
2. Comprobar que la energía producida con gas natural licuado es menos contaminante que la producida con fuel oil
3. Valorar la factibilidad técnica y económica a partir del gas natural licuado como una opción de producción de energía de menor impacto ambiental.

Estos objetivos podrán ser llevados a cabo mediante las siguientes tareas de investigación

Tareas de Investigación:

- Realización del marco teórico a partir de la bibliografía existente sobre la temática y objetos de estudios.
- Conformación del inventario del ciclo de vida de la producción de energía para el Gas Natural Licuado.
- Cálculo de la huella ecológica y la huella hídrica.
- Comparar el impacto ambiental de la producción de energía con el uso del fuel y el uso del gas natural licuado.
- Diseñar un grupo de mejoras que permitan la generación de electricidad a partir del gas.
- Analizar la factibilidad técnica y económica de esta propuesta.
- Proponer un grupo de indicadores que controlen las emisiones contaminantes a la atmósfera resultantes de la producción de energía.
- Elaboración del trabajo de diploma.
- Defensa del trabajo de diploma.

La **justificación de la investigación** está dada por el interés que tiene la empresa en desarrollar un serio trabajo en cuanto a la mitigación de sus impactos ambientales entre sus procesos a partir de la búsqueda de alternativas más rentables y eficientes, en este caso la producción de energía con gas natural licuado, ya que el costo del combustible fue oíl, está valorado en 205807066,21 CUC/año y este es un proyecto que se pretende comenzar su ejecución a partir del presente año y por tal motivo se quiere determinar sus factibilidades, con respecto a la que se tiene hasta el momento, pues solo por concepto del precio del combustible, el gas genera un ahorro de 26,99 CUC/MWh; además de la aplicación de la metodología que aporta beneficios, entre los que se encuentran la descripción detallada de todas las entradas de materias primas al sistema y la identificación de los principales impactos ambientales para el gas natural licuado, al mismo tiempo de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.

Metodología aplicada en la investigación.

Métodos teóricos

- Análisis y síntesis de documentación especializada partir de la revisión de la literatura relacionada con la temática abordada.

Métodos empíricos

- Entrevistas, observación directa, tormenta de ideas, mapeo de procesos (SIPOC), diagrama de proceso (IDEFO), diagrama de Pareto, balance de masa, plan de acción (5W y 1H) y consulta de documentos para la recopilación de la información.

Novedad científica.

Consiste en la identificación de las categorías de daño e impacto para el gas natural licuado en la producción de energía eléctrica en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes a partir del Análisis del Ciclo de Vida, que se ha podido desarrollar sobre la base de la norma NC 14040.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente forma:

Capítulo I: Marco teórico.

En este capítulo se realiza una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre el análisis del ciclo de vida (ACV) y su aplicación en el sector de la energía, específicamente en las termoeléctricas. En esta síntesis se analizan los elementos más relevantes de la metodología en lo referente a los aspectos conceptuales y su aplicación en el sector energético.

Capítulo II: Caracterización de la empresa objeto de estudio y metodología a utilizar.

Se desarrolla una caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y se plantea la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica basada en la norma NC-ISO 14 040, así como la aplicación de herramientas de la carrera que fortalezcan el estudio realizado, proporcionándole un mayor nivel de autenticidad.

Capítulo III: Aplicación del procedimiento.

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar y analizar el impacto ambiental del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica, en busca de potenciales mejoras que respondan a los factores identificados como causas de los impactos medioambientales del proceso; comprobándose la factibilidad ambiental, económica y técnica de las mismas.



Capítulo 1

CAPÍTULO I. “MARCO TEÓRICO REFERENCIAL”

El propósito de este capítulo es presentar diversos aspectos teóricos con el objetivo de orientar el modo en que se lleva a cabo la investigación y proveer además, de un grupo de elementos cognitivos que permita una mejor comprensión del estudio.

En el **Anexo No. 1** se presenta el hilo conductor, donde se organizan todos los temas abordados en este capítulo.

1.1 Desarrollo Sostenible. Origen y evolución

El término **desarrollo sostenible**, **perdurable** o **sustentable** se aplica al desarrollo socio-económico y fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en la Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumiría en el Principio 3º de la Declaración de Río (1992): Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades¹

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) que se celebró en Río de Janeiro, Brasil del 3 al 14 de junio de 1999, en el vigésimo aniversario de la Primera Conferencia Internacional sobre Medio Humano (Estocolmo, 1972), se señaló al desarrollo sostenible como un objetivo factible en todo el mundo para preservar la vida de nuestro planeta, reconociendo la adopción de nuevas perspectivas de cómo producimos, como consumimos, cómo vivimos, cómo trabajamos, cómo nos relacionamos y cómo tomamos decisiones, generando un debate entre los gobiernos y sus ciudadanos acerca de cómo conseguir la sostenibilidad (Naciones Unidas, 2002).

"El desarrollo sostenible consiste en cómo satisfacer las necesidades de la gente hoy en día, sin afectar (o reducir) la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. No es un requerimiento final, sino un enfoque en la toma de decisiones. Reconoce, que los aspectos ambientales, sociales y económicos están interconectados, y las decisiones deben incorporar cada uno de estos aspectos para resultar como buenas decisiones a largo plazo"(Singhal, 2002).

¹PNUMA, WWF, IUCN, *Our Common Future, World Commission on Environment and Development. Brundtland, 1987 Informe Brundtland Nuestro Futuro Común*, elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el que, se formaliza por primera vez el concepto de desarrollo sostenible.

Esta última definición de desarrollo en los últimos años ha provocado un inusitado interés, en los analistas económicos y sociales, sobre todo en el marco de los espacios de poder políticos, ante el cada vez más notorio deterioro del medio ambiente, amenazando la existencia de las futuras generaciones de la humanidad, por el peligro que conlleva el crecimiento acelerado de la industria desmesurada.

Otras definiciones sobre desarrollo sostenible se pueden encontrar en el **Anexo No.2**



Figura 1.1 Esquema de los tres pilares del desarrollo sostenible

Según (Sterling, 2002), el desarrollo sostenible es un concepto que incorpora el sostenimiento ecológico, social, económico y cultural, como acepciones del concepto de sostenibilidad²:

En términos más generales, las políticas de desarrollo sostenible afectan a tres áreas: económica, ambiental y social. En apoyo a esto, varios textos de las Naciones Unidas, incluyendo el Documento Final de la Cumbre Mundial de 2005³, se refieren a los tres componentes del desarrollo sostenible, que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como "pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente".

La Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural (UNESCO, 2001) profundiza aún más en el concepto al afirmar que "... la diversidad cultural es tan necesaria para el género humano como la diversidad biológica para los organismos vivos". En esta visión, la diversidad cultural es el cuarto ámbito de la política de desarrollo sostenible⁴.

Condiciones para el desarrollo sostenible

Los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles (Bartlett, 1999):

1. Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.

²El desarrollo sostenible, Principio y objetivo común de la sociedad y el mercado, en la UE de nuestros días. Yábar, (2002) Catedrática de Economía Aplicada Facultad de Derecho Universidad Complutense de Madrid.

³ Documento Final de la Cumbre 2005 Resolución aprobada por la Asamblea general de Naciones Unidas. Aprobado el 24/10/2005

⁴Declaración Universal de la UNESCO sobre la diversidad cultural. Adoptada por la Conferencia General de la UNESCO en su 31ª reunión el 2 de noviembre del 2001.

2. Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
3. Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

1.1.1. Indicadores del desarrollo sostenible

Los indicadores ambientales son mecanismos que articulan los objetivos de sostenibilidad y su importancia radica en que, sectorial o integralmente, son formulados en un contexto único e irrepetible a nivel social, administrativo territorial. Según la forma, información seleccionada y relaciones preestablecidas entre los elementos considerados significativos de evaluar, obtendremos las claves que nos indican la interpretación del ideal de sostenibilidad impulsada por sus gestores. Entre muchos de los indicadores que existen, se encuentra la huella ecológica y la huella hídrica (Garrido et al., 2010).

Huella Ecológica

La huella ecológica mide el área de tierra biológicamente productiva para proporcionar los recursos renovables que la gente utiliza, e incluye el espacio necesario para infraestructuras y la vegetación para absorber el dióxido de carbono (CO₂). También muestra una tendencia constante: la del crecimiento continuo (**Figura 1.2**). En 2007, el año más reciente del que se dispone de datos, la huella excedió la biocapacidad de la Tierra, el área realmente disponible para producir recursos naturales y absorber CO₂, en un 50%. Globalmente, la huella ecológica de la humanidad se ha duplicado desde 1966. Este crecimiento de la translimitación ecológica se debe en gran medida a la huella del carbono, que ha aumentado 11 veces desde 1961 y más de la tercera parte desde la publicación del primer Informe Planeta Vivo en 1998. Sin embargo, no todo el mundo tiene la misma huella y hay diferencias enormes entre países, especialmente entre los de diferente nivel económico y de desarrollo (WWF Internacional et al., 2010).



Figura 1.2. Huella Ecológica Global La demanda humana sobre la biosfera ha aumentado más del doble entre 1961 y 2007 (GFN, 2010).

La definición más empleada plantea que la Huella Ecológica es: “El área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistema acuático) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida específico indefinidamente, donde sea que se encuentre esta área” (Wackernagel & Rees 1996).

Sin embargo, el autor está en correspondencia con la definición que ha sido modificada en el 2007 por *Global Footprints Network* (GFN), y en la que participan Wackernagel y Rees, la cual se recoge en (Carballo, 2009), y plantea que: “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”.

A escala global, la huella ecológica ha superado la capacidad de generación de recursos del planeta desde la década de 1980. La huella correspondiente a 1961 se estimaba en un 70% de la capacidad de regeneración de la Tierra. En la década de 1980 el consumo alcanzó el total disponible, y en 1999 excedió la disponibilidad planetaria. Ahora la humanidad está consumiendo el 120% de lo que produce el planeta. Traducido a términos de economía doméstica, estamos gastando por encima de nuestro cotidiano sueldo mensual y cubriendo el déficit haciendo uso de la herencia que nos dejaron los abuelos (Bueno, 2001).

Huella ecológica corporativa o empresarial (HEC).

Algunos estudios recomiendan que la HEC de bienes y servicios se limite a la estimación de las emisiones directas realizadas por la empresa que los produce. En otros casos, se consideran también las generadas indirectamente, considerando las emisiones producidas en la cadena de suministradores de los que se abastece la empresa para obtener sus productos (Wiedmann & Minx, 2008).

Métodos de Cálculo de la HEC

Existen diferentes alternativas metodológicas que estiman la HEC. El método compuesto de las cuentas contables (MC3)(Doménech, 2007), la PAS 2050 (Carbon Trust, 2007), la aproximación de los componentes (Simmons & Chambers, 1998) ; (Chambers & Lewis, 2001) o la aplicación de técnicas input-output en este contexto (Murray & Dey, 2007); (Wiedmann & Lenzen, 2009); (Wiedmann, 2009) son propuestas que coinciden en los objetivos, empleando medios distintos para obtenerlos. De ahí que existan diferencias relevantes en términos del método de cálculo y

algunas asunciones presentes en la estimación del indicador (actividades incluidas, uso de factores de equivalencia y rendimiento). La HEC de una empresa será, probablemente, notablemente diferente, en función de la alternativa elegida⁵(Carballo, 2009).

Huella hídrica

En 1993, el investigador John Anthony Allan, del *King's College* de Londres, acuñó el concepto "Agua Virtual", para definir el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o para facilitar un servicio. Posteriormente, en el año 2002, Argén Hoekstra profesor de la Universidad Twente Holanda acuñó el término de "huella hídrica" para obtener un indicador que relacionara el agua con el consumo a todos los niveles de la población (Romero, 2004).

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. Por otro lado se entiende por huella hídrica per-cápita el resultado de la división de la huella hídrica total del país entre la cantidad de habitantes.(Quintero et al., 2008).

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 (WWF Internacional et al., 2010):

- **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.

⁵A nivel de HE de poblaciones, la estimación de la HE de Nueva Zelanda empleando métodos de cálculo basados en diferentes hipótesis propició importantes diferencias, con un máximo de 9,6 ha/hab. y un mínimo de 3,4 ha/hab. (McDonald & Patterson, 2003).

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 & Hoekstra, 2004).

La huella hídrica de la producción proporciona una segunda medida de la demanda humana sobre los recursos renovables y muestra que 71 países están experimentando actualmente algún estrés sobre las fuentes de agua azul, esto es, fuentes de agua que utiliza la gente y no es devuelta, siendo de moderado a grave en cerca de las dos terceras partes de ellos. Esto tiene implicaciones muy importantes para la salud de los ecosistemas, la producción de alimentos y el bienestar humano, y es muy probable que sea agravado por el cambio climático (WWF Internacional et al., 2010).

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, del mismo 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.

Se puede decir entonces que, estos indicadores son herramientas generales, confiables, detalladas y flexibles, permitiendo a través de su análisis desarrollar estrategias y políticas, que desde el ámbito de la sostenibilidad empresarial y la responsabilidad social corporativa, miden como se manifiesta el desarrollo sostenible, aunque es válido aclarar que por sí solas no constituyen un cambio en el aumento o disminución de la sostenibilidad ya que las mismas solamente evalúan las tendencias de consumo, así como las necesidades o capacidades de asimilación sostenible. El principal medio a través del cual las empresas contribuyen al desarrollo sostenible y al mismo tiempo consiguen incrementar su competitividad, es la ecoeficiencia. La ecoeficiencia se halla estrechamente ligada al desarrollo sostenible ya que equivale a optimizar tres objetivos: crecimiento económico, equidad social y valor ecológico.

1.2 Ecoeficiencia

En líneas generales se ha convenido que se obtiene ecoeficiencia por medio del suministro de bienes y servicios a precios competitivos, que satisfagan las necesidades humanas y den

calidad de vida, al tiempo que reduzcan progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida, a un nivel por lo menos acorde con la capacidad de carga estimada de la Tierra (OCDE, 1998).

Dentro de las definiciones de ecoeficiencia se encuentran las siguientes:

Proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta (WBCSD, 1992)⁶.

Es un enfoque que apunta a desarrollar acciones “de tal forma que el bienestar de la sociedad aumente y, al mismo tiempo, los perjuicios sobre el medio ambiente disminuyan” (Gobierno Vasco, 2003).

Operar de manera ecoeficiente significa pues aunar los conceptos de desarrollo económico sostenible y protección ambiental, en un marco de aplicación a procesos concretos del sector productivo. La ecoeficiencia por eso ha sido calificada de una nueva “revolución tecnológica”. La ecoeficiencia es la manera en que se mide la vinculación entre economía y medio ambiente en una perspectiva práctica de la sostenibilidad (Leal, 2005).

Ecoeficiencia consiste en un mejoramiento ambiental en la producción de bienes y servicios obteniendo rentabilidad económica, es decir, involucra un aumento del valor del producto mediante la disminución en el consumo de materiales, energía y con reducción de las emisiones, estas consideraciones también son válidas a lo largo de la cadena de valor del producto y para los suministros (Livert Aquino, 2011).

Los Principales objetivos y criterios para la ecoeficiencia se encuentran en el **Anexo No.3**.

Para su aplicación, la Ecoeficiencia requiere de herramientas que ayuden a los empresarios a traducir en acciones sus preceptos y a medir el nivel de eficiencia ambiental de sus organizaciones, algunas de las más empleadas pertenecen a la gestión ambiental, en caso de que se desee abordar más en cuestión, consultarla **Guía para la Ecoeficiencia, Fundació Fórum Ambiental**.

1.3 Gestión por procesos

Para comprender el enfoque basado en procesos es necesario conocer qué se entiende por proceso. Según (Zaratiegui, 1999), se pueden definir como (...) “secuencias ordenadas y

⁶World Business Council for Sustainable Development Cumbre de la Tierra en Río, 1992

lógicas de actividades de transformación, que parten de unas entradas (informaciones en un sentido amplio —pedidos datos, especificaciones—, más medios materiales —máquinas, equipos, materias primas, consumibles, etcétera), para alcanzar unos resultados programados, que se entregan a quienes los han solicitado, los clientes de cada proceso”. Se puede inferir que la gestión por proceso es la forma de gestionar cualquier organización basada en sus procesos, garantizándose así la satisfacción del cliente final, no obstante (Caselles Joana, 2003) clasifica a la gestión por procesos como un sistema de organización empresarial basado en los principios de la calidad total, que aporta a la organización eficacia y flexibilidad, optimizando los resultados, y adaptándose a los nuevos requerimientos de los clientes, mejorando así la calidad de los servicios ofertados, la satisfacción del cliente y la implicación de los profesionales.

Existen diversas categorías de procesos, pero generalmente se clasifican en: estratégicos, clave y de apoyo⁷(Pérez Rave et al., 2007).

Los procesos claves, también conocidos como procesos primarios, críticos o misionales, son aquellos que inciden directamente en la satisfacción de los clientes y están estrechamente asociados a la razón de ser de la organización. En el ámbito del trabajo de campo, estos procesos pueden interpretarse como aquellos directamente relacionados con la actividad investigativa.

Los procesos de apoyo son los encargados de apoyar y respaldar a los procesos clave, de modo que éstos puedan cumplir con la misión que los caracteriza. Haciendo énfasis en el trabajo de campo, la gestión de recursos, de contratos y de viajes, corresponden a procesos de apoyo, pues no aportan valor, sino que son necesarios para el buen funcionamiento de los procesos clave.

La categoría de procesos estratégicos hace referencia a aquellos encargados del pilotaje de la organización, éstos permiten definir la estrategia, los objetivos y las políticas, y desplegarlas a los diferentes niveles de la organización.

El Mapa de procesos generales de la empresa deberá reflejar todos los procesos que se desarrollan en las organizaciones, de forma tal que puedan ser clasificados en tres categorías fundamentales (**Anexo No. 4**).

La certificación según las normas de Calidad ISO 9000 se está convirtiendo en un requisito indispensable para que las empresas compitan en el mercado. También se ha visto una mayor

⁷ L. Dueñas, H. García y J. Espinoza (2004). “Caracterización de un Sistema de Gestión de Información Científico Tecnológica con enfoque a procesos: garantía para la mejora continua. Estudio de caso”

preocupación por la seguridad y salud en el trabajo con el fin de prevenir los riesgos laborales en las empresas debido a que es el operario el motor impulsor de toda organización. Además, el medio ambiente se está incorporando como una variable adicional a la competitividad de las empresas, influyendo de una forma cada vez más notable en sus relaciones con clientes y proveedores (Gil Martínez, 2010).

Desde esta perspectiva, la Integración de los Sistemas de Gestión de Medio Ambiente, de la Calidad y la Seguridad se presenta como una alternativa válida y necesaria para que las organizaciones puedan afrontar con éxito los retos que les depara el siglo XXI.

Se puede definir el Sistema de Gestión Integrada como “el conjunto de la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día la política de la empresa” (González Glez et al., 2006) .

De este modo, el SGI se aplica a todas las actividades relativas a la calidad de un producto o servicio, a las que presenten riesgos para la sociedad y a aquellas que puedan dañar el medio ambiente, existiendo una influencia mutua entre ellas.

Estas tres líneas de actuación, calidad, medioambiente y prevención de riesgos, aparentemente diferentes, en la práctica industrial, suelen concurrir en un solo departamento, servicio, cargo o área, según el tamaño de la organización y constituyen la base sobre la que se deberían asentar los principios de cualquier empresa.

1.4 Sistema de Gestión Ambiental (SGA)

Se entiende como Gestión Ambiental al conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el medio ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. En su concepción más amplia, la gestión ambiental es un proceso permanente y de aproximaciones sucesivas en el cual diversos actores públicos y privados y de la sociedad civil desarrollan un conjunto de esfuerzos específicos con el propósito de preservar, restaurar, conservar y utilizar de manera sustentable el medio ambiente (Rodríguez & Espinoza, 2002). A partir de aquí, y según el criterio de varios autores, se define al Sistema de Gestión Ambiental como:

Un proceso cíclico de planificación, implantación, revisión y mejora de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar su actividad garantizando el cumplimiento de sus objetivos ambientales (Martínez, 2003).

Otra definición dada por la ISO plantea que el sistema de gestión ambiental es parte del sistema de gestión de una organización, empleada para desarrollar e implementar su política ambiental y gestionar sus aspectos ambientales (ISO 14001: 2004).

Un SGMA es el marco o el método de trabajo que sigue una organización para lograr y mantener un determinado comportamiento de acuerdo con las metas que se hubiere fijado y como respuesta a normas, riesgos ambientales y presiones tanto sociales como financieras, económicas y competitivas en permanente cambio” (Conesa & Fernández, 2005).

Entonces según el criterio del autor se puede concebir al SGA como una parte del sistema de la dirección general que contiene las actividades de planeación, responsabilidades, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implantar, alcanzar y mantener la política ambiental.

La mayoría de los sistemas de gestión ambiental están contruidos bajo el modelo: "Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar", lo que permite la mejora continua basada en:

- **Planificar**, incluyendo los aspectos ambientales y estableciendo los objetivos y las metas a conseguir.
- **Hacer**, implementando la formación y los controles operacionales necesarios.
- **Comprobar**, obteniendo los resultados del seguimiento y corrigiendo las desviaciones observadas.
- **Actuar**, revisando el progreso obtenido y efectuando los cambios necesarios para la mejora del sistema.

En la actualidad existen dos normas fundamentales en las que se basa el diseño de los Sistemas de Gestión Ambiental:

1. ISO-14001, promovida por ISO y aceptada en todo el mundo.
2. EMAS, promovida por la Unión Europea, siendo esta más estricta que la primera.

Una comparación entre estas normas se encuentra en el **Anexo No.5**, de la que se infiere a las EMAS como grupo de normas más estrictas que las ISO-14001.

La Gestión Medioambiental hace referencia a todas las actuaciones que contribuyen a:

- Cumplir los requisitos de la legislación medioambiental vigente.
- Mejorar la protección ambiental.

- Reducir los impactos de la propia organización sobre el medio ambiente al controlar los procesos y actividades que los generan.

Todas estas actividades, de forma conjunta y planificada dentro de una organización, conformarán el Sistema de Gestión Medioambiental, que proporciona una metodología estructurada dirigida hacia la mejora continua.

El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso, además tienen la responsabilidad sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor.

La Gestión Medioambiental hace referencia a todas las actuaciones que contribuyen a (Peralta, 2011):

- Cumplir los requisitos de la legislación medioambiental vigente.
- Mejorar la protección ambiental.
- Reducir los impactos de la propia organización sobre el medio ambiente, al controlar los procesos y actividades que los generan.

1.4.1. Características del Sistema de Gestión Ambiental

Un Sistema de Gestión Ambiental se estructura usualmente con base en los siguientes componentes: La definición de la política y los compromisos ambientales de la empresa, el análisis ambiental de la actividad por desarrollar, la identificación e implementación de las medidas de manejo ambiental, el seguimiento y monitoreo, y la evaluación de los resultados, como se indica de manera esquemática en la **Figura. 1.3**, y se explica en los párrafos siguientes.



Figura 1.3: Estructura típica del sistema de gestión ambiental. Fuente:(Unión de Petróleos de México, 1996).

El sistema de gestión ambiental consta, como se ve, de cinco componentes cuyo eje central es el compromiso de la empresa o entidad responsable del proyecto exploratorio. Sin un compromiso formal y claro de la empresa con respecto a su responsabilidad ambiental no podrá tener éxito ningún tipo de gestión que se pretenda adelantar para mejorar las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la actividad.

1.4.2. Importancia del Sistema de gestión ambiental

La importancia principal del SGA es la determinación de elementos que deben considerar las organizaciones en materia de protección medioambiental para asegurar que en el desarrollo de sus actividades se tiene en cuenta la prevención y la minimización de los efectos sobre el entorno. Se basan en la idea de integrar actuaciones potencialmente dispersas de protección medioambiental en una estructura sólida y organizada, que garantice que se tiene en cuenta el control de las actividades y operaciones que podrían generar impactos medioambientales significativos (Conesa & Fernández, 2005). En un SGA claro están siempre presentes ciertas ventajas así como algunas desventajas también, las mismas se pueden encontrar en el **Anexo No.6.**

Existen diferentes grados de desarrollo de un SGA y diferentes alternativas para su implantación. La tendencia más generalizada en la actualidad es la implantación de los SGA según la norma de ámbito internacional ISO 14001 frente al sistema europeo EMAS, ya que la primera cuenta con reconocimiento y validez a nivel mundial, mientras que el segundo queda limitado al ámbito europeo (Cordero & Pérez, 2010), aunque como se dijo anteriormente las EMAS constituyen un grupo de normas mucho más estrictas que las ISO 14001.

1.4.3. Herramientas de un Sistema de Gestión Ambiental

La gestión ambiental se nutre de una gran cantidad de herramientas metodológicas, que se integran, asocian y coordinan para administrar una dada situación. Entre éstas, algunas son de tipo predictivo, como los análisis de ciclos de vida (LCA en inglés), brindando conocimientos muy detallados acerca de materiales, procesos y residuos, información que resulta muy importante para la toma de decisiones. Los estudios de impacto ambiental (EslA), y en general las evaluaciones ambientales, no solo son herramientas de diagnóstico sino que también incluyen medidas de acción e intervención, agrupadas en los denominados Planes de Gestión Ambiental (PGA). Sin entrar en detalles técnicos, todas estas herramientas cuando son aplicadas sobre un proyecto en funcionamiento, siempre requieren una reingeniería o modificación de materias primas, procesos y servicios, por lo cual necesariamente deben ser precedidas de un adecuado diagnóstico (Martin, 2008).

Existen normas que tienden a estandarizar los procedimientos de gestión ambiental, como la serie de ISO 14000, Herramientas para el Desarrollo Sustentable que sirven como sostén y guía para la aplicación de distintas herramientas de gestión, pero que de por sí no son de efectividad intrínseca.

La mayor efectividad de las herramientas de gestión ambiental se logra cuando son aplicadas *a priori*, no sólo en términos ambientales sino también económicos y sociales, logrando una mayor eficiencia en el uso de materias primas y energía, y una reducción en la generación de emisiones y el costo asociado a su tratamiento. En resumen, la gestión ambiental conceptualmente debe ser un proceso continuo, de aplicación permanente, sirviéndose de las herramientas ya conocidas y aquellas que surgen del desarrollo tecnológico y del avance del conocimiento, instrumentadas, aplicadas e interrelacionadas en distintos momentos de acuerdo a cada caso o situación en particular, pero conformando una estrategia sólida y permanente de política ambiental.

En el **Anexo No.7** se abordan más detalladamente algunas de las principales herramientas hoy disponibles en los Sistemas de Gestión Ambiental de producción o producto.

Tabla 1.1: Herramientas conceptualmente similares usadas en los sistemas de Gestión Ambiental.

Fuente:(Cordero & Pérez, 2010).

RA-Risk Assessment	Análisis de riesgo ambientales
EIA-Environmental Impact Assessment	Estudio del impacto ambiental
E Au-Environmental Auditing	Auditoría ambiental
EPE-Environmental Performance Evaluation	Evaluación del comportamiento ambiental
SFA-Substance Flow Analysis	Análisis del flujo de sustancia
EMA- Energy and Material Analysis	Análisis de material y energía
ISCM- Integrated Substance Chain Management	Gestión integral de sustancia
PLA-Product Line Analysis	Análisis de línea de producto
LCA-Life Cycle Assessment	Análisis del ciclo de vida

1.5 El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta dentro de la Gestión Ambiental

Antecedentes ACV a nivel mundial (Rieradevall, 2009):

Los estudios en esta área se iniciaron prácticamente en los años 70 de forma global y, en concreto, en el sector energético, como consecuencia de la reducción de recursos disponibles en el mercado a causa del embargo del petróleo. La mayoría de los estudios realizados durante

este período todavía estaban localizados por sectores de producción nacional y no a productos concretos. Evolución histórica y tendencias del análisis del ciclo de vida, **(Ver Anexo No.8)**.

En los años ochenta, en la mayoría de los estudios, los balances de energía, materia y residuos todavía se aplicaban de forma separada. En este período, las primeras mejoras metodológicas fueron aportadas por el Programa de Inventario de descargas de tóxicos aplicado en Estados Unidos y por los trabajos de la SETAC⁸, relativos a los métodos internacionales de mejora de los efectos ambientales y el desarrollo de la metodología ACV.

En la década de los noventa, se avanzó en la metodología de los ACV, siendo destacables las orientaciones de la SETAC respecto a sus diferentes fases. En la primera década del siglo 21 las acciones están centradas en la aplicación generalizada mediante la gestión del ciclo de vida de los productos un ejemplo es el programa *Life Cycle Initiative* (Remmen et al., 2007).

Existen varios países que han liderado el ACV en el resto del mundo, un grupo considerable de los mismos se pueden encontrar en (Vargas, 2008).

Qué se entiende por ACV

Según la literatura existen numerosos estudiosos y especialistas que han definido y aportado en conocimientos al ACV, **(Ver Anexo No.9)** aunque en el contexto de esta investigación el autor se identifica más con las siguientes concepciones:

El análisis de ciclo de vida es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental de las nuevas tecnologías energéticas, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero (Serrano & Dufour, 2008).

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 (Rieradevall, 2009).

De acuerdo al punto de vista del medio ambiente el ciclo de vida nos permite medir el impacto ambiental de un producto desde que sus materias primas son extraídas de la naturaleza hasta que regresa a ella como un desecho. Es una metodología que intenta identificar, cuantificar y

⁸Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Setac) fue el primer organismo internacional que empezó a aglutinar los esfuerzos en el mundo para el desarrollo del ACV, en 1989 (Guinée et al., 2002).

caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final o su reutilización. En la **Figura 1.4**, se muestran las etapas del ciclo de vida de un producto.



Figura 1.4: El concepto de Ciclo de Vida para un producto. Fuente:(Ecodiseño Centroamérica, 2008).

Dentro de las diferentes fases del ciclo de vida, los impactos en **la fase de extracción de materia prima** están relacionados con el origen del material. Materiales no-renovables tienen un impacto mayor a materiales renovables. Además la energía necesaria en el proceso de extracción, es un factor determinante en esta fase.

En **la fase de producción**, la efectividad y la cantidad de los insumos en el proceso de producción como la energía y el agua, al igual que los residuos de producción y emisiones son factores determinantes importantes en el impacto ambiental.

El medio de transporte, la distancia y los tipos de empaques son determinantes del impacto ambiental durante **la fase de distribución**.

Especialmente para productos que requieren energía y/o necesitan agua u otros aditivos para su funcionamiento **la fase del uso** puede resultar como una de las fases prioritarias en el impacto ambiental.

El tratamiento en la última fase del ciclo de vida, **la disposición final** juega un papel importante respecto al impacto ambiental para los casos en los que la vida útil del producto es muy corta. Especialmente para los envases y los empaques esta fase determina gran parte del impacto total durante el ciclo de vida.

Esta cadena, que va “desde el nacimiento hasta la tumba” es lo que se denomina ciclo de vida de un producto (Romero, 2004).

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 1.5).

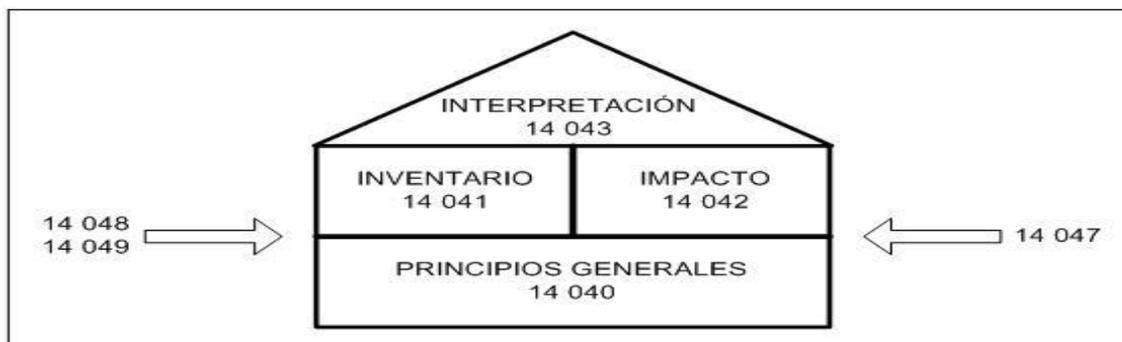


Figura 1.5: Estructura del ACV. Fuente: (Romero, 2004).

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.

La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase. De acuerdo con la ISO 14040, el ACV consta de cuatro etapas: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados (Figura 1.6)

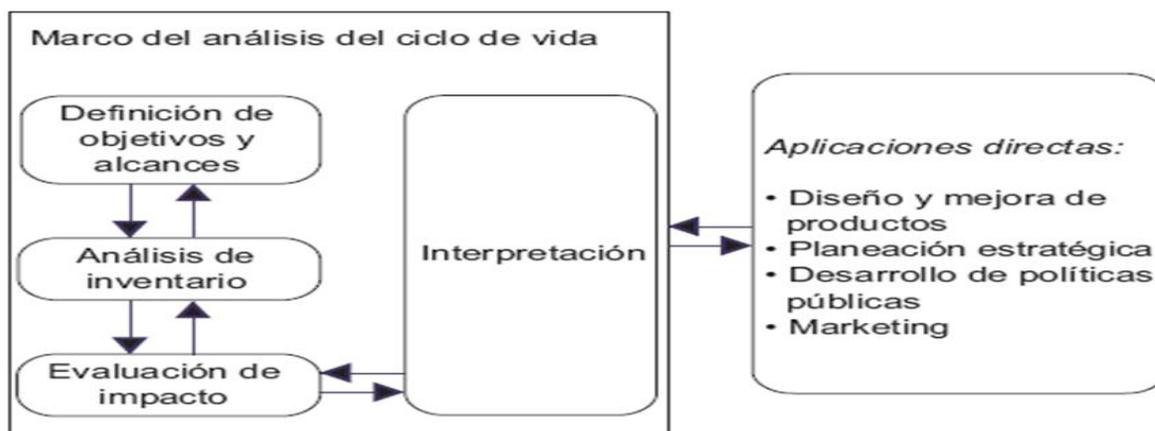


Figura 1.6: Etapas del ACV, de acuerdo la serie de normas ISO 14040. Fuente: (Romero, 2004).

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.

Análisis del inventario (*Life Cycle Inventory LCI*): 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.

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.

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.

Otros autores plantean que 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 (Iglesias, 2005).

Parte del enfoque proactivo del ingeniero industrial no solo a la hora de medir el impacto ambiental, sino desde cualquier ámbito, consiste en aunar diversas herramientas ingenieriles que le permitan tener diferentes criterios ya sea para diagnosticar, controlar o identificar alternativas de mejoras. Muchas de estas herramientas pueden ser útiles en función de la necesidad a resolver a través del ACV, ya que el mismo intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales. En el **Anexo No.10** quedan expuestas de manera explícitas cada una de estas herramientas asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto.

1.5.1. Importancia del ACV

La metodología del ACV permite un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un eco puntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares. Además el ACV puede ser útil para disminuir los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos

procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros. También promueve una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía (Peña, 2008).

El ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería (Cardim, 2001). También permite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece “más limpio” que otro, simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (fenómeno conocido como “problema shifting”) (Iglesias, 2005).

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.

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.

1.5.2. Aplicación del ACV

Existen diferentes usos y aplicaciones del ACV, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares (Sonnemann et al., 2003). **Ver Anexo No.11**

Dentro de este marco general de aplicaciones, tomando en cuenta el ciclo de mejora en la planeación de actividades empresariales (**ver la Figura 1.7**), las aplicaciones del ACV permiten tener direcciones concretas y prioridades de cómo implementar acciones y alternativas de mejoramiento.

Una aplicación posterior del ACV es la determinación de externalidades (costes sociales, medioambientales o económicos) que no son asumidos o soportados directamente por ninguno de los agentes que intervienen en la cadena de producción y uso de un producto determinado.

La ventaja del ACV es que al usarle, los tomadores de decisiones pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al corregir otros, o crear problemas ambientales en otras etapas del ciclo de vida.

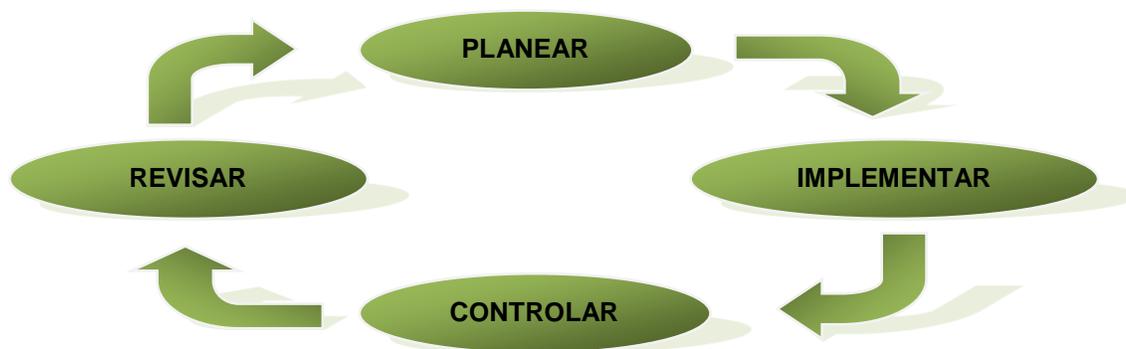


Figura 1.7: El ciclo de mejora empresarial y las aplicaciones de planeación de la metodología de ACV. Fuente: (Bermúdez, 2011).

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, 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.

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.

Otra ventaja es que permite la mejora de la eficacia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.

Según la importancia y beneficios que aporta esta herramienta el ACV presenta aplicaciones para (Peña, 2009):

- ◆ Mejoramiento y Desarrollo de productos/servicios (Diseño)
- ◆ Localización de la producción
- ◆ Indicadores de *performance* ambiental
- ◆ Desarrollo de políticas y regulaciones
- ◆ Desarrollar estrategias de mercado
- ◆ Educación y comunicación
- ◆ Identificar “*Hot spots*” en el ciclo de vida de un producto
- ◆ Planeamiento estratégico
- ◆ Prevenir polución
- ◆ Evaluar y reducir riesgos potenciales
- ◆ Evaluar y mejorar programas ambientales

Una vez expuesta la metodología del ACV resulta más fácil de comprender cuales pueden ser las limitaciones de su estudio de ACV, a continuación se exponen algunas de las mismas.

1.5.3. Soporte Informático para el Ecodiseño en el Análisis del Ciclo de Vida

La mayoría de las herramientas informáticas para el ecodiseño son herramientas de Análisis de Ciclo de Vida, algunas de las mismas varían en su grado de complejidad y precisión, se centran en aspectos concretos (por ejemplo la energía) y su elección dependerá de múltiples factores. La aplicación de las herramientas informáticas para el ecodiseño tienen como ventajas sobre el diseño tradicional de los productos, que las mismas determinan los aspectos ambientales de los productos, Generan, evalúan y seleccionan ideas de mejora ambiental, realizan además una valoración funcional de los requisitos ambientales y un análisis de los resultados ambientales, marketing verde y comunicación ambiental (Dobón, 2009).

Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., como se ha indicado en apartados anteriores. Estos aspectos serán más viables con el soporte de sistemas informáticos que faciliten las tareas a realizar (Cardim, 2001).

Existe una amplia variedad de herramientas informáticas que se utilizan en el ACV en el ámbito del Diseño para el Medio ambiente (DFE), disponibles en el mercado actualmente (**Anexo No.12**). Estas aplicaciones informáticas, poseen distintas necesidades de hardware y software. La mayoría de estas poseen una base de datos muy completa que incluye datos de estudios realizados por centros de investigación, agencias estatales o asociaciones industriales (*BUWAL*⁹, *APME*¹⁰, etc.). Dada la diversidad del origen y metodología adoptada hay que tener en cuenta la cantidad, la calidad y la precisión de la información utilizada.

En función de las expectativas del usuario (usuarios) es posible establecer los criterios básicos para realizar una elección de aquellas herramientas que pudieran ser más interesantes.

En la selección de estos programas, deben considerarse dos aspectos importantes (Cardim, 2001):

1. Inventarios que incorpora (específicamente en el ámbito en el que se quieren llevar a cabo los ACV's).
2. Calidad en la gestión de datos, incluyendo en este concepto:

⁹*Bundesamtes fuer Umwelt, Wald und Landschaft (Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape)*

¹⁰*Association of Plastics Manufacturers in Europe*

- la facilidad en la introducción de los datos de entrada para los diferentes ACV's que se planteen;
- la flexibilidad en el uso, actualización, sustitución, adición, etc. de datos de inventarios y, en especial, la posibilidad de añadir inventarios nuevos;
- la fiabilidad en los cálculos realizados y en el seguimiento de los mismos, siendo en este punto de vital importancia la posibilidad y facilidad de conocer el origen de cualquier resultado (trazabilidad);
- la realización de todas las fases de cálculo de un ACV; y,
- el tipo de salida de resultados (tablas / gráficas) y su flexibilidad.

De acuerdo con lo anterior, la calidad de los inventarios y la flexibilidad de estas bases de datos marcan la diferencia con los programas existentes, al considerar que, en buena medida, la fidelidad de estos inventarios, con el sistema o producto analizado, influencia directamente en la calidad de los resultados finales del ACV.

Los criterios considerados en la selección inicial representan sólo algunos de los que se consideran en la evaluación completa de las herramientas informáticas seleccionadas. Otros criterios útiles y que se puedan contrastar para su análisis se encuentran en el **Anexo No.13**.

El motivo principal por el cual se necesita una herramienta informática para ecodiseño, es la integración de los criterios ambientales en el proceso de diseño tradicional. Las mismas fluctúan según su grado de complejidad y nivel de precisión (Dobón, 2009).

Algunas de las más utilizadas se encuentran en el **Anexo No.14**.



Gráfico 1.1 Gráfico de carácter estrictamente orientativo sobre el grado de dificultad y nivel de precisión de estas herramientas. Fuente: (Dobón, 2009).

1.5.4. Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental

Existen diferentes metodologías que permiten el análisis del ciclo de vida, entre las que se encuentran el Impact 2002+, Eco-Indicador 99 y Eco-Speed.

Impact 2002+.

La metodología para la valoración del impacto del ciclo de vida LCIA (por sus siglas del inglés) Impact 2002+ propone una implementación factible de la combinación de los puntos medios/aproximación de daños, uniendo todos los tipos de resultados de los recuentos (flujos elementales y otras intervenciones) a través de 14 categorías de puntos medios hasta 4 categorías de daños. Para el Impact 2002 +, nuevos conceptos y métodos han sido desarrollados, especialmente para la valoración comparativa de la toxicidad humana y ecotoxicidad. Los factores de daños humanos son calculados para carcinógenos y non-carcinógenos, empleando fracciones de entrada, los mejores estimados de factores de inclinación de respuesta ante dosis, así como también severidades (Jolliet et al., 2003).

Eco-Indicador 99.

El Eco-indicador 99 es un método ACV especialmente destinado al diseño de productos, y ha demostrado ser una poderosa herramienta para los diseñadores a la hora de interpretar los resultados de los ACV mediante sencillos números o unidades, los llamados Eco-Indicadores. Este se desarrolla con una metodología específica para ello. Para la presente investigación se empleará el Eco-Speed por ser el método más funcional para el estudio (Peralta, 2011).

Eco-Speed.

Este método presentado por MSc. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-Speed. Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas como que afectan el mecanismo ambiental. Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 11 categorías de impacto. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado (Bermúdez, 2011).

1.6. La Generación de Energía Eléctrica

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 reguladoras bien definidas o de incrementar las inversiones para el desarrollo de nueva infraestructura.

La demanda mundial de energía eléctrica se estima que crezca a una tasa anual de 2.9% durante el horizonte 2005-2015. El crecimiento estimado mundial es impulsado principalmente por los países en transición y en desarrollo (García, 2011).

Estudios realizados para el Gas Natural Licuado (Bennett & Derrough, 1996):

En un análisis del ciclo de vida útil de las cadenas de generación de electricidad en Suiza se demostró que en cuanto a los ciclos de los combustibles fósiles entre ellos el gas natural licuado, las centrales eléctricas aportan sólo una pequeña parte de las emisiones de gases de efecto de invernadero, mientras que las demás etapas de la cadena son las que aportan la mayor parte de las emisiones debido al consumo de energía y a la producción de material en esas etapas.

En un análisis del ciclo de vida útil de las emisiones de gases de efecto de invernadero procedentes de los sistemas de generación y suministro de electricidad del Japón, se observó que los sistemas de gas emiten unos 180 gramos de carbono por kWh de electricidad generada. Se espera que las mejoras tecnológicas reduzcan significativamente las emisiones de gases de efecto de invernadero procedentes de los sistemas de electricidad. Las centrales de ciclo combinado que utilizan turbinas de gas alimentadas con gas natural licuado (GNL) emitirán 140 gramos de carbono por kWh en comparación con los 180 gramos por kWh que emiten las centrales alimentadas con gas natural que se emplean actualmente.

1.6.1 Tipos de contaminantes e impacto ambiental de los mismos, en Termoeléctricas

Cualquier actividad industrial causa una serie de impactos ambientales que afectan la atmósfera, las aguas, los suelos, la fauna y flora y al hombre, debido a la emisión de contaminantes gaseosos, vertimientos líquidos, residuos sólidos, generación de ruido y afectación de estructuras sociales. Las plantas de generación termoeléctrica no son ajenas a estos procesos, sin embargo, dependiendo de la tecnología y el combustible empleado, se

podría afirmar que el mayor impacto ambiental es la emisión de contaminantes a la atmósfera, producidos por el proceso de combustión y la generación de ruido ¹¹(Anexo No.15).

Cuando se aplica el Análisis de Ciclo de Vida a la energía se pueden obtener resultados sorprendentes o inesperados. No son muchos los estudios realizados hasta ahora en sistemas energéticos, aunque sí se vislumbran hechos ya conocidos o supuestos a priori. El análisis de ciclo de vida es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental de las nuevas tecnologías energéticas, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero. La energía, en este caso eléctrica, produce un impacto ambiental tanto en origen (fósil o renovable), producción, uso y en el tratamiento de residuos, como cualquier otro producto de consumo (Serrano & Dufour, 2008).

El potencial impacto ambiental primario causado por los procesos de generación termoeléctrica y cogeneración es el deterioro de la calidad del aire, y los factores de los que depende cuya magnitud son los siguientes:

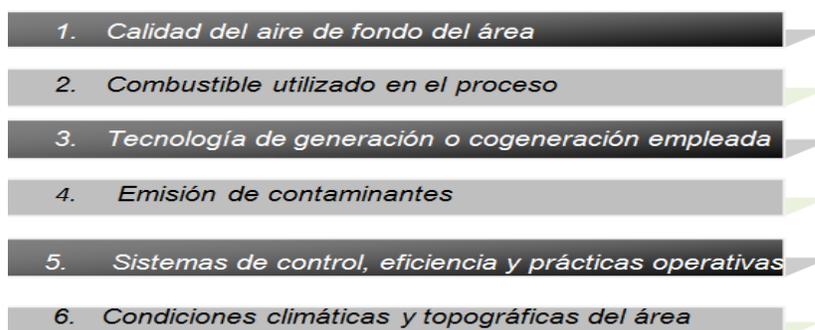


Figura 1.8: Factores de los que depende la magnitud de deterioro de la calidad del aire. Fuente: (Guía ambiental para termoeléctricas y procesos de cogeneración Parte Aire y Ruido.)

Los impactos ambientales secundarios se describen en relación con el elemento o sustancia contaminante que los causa y son aquellos efectos sobre la salud humana, la fauna, la flora, las construcciones y cuerpos de agua, desencadenados por el aumento de la concentración en el aire de una o más sustancias¹²(Anexo No. 16).

1.6.2 Características de la Industria 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. 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

¹¹ Organización Latinoamericana de Energía OLADE. Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas Quito, 1993.

¹² WARK, Kenneth. Contaminación del aire: Origen y Control. 2ª ed. México: Edit. Limusa. 1990.

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 Electro-energético Nacional (García, 2011).

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 1.9** 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.

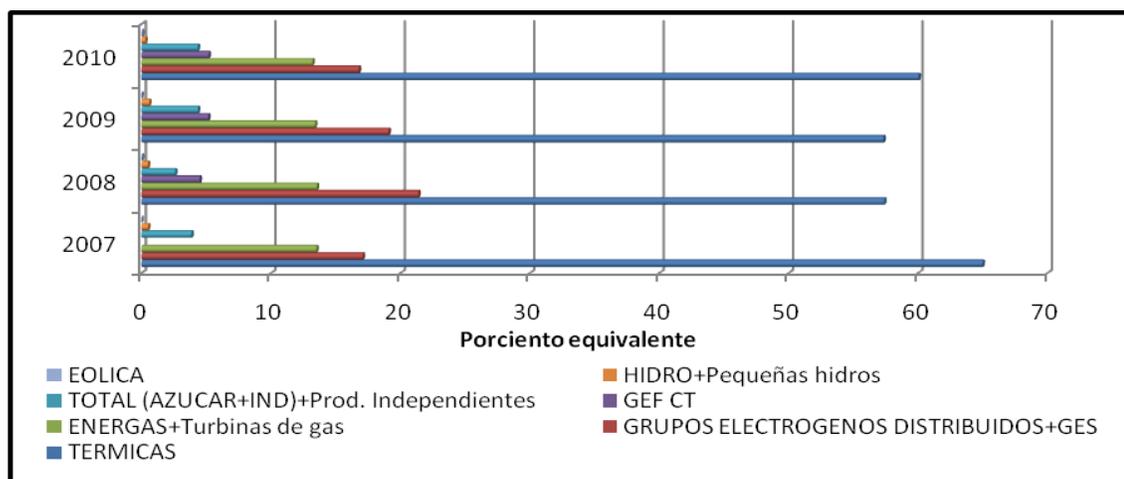


Figura 1.9. Generación equivalente aportada al SEN en el período 2007-2010. Fuente: (García, 2011).

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 está 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 ácidas o básicas por los procesos de regeneración de resinas químicas en intercambiadores aniónicos y catiónicos así como las de los procesos de lavado de calderas y calentadores de aire de tipo regenerativos.

En la **figura 1.10** 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.

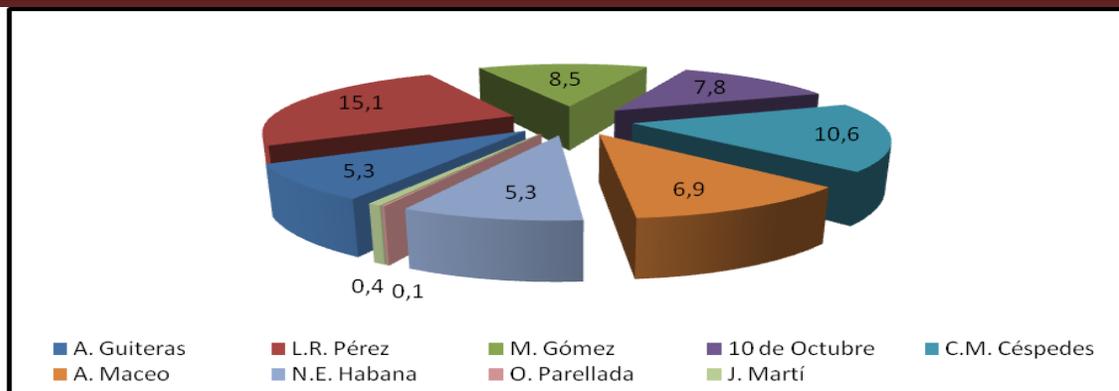


Figura 1.10 Aporte equivalente de cada una de las plantas termoeléctricas (%) al S.E.N durante el año 2010. Fuente: (García, 2011).

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.

¿Por qué hacer un estudio del impacto ambiental en la producción de energía?

De acuerdo con las estadísticas de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2011), las emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles en Cuba fueron de 26,84 millones de toneladas de CO₂ en el año 2009. Este valor representó 2,75% y 0,09% del total de Latinoamérica y el mundo respectivamente.

A pesar de no tener altos valores de emisiones se tiene el compromiso de realizar acciones que contribuyan a la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). 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 (Ruiz et al., 2011).

De los inventarios nacionales de GEI (López et al., 2009) el sector de la energía aportó alrededor del 72% del total de las emisiones brutas de CO₂eq. Es por ello que constituye un sector con grandes potencialidades para llevar a cabo acciones de mitigación.

Hoy en día, Cuba enfrenta varios desafíos, pudiéndose señalar la necesidad de incrementar la producción de energía a partir de sus recursos naturales, reducir la dependencia de la energía

importada, introducir las fuentes renovables y proteger el medio ambiente, lo cual contribuirá considerablemente a su desarrollo económico y social sostenible (Suárez et al., 2011).

La segunda mayor fuente de combustible nacional procede del gas natural con 1,155 millones de m³ o 1,019 millones de toneladas de combustible (12,7 %).

Tabla 1.1 Fuentes de energía fósil en Cuba 2009

Fuente de energía	Valor	%
Nacional		
Petróleo, millones de toneladas	2,731	34,0
Gas natural, millones de toneladas	1,019 ^a	12,7
Importada		
Petróleo, millones de toneladas	3,150	39,2
Productos del petróleo, millones de toneladas	1,114	13,8
Carbón mineral, miles de toneladas	15,6	0,2
Carbón coque, miles toneladas	8,7	0,1
Total, millones de toneladas	8,038	100

^a equivalente a 1,155 millones m³ de gas natural gas

Fuente: Adaptado del Anuario Estadístico Nacional de Cuba 2009.

Por otro lado, la extracción nacional de gas ha crecido en los últimos años desde 0,700 millones de toneladas en 1990 hasta 3,750 millones de toneladas en el 2009, esto representa un incremento de 5,3 veces. El principal yacimiento petrolero en Cuba ha estado activo en la zona de Varadero, por más de 50 años (Suárez et al., 2011).

La estructura de la generación eléctrica, como puede verse en la **tabla 1.3**, está formada por 9 Plantas Termoeléctricas de petróleo con el 60,8 %, seguida por 416 Grupos Electrógenos de Fuel Oil con 17,6 % y 2 modernas Plantas Termoeléctricas de gas con 13,4 %.

Tabla 1.3 Estructura de la generación eléctrica en Cuba 2009.

Generador	Cant.	Potencia (MW)	Producción (GWh)	Producción (%)
Termoeléctrica de petróleo	9	2,273,0	10772,2	60,82
Termoeléctrica a gas	2	495	2380,7	13,44
Generador de Fuel Oil	416	904,2	3122,1	17,63
Generador Diesel	893	1219,8	1130,0	6,38
Generador diesel antiguos	5	98,6	149,7	0,84
Generador Industria del Níquel	3	214,1	333,0	1,88
<i>Energía renovable</i>				
Plantas de Cogeneración de	54	332,4	516,9	2,92
Hidroeléctricas	180	58	150,8	0,85
Parques Eólicos	3	7,2	3,5	0,02
Total		5,602,3	17,709,1	100

Fuente: Adaptado del Anuario Estadístico Nacional de Cuba 2009.

El gobierno cubano se propone generar el 25,0 % de la electricidad con modernas Plantas Termoeléctricas a gas (Monteagudo, 2007), por otro lado tomando en consideración las tendencias del desarrollo energético cubano, durante los últimos años y los programas de la Revolución Energética (**PRE, 2009**) la política actual está enfocada a varias necesidades, dentro de las que se encuentra:

1. Cubrir la demanda energética con alta prioridad en las fuentes de energía nacional.
2. Diversificar las fuentes de energía y evitar la dependencia de energía importada de una sola fuente o país.
3. Mejorar la eficiencia energética en los procesos productivos, el transporte así como la reducción de las pérdidas en la producción, transmisión y consumo de la energía.
4. Proteger el medio ambiente y la salud pública.

Las labores de reparación de las plantas generadoras posibilitarán el incremento de la disponibilidad técnica, y el aprovechamiento del gas natural, entre las que se encuentran en estos momentos en el país enfrascadas en las reparaciones y cambios pertinentes están las termoeléctricas “Antonio Guiteras”, en Matanzas; “Antonio Maceo” (Renté), en Santiago de Cuba y la “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos. Esto influirá considerablemente en el ahorro de pesos convertibles para la economía nacional, debido a la sustitución importaciones (Fuel Oil) por la quema de gas acompañante (Gas Natural) de los pozos petroleros existentes

en la región cubana evitando que el Estado tenga que erogar divisas para la compra de alrededor de 40 mil toneladas de combustible, una cifra importante, si se tiene en cuenta la actual crisis financiera internacional, los precios de los combustibles y la política de bloqueo norteamericano a la Isla (Francés, 2010):

Conclusiones Parciales

El análisis de los aspectos tratados permite concluir que:

- El desarrollo sostenible en la medida que brinda un crecimiento tanto económico, social, cultural y ambiental trata de mitigar los daños causados por el hombre al medio ambiente con el objetivo de preservar un futuro menos devastado para las futuras generaciones.
- La ecoeficiencia es una estrategia de desarrollo sostenible en los sectores productivos, que incluye acciones para la protección del medio ambiente.
- La gestión ambiental es un instrumento moderno de planificación ambiental, con su aplicación, se incluyen de forma natural en un sistema de gestión general y documentado, todos aquellos aspectos de las actividades y servicios que pueden generar un impacto sobre el medio ambiente, siendo aplicable a todo tipo de organización, cualquiera sea su naturaleza.
- El ACV es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental en la producción de energía, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero, dado que este sector constituye uno de los mayores contaminadores, al influir de manera nociva sobre el medio ambiente.



Capítulo 2

CAPÍTULO II. “CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA A UTILIZAR”

2.1 Descripción del objeto de estudio

La Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, 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.

Pertenece a la Unión Nacional Eléctrica que a su vez forma parte del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y por su capacidad instalada, su ubicación geográfica y su elevada eficiencia y disponibilidad, constituye uno de los pilares fundamentales del Sistema Electro-energético Nacional (SEN).

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, unas 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 (**Ver Anexo No.17**) y posteriormente por características técnicas se explotan a 158 MW.h

Estuvo integrada por 4 Unidades o Bloques de generación agrupados de la siguiente forma:

	Bloques No.1 y No. 2	Bloques No 3 y No 4
Tecnología	Checoslovaca	Japonesa
Capacidad de generación	33 000 Kw. Cada uno	158 000 Kw. Cada uno
Puesta en Servicio	Entre 1968 y 1971.	Entre 1978 y 1979

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.

Desde el año 2009 están en activo solamente las Unidades 3 y 4 de nacionalidad japonesa pues las unidades checas fueron declaradas en baja técnica definitiva por el Ministerio de la Industria Básica en la fecha señalada.

En todo el período de funcionamiento exhibe resultados muy por encima a las demás plantas de este tipo. La **tabla 2.1** expone la trascendencia tecnológica lograda hasta final del año 2010 de ambos bloques generadores así como otra serie de parámetros.

Tabla 2.1: Ranking histórico productivo para ambas unidades de generación de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos hasta cierre 2010. Fuente: Registros de operación.

	UM	CMC3	CMC4
Generación producida	MW.h	29 994 279 MWh	30 312 384 MWh
Horas de operación	h	238 981.23 h	230 728.39 h
Carga promedio	MW.h	119.51 MW	120.38 MW
Consumo Específico Bruto	g/(kW.h)	240.17 g/kWh	239.10 g/kWh
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	ton físicas	7 203 585	7 247 598

Unidad CMC3.

- Sincronizó por primera vez el 18 de noviembre de 1978.
- Se entregó al Despacho Nacional de Carga en junio de 1979.

Unidad CMC4.

- Sincronizó por primera vez el 27 de junio de 1979.
- Se entregó al Despacho Nacional de Carga en enero de 1980.

Tabla 2.2 Modernización de la Unidad No. 4.

Indicador	Diseño original	Antes de modernización	Alcanzar con este proyecto	Alcanzados en el proyecto
Carga activa, MW	158	Limitada a 120	158	158
Carga reactiva, MVAR	92	92	92	92
CEB, g/kWh	232.50	254.00	235.20	233.0
Insumo eléctrico, %	5.15	5.80	5.25	4.91
Consumo de agua, m ³ /h	5.00	15.00	5.50	6.00
Disponibilidad, %	90	70	90-95	90-95
Tipo de combustible	Fuel Oil Ligero	Fuel Oil y Crudo 650 cSt	Fuel Oil y Crudo 1400 cSt	Fuel Oil 612 cSt
Mínimo técnico, MW	40	100 con Crudo	40 con Crudo	40 con Crudo
Regulación de frecuencia	Base	Rango (100-120)	Rangos (40-70 y 100-158)	Rangos (40-70 y 100-158)

La empresa brinda, además servicios en los trabajos de mantenimiento de envergadura a la Central Hidroeléctrica "Robustiano León", la cual se encuentra ubicada en el poblado de Hanabanilla perteneciente al territorio de la provincia de Villa Clara, pero por razones técnicas y de organización se subordina a la Termoeléctrica de Cienfuegos..

Esta Hidroeléctrica está compuesta por 3 bloques de 15 000 Kw. cada uno. Los bloques 1 y 2 lo conforman un equipamiento de variada tecnología (Alemania, Italia, USA) y fueron puestos en explotación en 1963 mientras que el bloque 3 es de procedencia checoslovaca y entró en servicio en 1968.

2.1.1 Ecosistema de la Termoeléctrica

El área de ubicación de la CTE C. M. de Céspedes se encuentra en una zona industrial y urbana y los suelos en sus alrededores no tienen uso agrícola de interés económico. En el área específica de la planta los suelos han sido removidos y sustituidos por rellenos y cimentaciones de acuerdo a las características de cada uno de los objetos de obra que componen la instalación.

Esta área constituye un ecoentorno costero de aguas someras, con temperaturas y salinidades variables, con fondos predominantemente fangosos y de alta turbidez. La flora y la fauna presenta un alto grado de adaptaciones evolutivas a las presiones ambientales y su origen es marino y terrestre.

La biota es variada y directamente importante para el hombre tanto ecológica como económicamente. En estas condiciones naturales el ecosistema funciona sobre la base de una balanceada matriz de interrelaciones biótica, balance natural que es altamente vulnerable al impacto del hombre. La complejidad de la matriz biótico–ambiental, las alternativas del flujo energético y las adaptaciones biológicas de los organismos otorgan a este sistema características de estabilidad ecológica en un ambiente físicamente variable, pero frágil a los cambios inducidos por el hombre.

La producción energética, constituye uno de los principales contribuyentes del deterioro ambiental, además tiene como agravante que no toda la energía utilizada por el hombre, se ahorra y se aprovecha de forma eficiente y racional, sino que gran parte de ella se malgasta sin producir beneficios y contamina innecesariamente al medio ambiente, así tenemos contaminación atmosférica, debido a la emisión de CO_2 , SO_x , NO_x , CO , partículas, hidrocarburos y plomo.

La calidad del aire en los alrededores de la ETC se encuentra afectada por las expulsiones de gases contaminantes provenientes de la quema del combustible, de los cuales los más importantes, por su abundancia y efectos tóxicos, son el SO_2 y el NO_2 .

Como se mencionó anteriormente, los elementos contaminantes fundamentales que pueden afectar la calidad del aire en los alrededores del emplazamiento son el SO_2 y el NO_2 , debido a

sus efectos tóxicos y al hecho de que ambos conforman un grupo contaminante, según establece la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC TS 803:2010).

2.2 Caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos

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. La Empresa está compuesta por dos unidades generadoras (CMC3 y CMC4) de tecnología japonesas de 158 MWh cada una.

La Central 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 las 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.

Misión:

La Central Termoeléctrica Cienfuegos, forma parte del Sistema Eléctrico Nacional, dedicada básicamente a generar y suministrar energía eléctrica para satisfacer los requerimientos y necesidades crecientes de nuestros clientes, con un alto nivel de profesionalidad, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el Medio Ambiente.

Visión:

Trabajar por colocarse como entidad de referencia dentro del sistema UNE-MINBAS, siendo la Central Termoeléctrica más rentable y eficaz en el ámbito nacional con sólidos valores y una alta profesionalidad y profundo sentido de pertenencia, caracterizándonos además por una elevada optimización y desarrollo de los Recursos Humanos, y gestionando la protección al Medio Ambiente.

El domicilio social radica en Carretera a O'Bourke # 914, Zona Industrial No. 1, municipio y provincia de Cienfuegos.

Los servicios que brinda la ETE Cienfuegos son los siguientes:

1. Generación de energía eléctrica.
2. Mantenimiento de equipos primarios, secundarios y en la Subestación.

El volumen anual de ventas alcanza valores de alrededor de 21,0 MMP.

La capacidad de generación instalada alcanza un total de 316 MW, los cuales son generados con Petróleo Combustible Pesado BV.

La distribución de la capacidad instalada es como sigue:

ETE Cienfuegos	CMC 3 [MW]	CMC 4 [MW]
Unidades Japonesas	158	158

Otros equipos de producción, instrumentos y sistemas de control:

El proceso de generación de energía eléctrica en la Unidad # 3 dispone de un moderno software de supervisión de procesos, conocido por TITAN (Sistema Tipo SCADA), que permite de manera ininterrumpida salvar en un servidor datos en soporte digital.

En la Unidad # 4, después de la modernización está instalado un Sistema Experto de Control Distribuido de la firma alemana ABB denominado Procontrol P14.

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 se muestran en el **Anexo No.18**. 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.

2.3 Características tecnológicas, como pueden ser laboratorios, oficina técnica o sistemas informáticos

La ETE Cienfuegos dispone de un laboratorio químico para la realización de pruebas y ensayos para comprobar la calidad del agua, combustibles y aceites que se utilizan en la generación de energía eléctrica. Está equipado con los medios técnicos y materiales adecuados como son los reactivos químicos que garantizan una alta confiabilidad en los análisis que se realizan.

Entre su equipamiento más novedoso podemos mencionar un espectrofotómetro, modelo Cary 50, para el análisis del combustible (detección de vanadio), del agua (detección de hierro y fósforo); un potenciómetro con microprocesador incorporado para la determinación del número total base de aceite (TBN) y una bomba calorimétrica para determinar el valor calórico del combustible.

Existen seis (6) servidores profesionales encargados de lograr las conexiones entre las máquinas computadoras, tener acceso a Internet y a Intranet, así como la entrada y salida de correos ya sean nacionales o internacionales, en ellos también se guarda información de interés de los usuarios de la Empresa y las instalaciones de programas, las cuales son de uso general.

2.3.1 Descripción de la Estructura Organizacional

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos está compuesta por la Dirección General, 3 direcciones funcionales y 6 Unidades Empresariales de Base presupuestadas, el organigrama correspondiente se muestra en el **Anexo No.19**. Esta estructura se puede **clasificar como lineal funcional**, en la misma se aprecian las relaciones de mando y control que se establecen.

La plantilla general de la empresa es de 471 trabajadores de los cuales 32 son militantes de la juventud (UJC) y 95 son militantes del partido (PCC).

Los jefes se subordinan al Director y las autoridades y responsabilidades de esas áreas se establecen en las respectivas Descripciones Organizativas de la empresa.

La estructura por nivel de escolaridad y categoría ocupacional de la fuerza de trabajo de la entidad se muestra en la **figura 2.1**, 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 Electro-energético nacional.

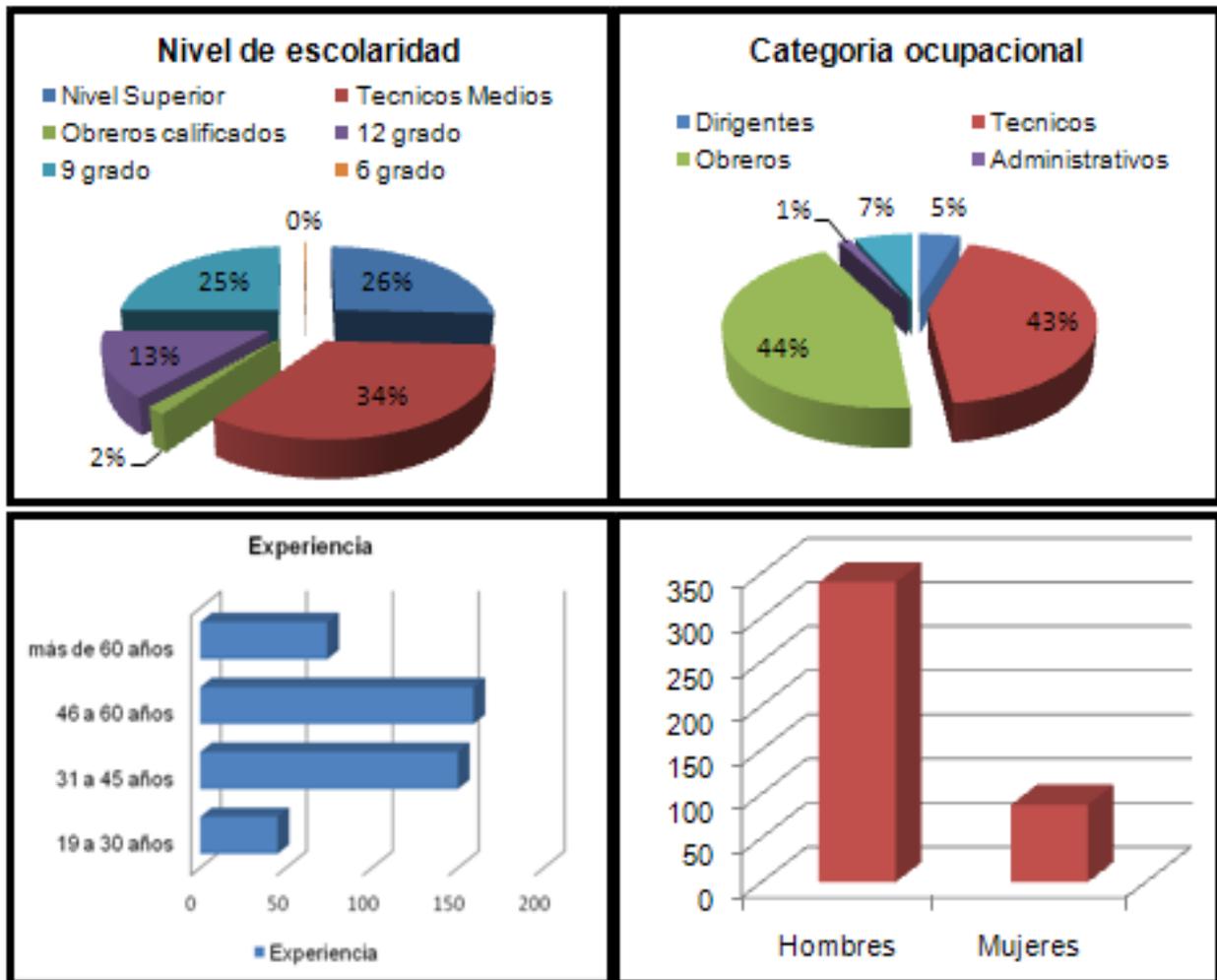


Figura 2.1.Descripción de la fuerza de trabajo. Fuente: (García, 2011).

2.4 Necesidad del Estudio

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos es de vital importancia, debido a su situación estratégica en el centro de la isla, para el desarrollo económico del país y de la provincia de Cienfuegos, la misma debe garantizar la producción constante y estable de energía eléctrica al

futuro Polo Petrolero en vías de creación y expansión y mantener la producción de cemento, alimentos, el desarrollo del puerto pesquero, entre tantas otras, bases económicas y fuentes empleadoras de la provincia.

Como residuos de la producción de energía eléctrica se generan como promedio al medio ambiente 1002318 g de CO₂ por MW generados, 1514 g de NO_x por MW generados y 600 mg/Nm³ de partículas sólidas totales (PST), los valores de las emisiones de CO₂ y NO_x por unidades comprendidas entre los años 2008 al 2010.

En los años 2009 y 2010 ambas unidades consumieron 70m³ diarios de más de agua tratada y generaron 129000000 m³ de más de gases de efecto invernadero (CO₂). Se produjeron además 40 ppm de más de óxidos nitrosos (NO_x) y 300 mg/Nm³ de más de partículas sólidas totales (PST).

A causa de esto la empresa está interesada en desarrollar un serio trabajo en cuanto a la mitigación de sus impactos ambientales entre sus procesos a partir de la búsqueda de alternativas más rentables y eficientes, en este caso la producción de energía con gas natural licuado, ya que, el costo del combustible consumido (fuel oil), está valorado en 205 807 066.21 CUC/año, y el cambio de combustible representaría un ahorro por concepto de sustitución de importaciones para el país de 51243608.7828 CUC.

Asimismo, este proyecto se pretende comenzar la ejecución a partir del presente año y por tal motivo se quiere determinar sus factibilidades, empleando para ello el uso de la metodología de ACV, que aporta varios beneficios, entre los que se encuentran la descripción detallada de todas las entradas de materias primas al sistema y la identificación de los principales impactos ambientales para el gas natural licuado.

Es necesario destacar que el sistema de Gestión Ambiental en esta empresa es uno de los procesos estratégicos, mientras que la producción de energía es el proceso clave fundamental (**Ver Anexo No.20**), de ahí la importancia del estudio.

2.5 Procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

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 2.2**.

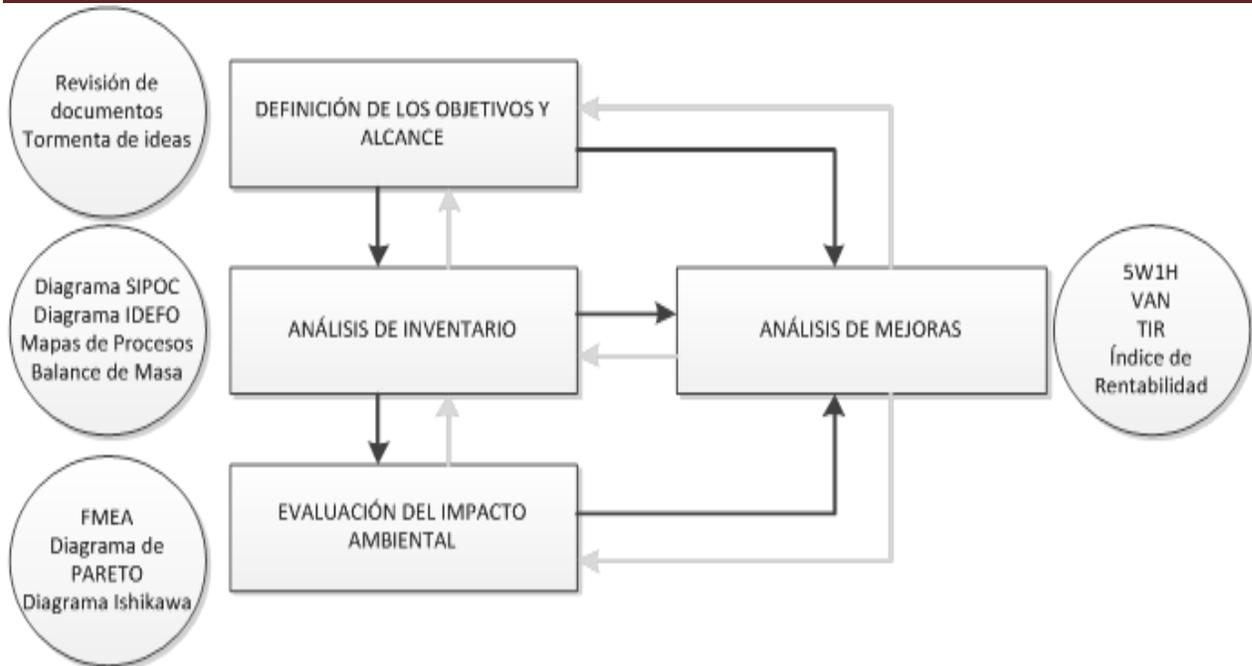


Figura 2.2: Las Etapas de un ACV de acuerdo a la NC ISO 14040 vinculada a herramientas de la ingeniería industrial aplicadas en cada una de sus fases

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.

2.5.1. 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 comparación 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 & Pérez, 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 llevaran 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.

2.5.2. 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 & Pérez, 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:

- 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.

2.5.3. 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 2.3** 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.

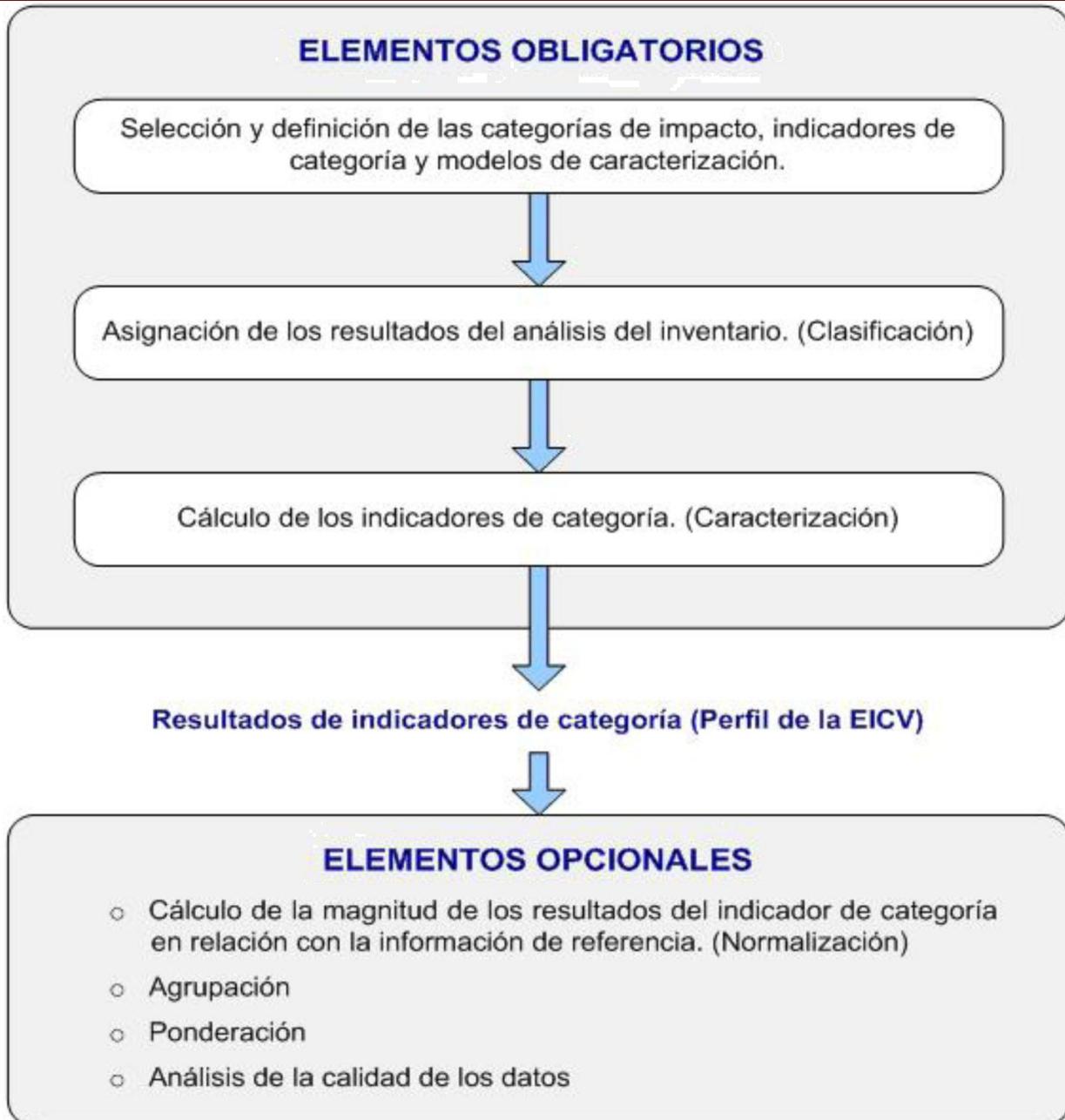


Figura No. 2.3: Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. Fuente:(NC-ISO 14042, 2001).

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 SO_2 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.

Método para evaluar el impacto ambiental

En la investigación se procede a emplear el método Eco-Speed para evaluar el impacto ambiental, debido a que el mismo es el que se adecua a las condiciones climatológicas de la región de estudio, con el cual se realizará cada paso descrito anteriormente. Esta metodología está enfocada a categorías de daño o puntos intermedios

Eco-Speed

Este método presentado por MSc. Ing. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida. Utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-velocidad.

Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas por otros métodos como que afectan el mecanismo ambiental medido por la misma.

Caracterización.

Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 11 categorías de impacto, la forma en que se relacionan se representa en la **Figura 2.4**. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, como se presentan a continuación para cada una de las categorías de daño y de impacto.

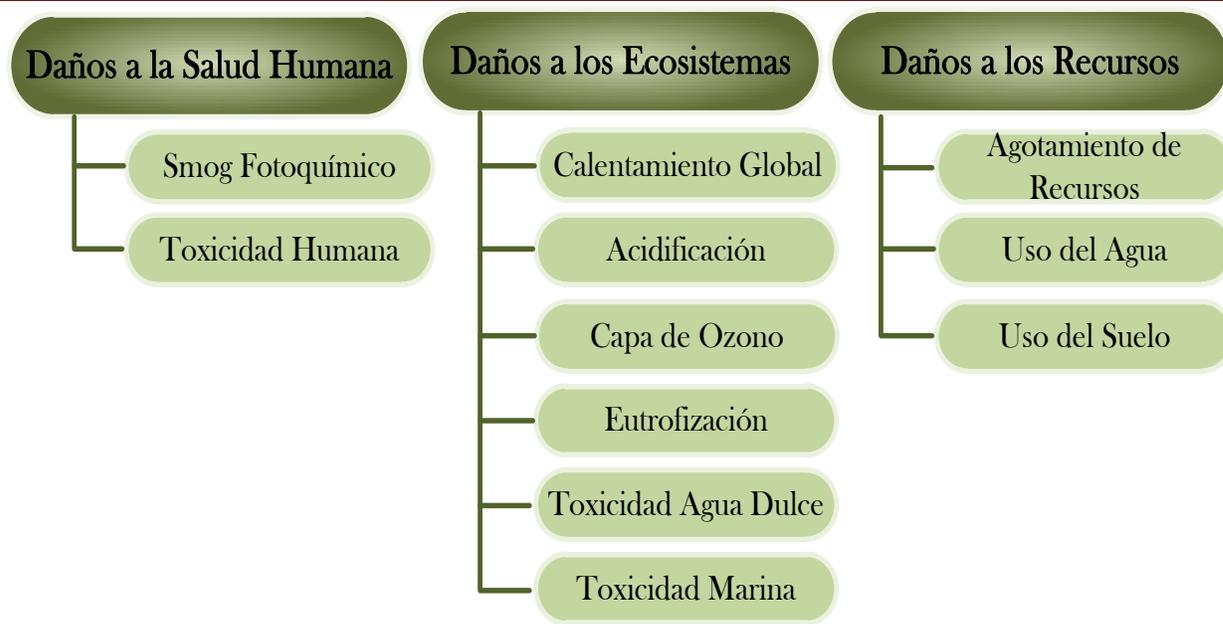


Figura No 2.4: Relaciones entre las categorías de Impacto y de daño en el método Eco-Speed.

1.- Categoría de daño: Daños a la Salud Humana (*Damages to Human Health*).

Esta categoría de daño representa la cantidad de casos de problemas de salud, que probablemente se presenten en el horizonte de tiempo definido. Está determinado por la suma de los impactos potenciales que se generan por la emisión de sustancias carcinogénicas y no carcinogénicas al aire, agua o suelo. Su forma de cálculo se representa en la **ecuación 2.1**

$$HE = CA + NCA + CW + NCW + CS + NCS \quad (2.1)$$

Donde:

- HE: Indicador de daños a las personas en función del agotamiento
- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el aire.
- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el suelo.

A continuación se describen las categorías de impacto incluidas en esta categoría de daño.

- **Categoría de impacto:** Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua y No Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua.

Cada categoría incluye los impactos potenciales de las emisiones de sustancias carcinogénicas y no carcinogénicas al aire, al suelo y al agua. Los factores utilizados se componen inicialmente de los calculados por el modelo USETox para las sustancias incluidas en (Rosenbaum, y otros 2008). El trabajo de la estimación posibilita la utilización de la mayor cantidad de sustancias para cada una de estas categorías.

Los factores de caracterización para cada sustancia representan los casos potenciales de problemas de salud que provocan por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por Casos/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador para cada categoría se representa a continuación en la **ecuación 2.2**.

$$\left. \begin{array}{l} \text{NCA} \\ \text{CA} \\ \text{NCW} \\ \text{CW} \\ \text{NCS} \\ \text{CS} \end{array} \right\} = \sum_{i=1}^n (CF_i \cdot m_i) \quad (2.4)$$

Dónde:

- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el aire.
- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el suelo.
- CF_i : Factor de Caracterización para la sustancia "i" para cada categoría.
- M_i : Masa emitida de la sustancia "i" para cada categoría.
- n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.

2.- Categoría de daño: Daños a los recursos (*Damages to Resources*).

Para el desarrollo de esta categoría se utilizaron las informaciones provistas por varios organismos internacionales, dedicados a la manipulación de datos estadísticos relacionados, entre ellos los más importantes consultados son: (United Nations 2010), (DOE/EIA 2009), (ONE, 2010) y (EUROSTAT, *European Comision* 2008).

• **Categoría de impacto:**

- Para el cálculo de impacto en el uso del agua, se tienen en cuenta las entradas y salidas al sistema de producto analizado, a partir de cada uno de los posibles orígenes, o fuentes de abasto, ya que el cálculo de la categoría se basa en dividir este volumen de agua por la cantidad total disponible de ese mismo tipo de recurso, como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Cantidad usada

$$WU = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v_i}{V_i} \quad (2.3)$$

Contaminación del agua por eutrofización

$$WC = \sum_{i=1}^n m_i \times F_i \quad (2.4)$$

Factor de caracterización

$$WA = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v_{i+(WC)}}{V_i} \quad (2.5)$$

$$k_i = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\text{volumen de la reserva } i}{\text{volumen total disponible}} \quad (2.6)$$

Dónde:

- v_i : representa el volumen de agua proveniente de la fuente "i" utilizado por el proceso.
- V_i : representa el volumen total disponible el 95 % del tiempo que existe de la fuente "i".
- k_i : por ciento que representa V_i del total pero restado de 1.
- m_i : masa vertida.
- F_i : factor calculado de agua requerida.

Es decir, que solo se tienen en cuenta para este cálculo las fuentes de agua más estables.

- Para el impacto del uso del suelo se ha considerado proponer una ponderación en dependencia del cambio de uso que se realice al utilizar el suelo. Se basa en las clasificaciones de su productividad, donde se utilizan 4 clasificaciones, muy productivo, productivo, poco productivo y muy poco productivo; estas clasificaciones son las utilizadas por las agencias que proveen los datos utilizados para el cálculo del indicador de la categoría (ONE, 2010);(EUROSTAT, European Commission 2008), por eso se mantienen como tal. Su fórmula de cálculo está definida en la **ecuación 2.7**.

$$SU = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) + \left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) * k_{ij} \right) \quad (2.7)$$

Dónde:

- a_{ij} : Área utilizada por el tipo de suelo “i” para el uso “j”.
 - A_i : Área disponible del tipo de suelo “i”.
 - k_{ij} : Factor de ponderación correspondiente al tipo de uso de la tierra.
- El uso de la energía se basa en la división de la masa de los recursos energéticos utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la **ecuación 2.8**, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$EU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{E_i} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

- e_i : Representa la masa del recurso energético “i” que se utiliza en el sistema analizado.
 - E_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso energético “i”.
- El uso de los minerales se basa en la división de la masa de los recursos minerales utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la **ecuación 2.9**, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$MU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{M_i} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

- m_i : Representa la masa del recurso “i” que se utiliza en el sistema analizado.

- M_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso "i".

3.- Categoría de daño: Daños a los ecosistemas (*Damages to ecosystems*).

Esta categoría de daño se compone de la contaminación emitida a la tierra por los mecanismos ambientales de calentamiento global, capa de Ozono y emisiones al suelo, agua y aire. Su evaluación está dada en los casos de la toxicidad, en funciones de afectación potencial y en los casos de capa de ozono y calentamiento global, están dados en unidades de las sustancias de referencia, CFC-11 y CO₂ equivalentes.

- **Categoría de impacto:** Ecotoxicidad del Aire, el Suelo y el Agua.
- Esta categoría incluye los impactos potenciales de las sustancias incluidas en el modelo USETox (Rosenbaum, y otros 2008).

Los factores de caracterización para cada sustancia representan la fracción potencialmente afectada que provocada por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por PAF/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador de la categoría se representa a continuación en la ecuación 2.10.

$$\left. \begin{array}{l} EA \\ EW \\ ES \end{array} \right\} = \sum_{i=1}^n (CF_i * m_i) \quad (2.10)$$

Donde:

- EA: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el aire.
 - EW: Indicador de daños potenciales por la presencia sustancias peligrosas en el agua.
 - ES: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el suelo.
 - CF_i : Factor de Caracterización para la sustancia "i" para cada categoría.
 - M_i : Masa emitida de la sustancia "i".
 - n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.
- En la categoría de impacto al calentamiento global el cálculo de los efectos potenciales que producen las sustancias conocidas como contribuyentes al efecto invernadero, resulta de la

multiplicación de la masa emitida son su correspondiente factor de potencial de calentamiento global, estos factores son dados a conocer por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Resultando la fórmula de cálculo como la **ecuación 2.11**.

$$CC = \sum_{i=1}^n (GWP_i * m_i) \quad (2.11)$$

Donde:

- CC: Representa el indicador de daños potenciales de las sustancias analizadas.
 - m_i : representa la masa emitida de la sustancia “i”.
 - GWP_i : Representa el Potencial de Calentamiento Global de la sustancia “i”.
- En la Capa de Ozono se calculan los impactos potenciales de las sustancias probadas como agotadoras de la capa de Ozono, para este cálculo se utilizan los factores de potencial de agotamiento del Ozono brindados por la organización meteorológica mundial. La ecuación para el cálculo resulta la siguiente:

$$OZ = \sum_{i=1}^n (ODP_i * m_i) \quad (2.12)$$

Donde:

- ODP_i : representa el factor de potencial de agotamiento del Ozono de la sustancia “i”
- m_i : representa la masa de la sustancia “i” emitida.

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 CO_2) 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.

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 n.d.), al cual se le introdujeron adaptaciones con el fin de llevarla al ámbito de este 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 (**Anexo No. 21**) 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 ($SH_{AGUADEMAR}$).

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. **Ver Anexo No. 21**

En este estudio se emplea el criterio de varios expertos, como se verá en el siguiente capítulo, el conjunto de los mismos fue determinado de la siguiente forma:

Cálculo del número de expertos

$$n = \frac{p(1-p)K}{i^2} \quad (2.13)$$

1 - α	k
99%	6,6564
95%	3,8416
90%	2,6896

n=número de expertos.

i=nivel de precisión deseado (0,12).

p= Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos.

K=parámetro cuyo valor está asociado al nivel de confianza que sea elegido. (Para un nivel de Confianza de 95%)

Análisis de modo y efecto de las fallas

El uso de esta herramienta dentro del análisis del impacto ambiental de la metodología del ACV, posibilita detectar cuáles son las fallas potenciales en post de erradicarlas, para de esta forma reducir sus influencias en el proceso que simultáneamente mejorará la eficiencia y el impacto producido. Para una mejor comprensión de su uso y aplicación se recomienda examinar el capítulo 14, del segundo volumen de Control estadístico de la CALIDAD Y SEIS SIGMA, Gutiérrez & de la Vara Salazar, (2004).

2.5.4. 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, 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.

I) 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.

Conclusiones Parciales

1. Se realiza una caracterización general de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica del Ministerio de la Industria Básica.
2. Se describe el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida, desarrollado en la serie de normas NC-ISO 14 040, a través de una serie de pasos que permiten adecuar el estudio en función de los objetivos de la investigación, y se explica la metodología a utilizar.
3. La estimación de las emisiones de los gases de efecto de invernadero para el gas natural licuado como parte del proceso de cuantificación de datos relevante, tanto para las entradas y salidas de producto o sistema, posibilitará tener un criterio más acertado a la hora de evaluar su impacto ambiental mediante la metodología del ACV.
4. El método utilizado para evaluar el impacto ambiental es el Eco-Speed, ya que de todos los métodos aplicables, este es el único que está adaptado a las condiciones del entorno.
5. Al proceso de generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos se le hace viable aplicar un estudio desde la óptica del impacto ambiental a partir de las metodologías de análisis de ciclo de vida, huella ecológica y huella hídrica corporativa para determinar las consecuencias del presente y valorar diferentes alternativas de mejoras ambientales futuras.



Capítulo 3

CAPÍTULO III: “APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO”

En este capítulo se realiza la evaluación del impacto ambiental para la producción de energía eléctrica con GNL en la Termoeléctrica de Cienfuegos teniendo como base lo descrito en el capítulo anterior y sustentados en la norma cubana NC-ISO 14040: 1999, además se interpretan los resultados obtenidos por el método de evaluación de impacto ambiental aplicado, en este caso el Eco-Speed y se proponen mejoras que pueden ser válidas como un medio de mitigación de dichos impactos y por último se realiza la valoración económica de dichas mejoras.

3.1 Etapa 1: Definición de objetivos y alcance

Objetivo General:

Comparar el impacto ambiental de la producción de energía a partir del gas natural licuado en relación al uso del fuel oil con la aplicación de la metodología de ACV en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes.

Objetivos Específicos:

1. Realizar el inventario del ciclo de vida de la producción de energía para 1 MW producida en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes, a partir del gas natural licuado.
2. Comprobar que la energía producida con gas natural licuado es menos contaminante que la producida con fuel oil.
3. Valorar la factibilidad técnica y económica a partir del gas natural licuado como una opción de producción de energía de menor impacto ambiental.

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 o públicos de la energía eléctrica generada.

- Unidad funcional:

Como unidad funcional del sistema se tiene la producción de 1MWh 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.
- Generación de Vapor que incluye además: la preparación del combustible a quemar y la preparación de los sistemas auxiliares eléctricos del ciclo: Insumo eléctrico (MWh).

En la etapa productiva:

- Proceso de generación eléctrica con las diferentes entradas y salidas factorizados para 1 MW.h de generación eléctrica a partir del GNL

- 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 Electro-energético 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 Análisis de Ciclo de Vida se limita a la generación de energía eléctrica en la empresa Termoeléctrica Cienfuegos ubicada en la provincia de Cienfuegos.

Límites temporales

El análisis se realiza en el año 2010.

- Calidad de los datos

Los datos para este análisis han sido seleccionados de una manera exhaustiva del área de indicadores técnico-económicos perteneciente al Grupo de Régimen de la UEB (Unidad Empresarial de Base) de Producción de la Termoeléctrica Cienfuegos, del área Química perteneciente a la misma UEB y del área de Gestión Ambiental perteneciente a la Dirección Técnica, a partir de estos datos se calculan los índices de trabajo de la central formando parte de los sistemas de pagos implantados para cada trabajador de la misma de ahí su estado de validación, cada dato introducido se chequeó contra el enviado en igual período a la UNE (Unión Nacional Eléctrica) para el control y medición del desenvolvimiento productivo y medioambiental de la central termoeléctrica, cabe señalar que cada proceso de la planta está certificada por las normas NC ISO 9001:2008 siendo este otro punto a tener en cuenta para medir la calidad de los datos analizados.

Para realizar el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se utilizó la herramienta informática desarrollada por Green Delta TC, en el entorno de programación Eclipse, basado en *Java Integrated Development Environment* de IBM, que es un software de código abierto, esta herramienta compara los aspectos medioambientales teniendo en cuenta lo descrito en la norma NC-ISO serie 14040, para ello el openLCA se basa en las bases de datos que contiene y han sido publicadas para el análisis de ciclos de vida característicos de un producto o sistema en específico, en nuestro caso en particular, se utiliza *Ecoinvent Unit Processes* como base comparativa ya que la misma reúne características específicas que relacionan combustibles, productos químicos y energías en forma de calor o electricidad, generando esta explotación de recursos primarios residuos como parte de su ciclo de vida que producen definitivamente impactos negativos sobre el medio ambiente y la sociedad.

3.2 Etapa 2: Análisis del inventario

Recolectar los 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 No.22** se muestran varios diagramas (SIPOC e IDEFO) 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 a partir del GNL.

3.2.1 Planta de Tratamiento Químico de Agua (PTQA)

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.

A la central termoeléctrica llega el agua cruda procedente del acueducto municipal el cual tiene dos fuentes de abasto principales, la presa “Paso Bonito” o la presa “Damují” las cuales difieren en su calidad, siendo el agua del sistema “Damují” un agua mucho más dura que la del sistema “Paso Bonito”. En la **tabla 3.1** se muestran las características del agua de las fuentes de abasto, y en el **Anexo No.23** muestra la norma de calidad del agua para los Generadores de Vapor de la Unidad CMC3 y CMC4.

Tabla 3.1 Características del agua de las fuentes de abasto. Fuente: Norma de operación de PTQA de la Termoeléctrica de Cienfuegos.

	DAMUJI		PASO BONITO	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
ALCALINIDAD M	216	4.32	125	2.5
ALCALINIDAD P	0	0	0	0
DUREZA TOTAL	250	5	140	2.8
DUREZA Ca	145	2.9	120	2.4
DUREZA Mg	105	2.1	20	0.4
SULFATO	27	0.56	19	0.4
CLORURO	45	1.27	14	0.4
CO₂	14	0.32	7	0.16
SILICE	18	0.6	7.5	0.25
MATERIA ORGANICA	4	4	2	2
TURBIEDAD	6	6	2	2
Ph	7.8	7.8	7.8	7.8
CONDUCTIVIDAD	650	650	280	280
SALINIDAD TOTAL		5.7		3.7

Al llegar a la planta el agua 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 4500m³. 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 está en servicio y el otro en floculación, con la adición del sulfato de aluminio o alúmina, una de las materias primas de este proceso.

Para el proceso de desmineralización el agua sigue el siguiente recorrido, desde los tanques el agua cruda es bombeada hacia la planta por dos bombas centrífugas 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. El filtro mecánico es un recipiente vertical, cilíndrico de 3 m de diámetro que contiene en su interior como medio filtrante un volumen de 13 m³ de arena sílice muy pura.

Debido a su trabajo el filtro se va ensuciando por lo que es necesario lavarlo, como norma, cada 7 días o antes si se notara una caída de presión de 1 atm a través del mismo. 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.

Entre las sales de ácidos débiles disueltos en el agua (carbonatos y bicarbonatos) y la resina

tiene lugar un intercambio iónico.

Debido a esta reacción se produce una gran cantidad de CO_2 que permanece disuelto en el agua, para eliminar el mismo se utiliza una torre descarbonatadora que es una columna cilíndrica de 1,5 m de diámetro recubierto de goma interiormente y empacada con pequeños anillos de porcelana, huecos, conocidos como anillos Rasching cuya función es aumentar la superficie de contacto entre la parte líquida y la fase gaseosa la cual está compuesta por el aire que se suministra por la parte inferior con dos sopladores y el agua que entra por la parte superior, mediante un proceso de transferencia de masa el CO_2 es absorbido por el aire y expulsado a la atmósfera junto con este.

El flujo máximo de producción de la planta es de $48 \text{ m}^3/\text{h}$. el cual se regula mediante una válvula de retorno instalada en la descarga de las bombas de agua descarbonatadas y en dependencia del consumo de las unidades.

El agua desmineralizada que sale de los lechos mezclados es almacenada en tres tanques de 100 m^3 cada uno, y en un tanque de 1000 m^3 destinado para la alimentación de las unidades CMC3 y CMC4, de las cual se sirve para sus consumos eléctricos. En el **Anexo No.24** se muestran las normas de consumo para cada sustancia en PTQA (Planta de Tratamiento Químico del Agua).

En la **Tabla 3.2** se muestra la cantidad de agua tratada que según el informe de factibilidad para el GNL dado por la entidad, debe consumirse para la generación de 1 MW, así como el consumo de productos químicos para la elaboración de dicha agua en el período comprendido luego del cambio de combustible (de fuel oíl a GNL).

Tabla 3.2 Consumo de agua tratada para 1 MW y consumo de productos químicos para la elaboración del agua tratada.

Para 1 MW	
2010	
Cantidad de Agua Tratada (m^3)	0,08973133
Cantidad de Alúmina ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (g)	6,66224458
Cantidad de Sosa Caustica (NaOH) (g)	107,242706
Cantidad de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) (g)	101,30276

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

Tabla 3.3 Cantidades totales y consumos de las entradas y salidas, así como los factores equivalentes a 1m³ de agua tratada. Fuente: García, 2011.

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

3.2.2 Generador de Vapor (Caldera) y sistemas de quemadores de la 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*.

Sistema de Quemadores de la Caldera

La caldera japonesa posee tres pisos de servicio de quemadores donde se encuentran instalados nueve quemadores. En el primer piso de arriba hacia abajo se utilizarán los quemadores de arranque con gas oíl. Los nueve quemadores serán operados localmente o mediante el ABS (Sistema Automático de Quemadores).

Los quemadores de la Unidad # 3 son del tipo de boquilla Y de la firma japonesa *Babcock-Hitachi* diseño del año 1978 conocidos por su alta producción de NO_x por las altas temperaturas y las longitudes de llamas que alcanzan en el horno. Por su parte los quemadores de la Unidad # 4 son del tipo HT-PS (*Hitachi Primary Swirl*) modernizados en la rehabilitación de la Unidad en el año 2008, los mismos son parte de una gran gama de quemadores desarrollados por Babcock-Hitachi K.K. y la empresa Sueca Emprima.

Estos quemadores se caracterizan por el uso de tres tipos de aire en la combustión, aire primario que va directamente a la zona de combustión, aire secundario que produce un vórtice en la llama buscando acortar esta y estabilizar la combustión y un aire terciario que puede ser suministrado a la zona de combustión en caso de que esta no tenga la cantidad de oxígeno requerida, estos tres tipos de aire son regulados logrando un balance de los mismos, los quemadores llegan a operar con valores de NO_x por debajo de 175 ppm.

Combustibles

La entidad en sus unidades de generación consume varios tipos de combustibles, esta propuesto que ambas unidades quemen el Crudo Nacional PCM 1400 y el gas natural licuado en sustitución del Fuel Oil de importación, el gas será suministrado por la nueva gasificadora que será distribuido a través de una red de Gasoductos a parte del territorio nacional, y por la estación de rebombeo desde la Refinería Camilo Cienfuegos (sin ningún tipo de almacenamiento).

En el **Anexo No.25** se muestran las características de este combustible, estas características de conjunto con otro tipo de elementos tecnológicos propios de la unidad, 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 26**), 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 3.4** muestra la emisión de los gases contaminantes a escala local, regional y global expedidos en dicho proceso.

Tabla 3.4 Factores de emisión (ton/MW.h generado) de varios tipos de contaminantes gaseosos.

Fuente: Elaborado a partir de SEIA.

Factores de emisión		
Emisiones Gaseosas	UM	GNL
Dióxido de Carbono (CO ₂)	t/MW.h	0,166894
Monóxido de Carbono (CO)	t/MW.h	0,0000332
Metano (CH ₄)	t/MW.h	0,0000016
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	t/MW.h	0,000312
Dióxido de Azufre (SO ₂)	t/MW.h	7,36E-08
Óxido Nitroso (N ₂ O)	t/MW.h	4,8E-07

3.2.2.1 Régimen Químico

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:

Fosfato de sodio: Las soluciones de fosfatos de sodio se dosifican con dos objetivos fundamentales:

- 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: Se dosifica a la caldera con los siguientes objetivos:

- Captador de oxígeno disuelto en el agua.
- Inhibidor de la corrosión.
- Como agente alcalinizador.

Sulfato Ferroso: Se dosifica en el agua de mar para:

- 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. La **Tabla 3.5** que se muestra a

continuación muestra el consumo de estas sustancias para 1MW en la unidad 3 según el informe de factibilidad para el GNL.

Tabla 3.5 Consumo de sustancias químicas en la unidad 3 y 4 en el período comprendido entre los años 2008 al 2010. Fuente: (Bermúdez, 2011).

Sustancias Químicas	(1 MW)
Cantidad de Fosfato Trisódico (Na_3PO_4)	0,23428893
Cantidad de Hidracina (H_4N_2)	0,36142677
Cantidad de Sulfato Ferroso (FeSO_4)	3,48750914

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 lacado de los CAR

El lavado del CAR se realiza para disminuir el diferencial de presión creado por la deposición en los cestos de material particulado y hollín producto de la combustión, debido a las características del combustible, en la combustión del mismo no se generan residuales sólidos contaminantes dentro del CAR.

3.2.3 Generador eléctrico y Turbina

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 3.6** 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 hidrógeno, 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 hidrógeno y aire dentro del generador es uno de los parámetros más seguidos en la operación ya que una mezcla inadecuada de estos elementos conllevaría a resultados fatales.

Tabla 3.6 Cantidades de hidrógeno y aceite así como las respectivas factorizaciones a una unidad de producto.

ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS CONSUMOS DE HIDRÓGENO Y ACEITES		
ENTRADAS	UM	Cantidad
		1 MW
Hidrógeno	g	0.093540908
Aceite	litros	0,007971084
SALIDAS		
	UM	Cantidad
Aceite recuperado	litros	0,014709182

Gases de Combustión

Los residuos de una Central Termoeléctrica impactan directamente sobre el medio ambiente de ahí que uno de los inventarios propuestos para el análisis sean los gases producto de combustión del GNL. Estos gases, son los responsables del aumento de temperatura terrestre conocido comúnmente como efecto invernadero y también de las llamadas lluvias ácidas.

3.2.3.1. Descripción del proceso de preparación y quema del combustible

El sistema de combustible está formado por:

Una estación de bombeo y compresión para el manejo del gas natural licuado y vapores de la refinería y una de rebombeo con tuberías de interconexión para aumentar el flujo de combustible, la que se encontrará en las cercanías de la termoeléctrica, la cual contará además con una unidad de regasificación, siendo la capacidad de regasificación de 37.99 m³/hora. Esta unidad es un equipo de intercambio de calor donde el gas natural licuado experimenta un cambio de fase debido a un aumento de temperatura, el aumento de temperatura se logra mediante la interacción de la corriente de gas natural licuado con un fluido de transferencia de calor, es de aclarar que únicamente se tiene intercambio de calor, no hay contacto directo entre los fluidos y el diseño está basado en utilizar calor recuperado en la planta de generación de electricidad, el calentamiento se realiza debido a que hay que darle al combustible una temperatura previa que permita su trasiego hasta los calentadores de GNL.

La temperatura y el nivel se controlarán por autómatas que enviarán las señales de control a la válvula reguladora. Cuenta además con tuberías de transporte de fluidos de proceso (circuitos de enfriamiento, agua de proceso, tuberías del sistema de espuma contra incendios, a lo que se añade un anillo de enfriamiento en su parte superior y fluidos auxiliares).

Cuatro bombas de fabricación japonesa, horizontales helicoidales de succión simple, accionadas por un motor de 380 V desde el panel de caldera y son las encargadas de suministrar el combustible para los arranques y paradas a través del sistema hasta los quemadores de la caldera. Para evitar el paso de partículas mecánicas que puedan dañar la bomba, esta posee dos filtros mecánicos en la succión. La bomba posee un husillo central y dos husillos laterales libres entre los cuales se logra la presión de descarga; para evitar sobre presiones internas la bomba posee una válvula de alivio, además tiene un sistema de calentamiento para garantizar el calentamiento uniforme de las partes fijas y móviles. Las bombas están provistas de instrumentos de medición para controlar las presiones de succión y descarga, así como termómetros locales y transmisores de presión y temperatura.

Cuatro bombas de fabricación francesa y destinada a mover líquidos viscosos hasta 1500 cSt a 50°C aunque no se descarta la posibilidad de manejar otros líquidos. Las bombas son horizontales de doble cuerpo, con precalentamiento a vapor, accionadas por un motor trifásico de 380 V. Posee dos husillos motrices entre los cuales se crea la presión. Las bombas están provistas de instrumentos de medición para controlar las presiones de succión y descarga, así como termómetros locales y transmisores de presión y temperatura.

Existe un lazo de recirculación formado por un filtro, un flujómetro, el transmisor de flujo de recirculación, la válvula de control de recirculación y la válvula de aguja que garantiza el flujo adecuado de recirculación.

Construcción de los diagramas 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 No.27** se muestran las materias primas esenciales para la producción de la electricidad, 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.

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 openLCA.

3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto

En la **Figura 3.1** se muestra mediante un diagrama de Pareto como repercuten las distintas categorías de impacto en la producción de energía eléctrica a partir de una distribución porcentual de los impactos más significativos del análisis del ciclo de vida de la energía eléctrica con Gas Natural Licuado, en el método Eco-Speed.

De mismo se infiere que el Agotamiento de los Recursos representa el 53,83% y junto al Calentamiento Global (34,87%) representan el 80,70% del impacto total.

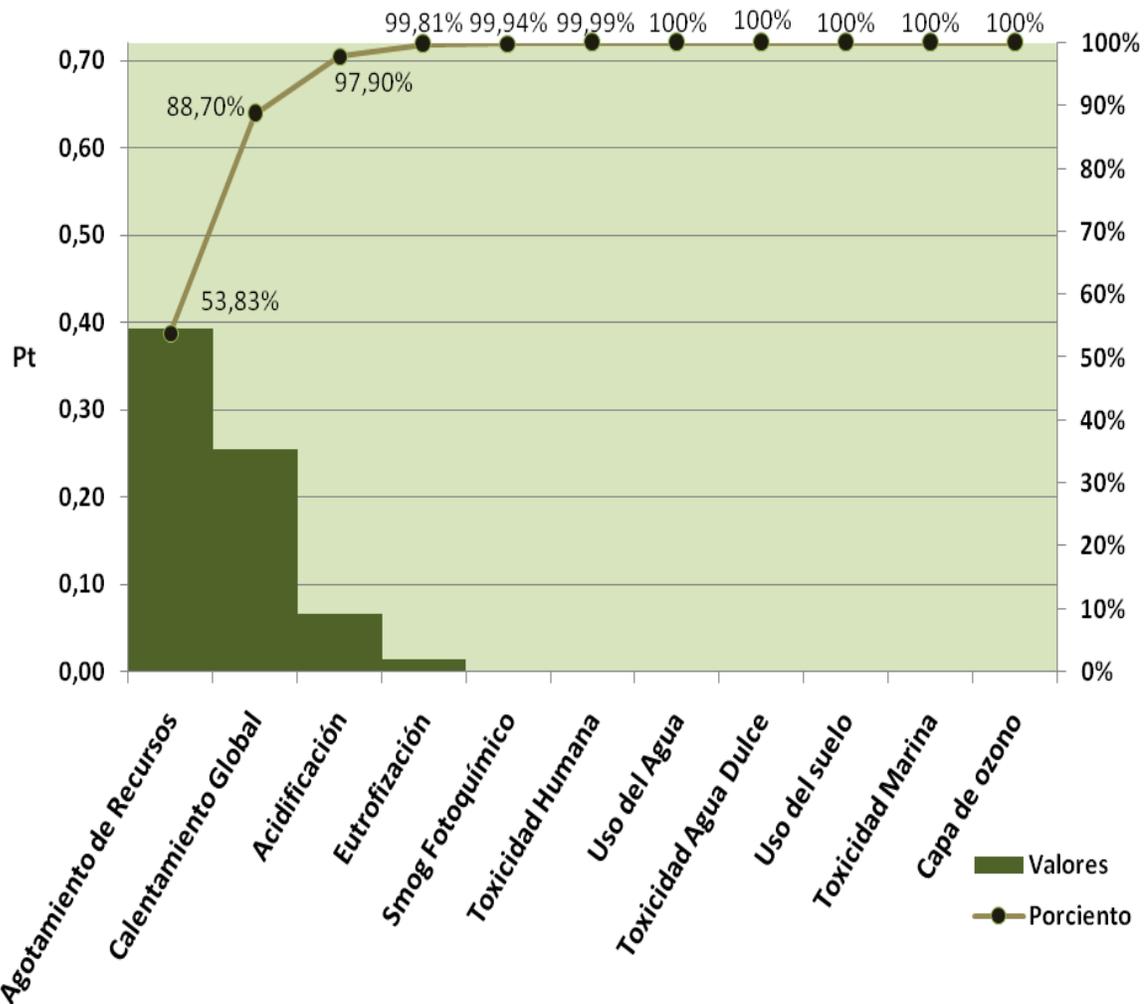


Figura 3.1 Impactos más significativos en la generación de energía eléctrica en la Termoeléctrica de Cienfuegos a partir del GNL.

En la **Figura 3.2** se representa la evaluación por categorías de daños, en la que se aprecia que el daño sobre los recursos y el daño a los ecosistemas son significativamente mayores que los daños a la salud humana, lo que está relacionado principalmente al calentamiento global y el agotamiento de los recursos.

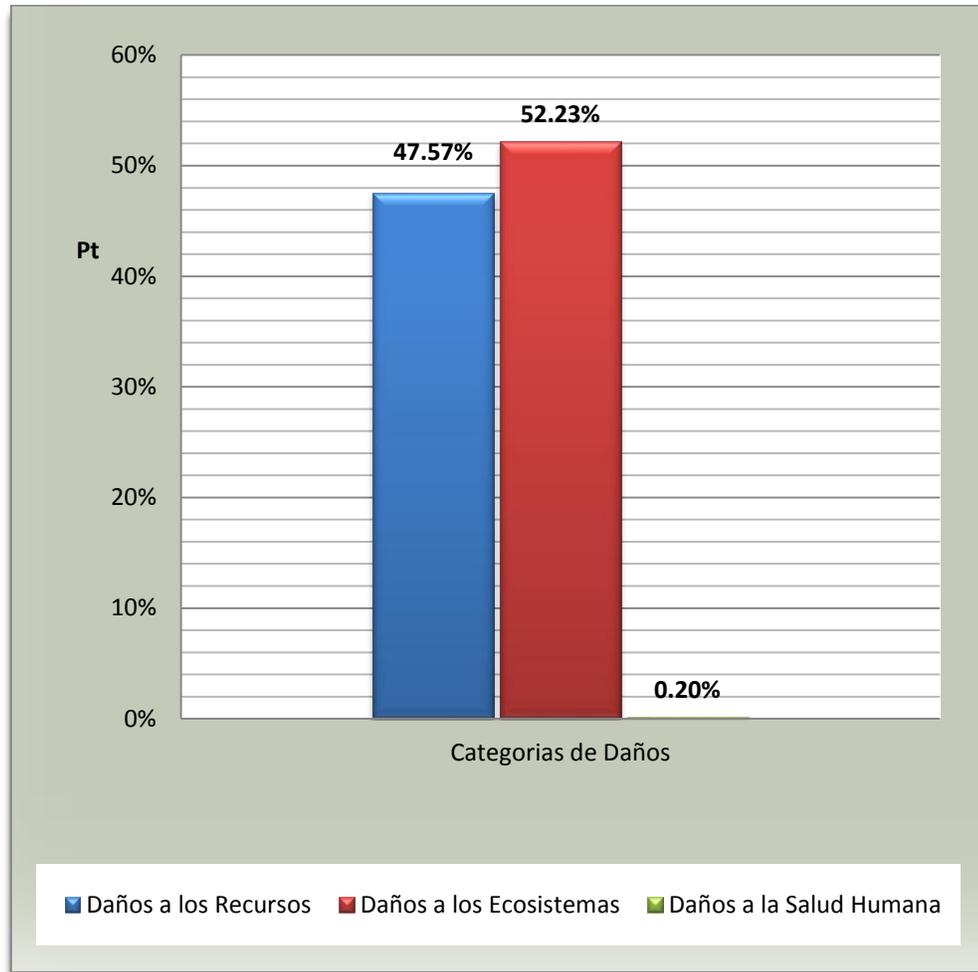


Figura 3.2 Evaluación de impacto ambiental por categorías de daños con el método Eco-Speed.

La utilización de la metodología Eco-Speed para la comparación de la forma de explotación de generación de electricidad a partir del FUEL OÍL¹³ y el GNL nos lleva a la obtención de resultados lógicos (**Anexo No.28**) donde se comprueban las mejoras en función de dichos resultados, una comparación entre ambos combustibles fósiles puede ser apreciada en la **Figura 3.3** mostrada a continuación:

¹³Nota: Los datos de la generación de electricidad a partir del fuel oil para la realización de este estudio fueron tomados de la base de datos pertenecientes a García (2011).

Single score results for Eco-Speed-World 2012

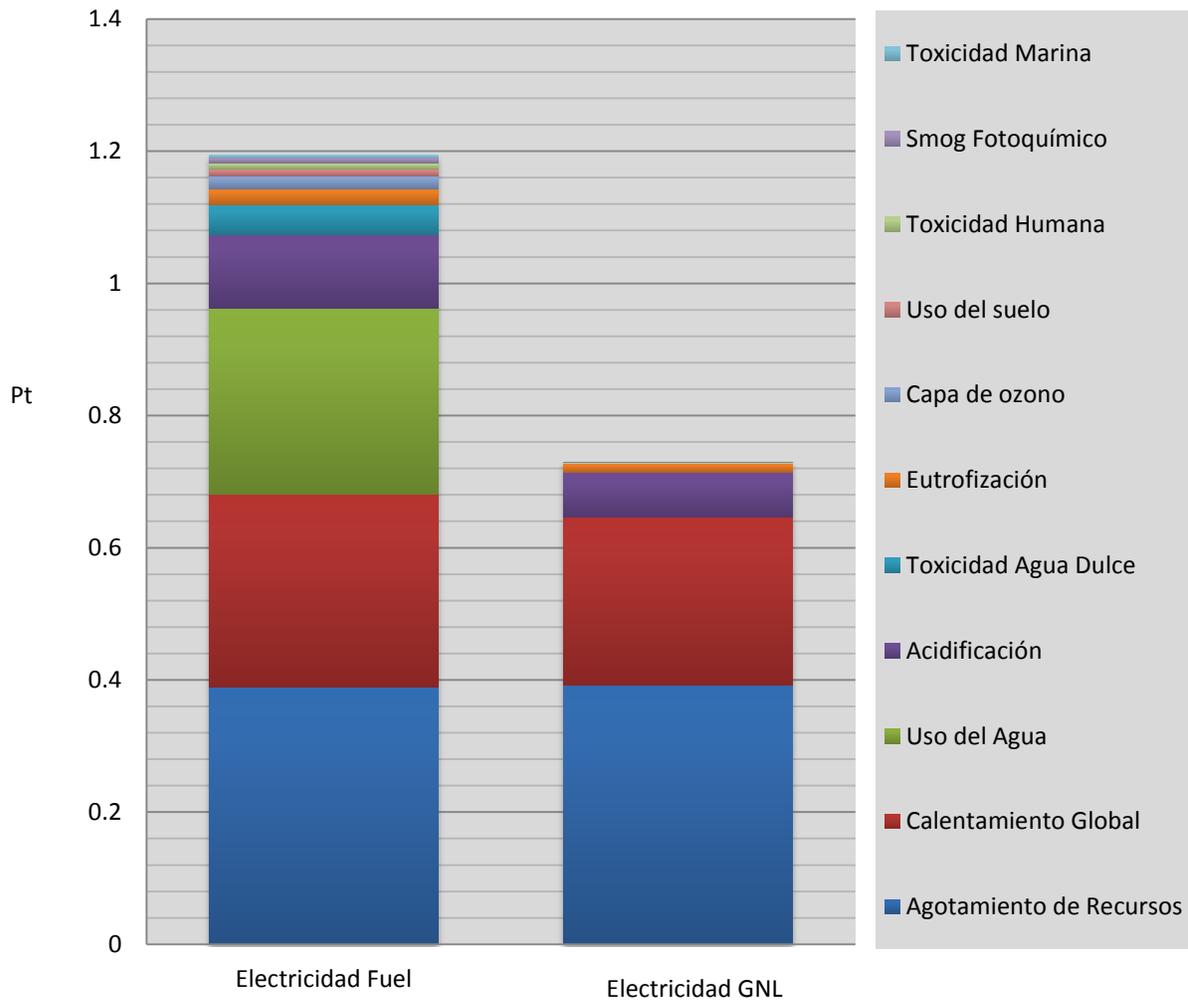


Figura 3.3 Comparación entre ambos combustibles fósiles mediante el ACV, a partir del Método Eco-Speed, en el openLCA.

En la **Figura 3.3** se muestra como a partir de los resultados de la metodología empleada, los valores de las categorías de impacto para el GNL, son menores que para el fuel oil, el mismo representa una disminución de un impacto ambiental comparado con el fuel de un 38.9%, esto no solo confirma la factibilidad del proyecto desde el punto de vista ambiental, sino que al mismo tiempo queda demostrada la hipótesis planteada para la investigación. Sin embargo el agotamiento de los recursos para el GNL es imperceptiblemente mayor que para el fuel oil, esto es debido a su bajo valor calórico con respecto al fuel oil (poder calórico del gas 8392 Kcal y para el Fuel Oil 10400 Kcal).

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 1MW.h tal como se enunció en el capítulo anterior responde a la sumatoria de cada una de las sub-huellas bases.

Cálculo de la sub-huella ENERGÍA

En la **tabla 3.7** se exponen cada una de las entradas de tipo energético que intervienen en el proceso de generación de energía a partir del gas natural licuado.

Tabla 3.7 Sub-huella ENERGETICA

VARIABLES DE ESTUDIO	CANTIDAD (ton/MW.h)	Kcal. liberadas	CANTIDAD GJ	SH _{ENERGIA}
Consumo eléctrico	0.080069684	776605.4758	3.251491806	0.045795659
GNL	0.222772277	1.973941	8.264494479	0.088865532

Tal como se puede apreciar la mayor cantidad y porciento equivalente es aportada por el insumo tecnológico el cual repercute de manera importante.

Cálculo de la sub-huella INSUMOS

La sub-huella de los insumos representada en la **tabla 3.8** 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 3.8 Sub-huella INSUMOS

VARIABLES DE ESTUDIO	CANTIDAD (ton/MW.h)	I.E. (Gj/ton)	Gj	SH _{INSUMOS}
Aceites y lubricantes	3.71E-06	43,75	0.000162439	4.03E-05
Hidrógeno	5.20E-08	35	1.82E-06	4.52E-07
Fosfato Trisódico (Na ₃ PO ₄)	1.09E-07	35	3.81E-06	9.48E-07
Hidracina al 4%(H ₄ N ₂)	1.68E-07	35	5.88E-06	1.46E-06
Sulfato Ferroso (FeSO ₄)	1.39E-06	35	4.86E-05	1.21E-05

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 72.99% y 21.84% equivalentes respectivamente de los volúmenes de los aceites y lubricantes y del sulfato ferroso.

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 3.9** 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 3.9 Sub-huella TIERRA

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

Cálculo de la sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA.

La sub-huella de la superficie construida tal y como se muestra en la **tabla 3.10** es el área construida dentro del área total de la instalación.

Tabla 3.10 Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA

Variable de estudio	Superficie total construida (ha)	Superficie construida por MW.h (ha/MW.h)	SH _{SUPCONST}
Área Total	17.48	0.970837	0.00000971

Cálculo de la sub-huella AGUA DE MAR.

La **tabla 3.11** ofrece la cantidad de hectáreas necesarias de la bahía por MW.h generado, teniendo 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 3.11 Sub-huella AGUA DE MAR

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

Esta sub-huella se determinó 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.

Cálculo de la HUELLA ECOLOGICA TOTAL

Resulta indispensable y concluyente el cálculo de la huella total, ya que la misma es un indicador de sustentabilidad del proceso. La **tabla 3.12** manifiesta cada una de las sub-huellas y el porcentaje equivalente de las mismas sobre la huella ecológica total del proceso de generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Tabla 3.12 HUELLA ECOLOGICA TOTAL

Sub-huella	Calculada (ha/MW.h)	Huella Total (ha/MW.h)	% Equivalente
ENERGIA	0.134661191	0.137271662	98.098318
INSUMOS	5.53E-05		0.040272
TIERRA	1.28E-01		93.457016
SUPERFICIE CONSTRUIDA	0.00000971		0.007074
AGUA DE MAR	0.00253265		1.844991

Los resultados de la tabla anterior demuestran que, de la sub-huella energía y de manera estratificada el uso de combustible (GNL) es el de mayor impacto sobre la huella total (98.09%), sin embargo, como se muestra en la siguiente figura, la cantidad de hectáreas necesaria para producir los recursos y mitigar el impacto de los residuos de la energía a partir del GNL es considerablemente menor que la necesaria para producir la energía a partir del fuel oil, pues se dejan de consumir un 23.46% de áreas biológicamente productivas.

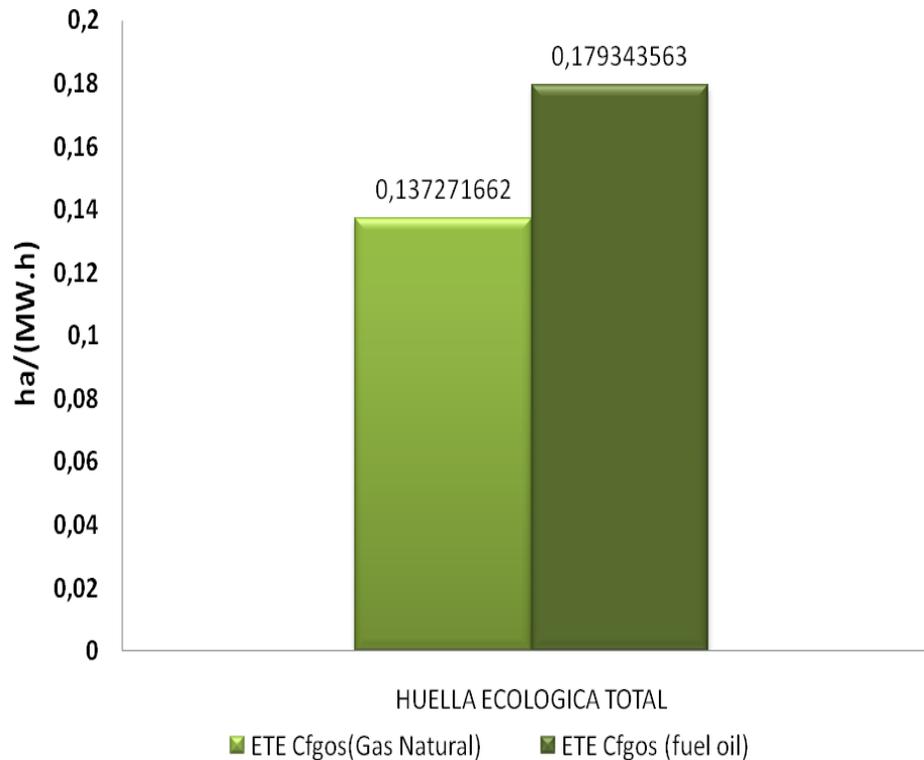


Figura 3.5 Huellas Ecológicas en la producción de energía a partir del GNL y el Fuel Oil

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 se muestra a modo de comparación en la **Figura 3.6**, está a su vez, solamente comprende las extracciones de aguas industriales y domésticas las cuales únicamente contribuyen a las aguas grises (residuales) mientras que las azules son aquellas de uso industrial que no se contaminan pero no regresan a las capacidades hídricas.

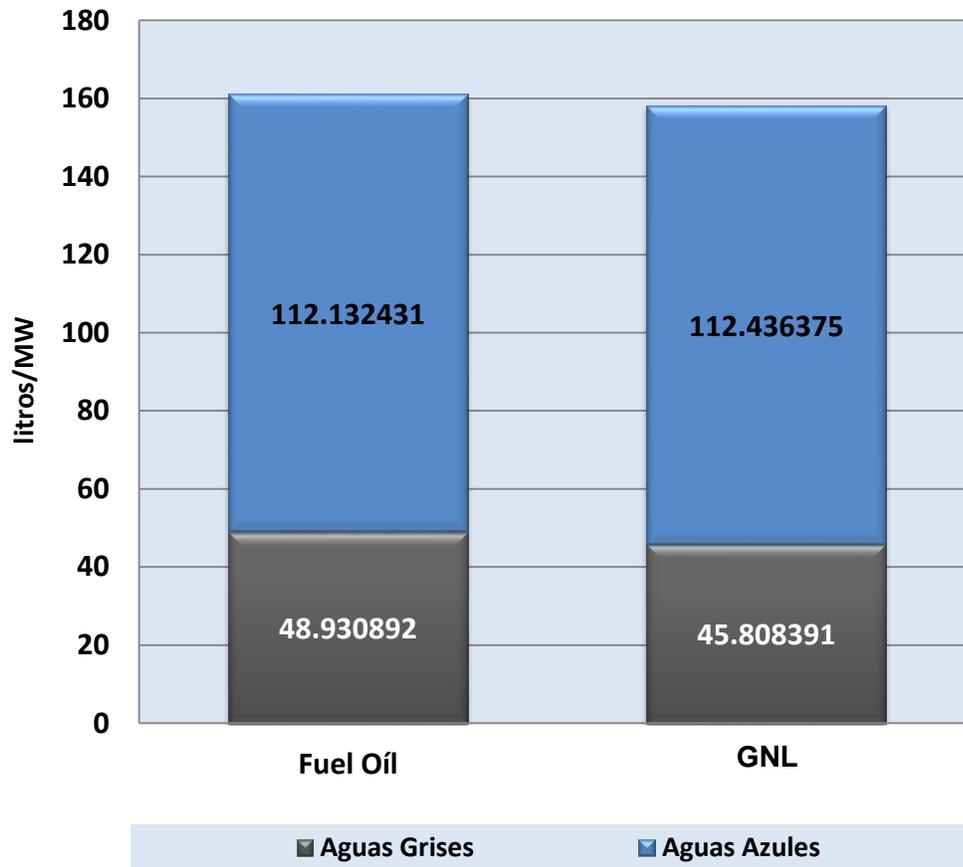


Figura 3.6 Comparación entre los diferentes tipos de aguas industriales pertenecientes a la huella hídrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos (factor equivalente a m³/MW.h)

Mediante la anterior comparación se demuestra como a partir del gas natural se obtiene un ahorro del volumen de agua utilizado de los recursos hídricos nacionales para producir la electricidad ya que se dejan de consumir 599724.01 litros anuales de agua cruda y existe una disminución en el vertimiento de aguas grises de 5622088.03 litros anuales.

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.

La utilización de la metodología Eco-Speed para la comparación de la forma de explotación del GNL para la producción de 1MW nos lleva a la obtención de resultados lógicos donde se evidencian las mejoras en función de los mismos.

A partir de la comparación anterior y en conjunto con el análisis brindado en el diagrama Pareto efectuado con los resultados del openLCA, se encuentra que el problema principal, en ambos casos, es el agotamiento de los recursos, de aquí que se propone primeramente, una tormenta de ideas con un equipo de expertos (**Anexo No.29**) para determinar todas las causas posibles que permita construir los diagramas causa-efecto de los **Anexos 30**, y mediante un análisis de

los modos y efectos de las fallas (AMEF)(**Anexo 31**) se llega a que de todas éstas, las causas más importantes son el bajo valor calórico del combustible y el alto uso de la energía para el gas natural y el fuel oíl respectivamente.

3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras

Una vez demostrado que el gas natural licuado constituye una mejor alternativa para la producción de energía eléctrica, solo queda determinar la manera más factible para usarlo en la Termoeléctrica de Cienfuegos, para ello se proponen algunas alternativas de mejoras, ya que las mismas permitirán mantener la potencia con la utilización del gas en 158 MW para cada unidad, con una disponibilidad superior al 85%, permitiendo alcanzar una generación anual en la CTE de 1 898 730 MWh, algunos de los índices esperados a alcanzar con el gas natural se incorporan en el **Anexo No.32**.

Mejoras de carácter primario para la producción de energía eléctrica con GNL:

Medidas medio ambientales:

- Rediseñar sistema de drenajes de petróleo, lavado de los CAR, agua industrial y albañales, para llevar estos a la nueva planta de residuales así como la aditivación del combustible líquido cuando sea usado.

Dado el inminente cambio de combustible por razones técnico-económicas, se decide identificar los cambios que son necesarios realizar, para lograr que ambos bloques puedan consumir el Gas Natural Licuado.

Caldera:

- ✓ Extracción de la parte inferior de las paredes de agua del Horno y Montaje de las nuevas Paredes de agua.
- ✓ Desmontaje del sistema existente de quemadores y montaje del nuevo Sistema completo de Quemadores Duales.
- ✓ Extracción de los Sobre-calentadores y Recalentadores de la caldera y Montaje de los nuevos agregados y los atemperadores del Vapor de los mismos.

Sistema Automático:

- ✓ Ampliación y modernización de Software del nuevo sistema de Control Distribuido DCS montado en el 2008, para asumir las nuevas regulaciones de lazos incorporados.
- ✓ Montaje del nuevo Panel *Relay Inter lock* para las nuevas funciones.

- ✓ Montaje de todo el Sistema de Regulación, Control, Instrumentación e Interconexión de campo
- ✓ Montaje del nuevo Sistema de Regulación Bombas Agua de Alimentar Caldera.
- ✓ Montaje del nuevo Sistema de Análisis de Combustión Caldera.

Otros Trabajos:

- ✓ Cambio de la Cubierta metálica e insulación de la caldera.
- ✓ Trabajos de apoyo.
- ✓ Pintura interior de los conductos de gases a la chimenea, para la protección anticorrosiva de los mismos.
- ✓ Pintura exterior de los conductos de gases y caldera.
- ✓ Contratación de medios y equipos de IZAJE para la Construcción.

Todas estas mejoras permiten una disminución de las emisiones de CO₂ en 112,20 kg, una reducción de las emisiones de NO_x en 0,433883426 kg y un descenso en el uso de los recursos de 301,695582 kg para 1 MWh, permitiendo de manera general una disminución en las categorías de impacto relacionadas con el agotamiento de los recursos y el calentamiento global. Las mejoras permiten además reducir el uso de la energía (portadores energéticos) significativamente a de 30,0786255MJ por MWh producido.

Precedentemente se plantea otras mejoras, las cuales están enfocadas a la producción de energía con gas natural, las mismas se determinaron a partir de los análisis realizados en la evaluación del impacto donde como resultado de la comparación del ACV entre el fuel oil y el gas natural, y conjuntamente con la aplicación de herramientas de la carrera, se determinó que el principal problema para el fuel era el uso del combustible, de ahí que se proponen estas mejoras; sin embargo, los análisis realizados también arrojaron que el gas natural no está exento deficiencias (bajo valor calórico del combustible), y con las mejoras que se ofrecen a continuación solo se pretende aumentar el desafío para cualquier ingeniero industrial, el cual está en cómo alcanzar y reoptimizar los objetivos ambientales y, al mismo tiempo, evitar el incremento de los costos de la energía como un factor de la producción, mejorando el rendimiento de la planta en términos de eficiencia y eficacia.

Mejoras de carácter secundario para la producción de energía eléctrica con GNL:

La propuesta es aprovechar el calor latente del vapor condensado en un economizador usado para precalentar el agua de alimentación al generador de vapor, con el fin de mejorar la

eficiencia. En la central reconvertida a gas natural los gases abandonan los calentadores de aire regenerativos a unos 150 °C (Blanco et al., 2006).

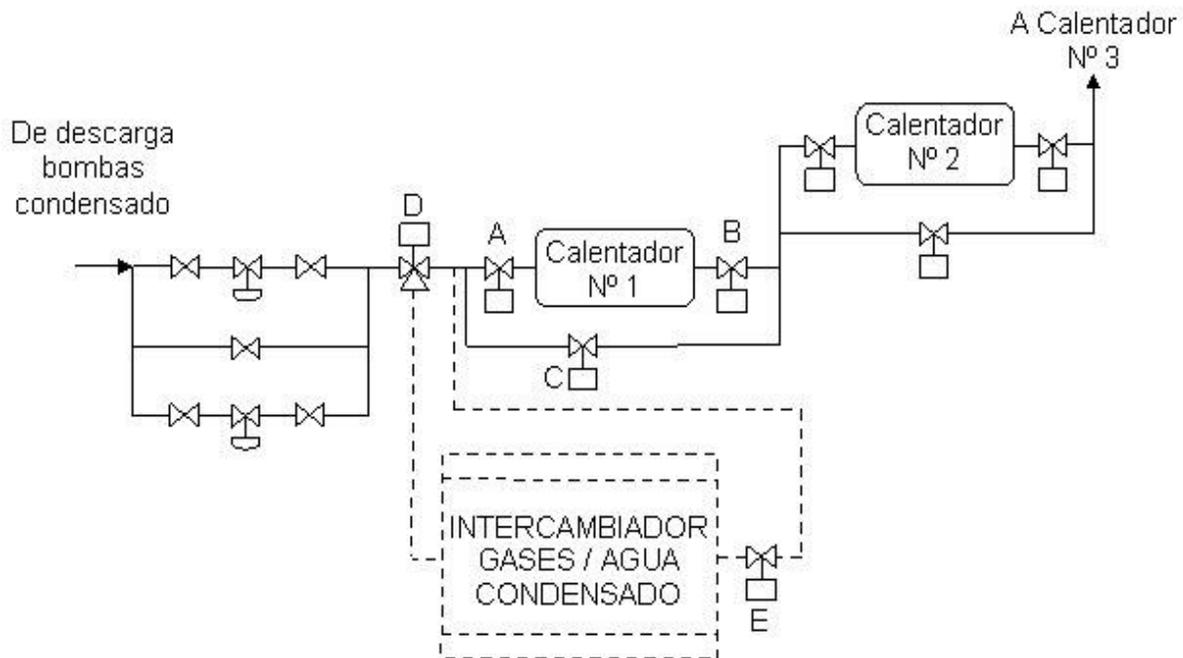


Figura 3.7: Modificación propuesta (línea discontinua) para el sistema de condensado.

La **Figura 3.7** muestra un esquema que ilustra la modificación que se propone para aprovechar el calor latente del vapor de agua de los gases de la combustión la cual se puede observar en línea discontinua.

Para establecer la alternativa más eficiente para realizar el plan de mejoras continuas a aplicar se realiza un 5W1H (**Anexo No.33**), aunque se debe considerar que para la central de fuel-oíl reconvertida a gas natural, las tres primeras soluciones mostradas en el anexo suponen una complicación adicional en la instalación al tratar de evitar el penacho aunque desde el punto de vista energético resultan más eficientes.

3.4.1 Análisis Económico

El monto de inversión del proyecto se ha estimado mediante ofertas de los proveedores oficiales, este valor esta desglosado en sus respectivos componentes, como se puede apreciar en la tabla que a continuación se exponen.

Tabla 3.13 Premisas para la evaluación económica

PREMISAS DE LA EVALUACION ECONÓMICA.
1. La evaluación del proyecto se realiza en CUC, USD y Moneda Total.
2. Tasas de actualización: 12 y 15 %.
3. La evaluación del proyecto abarca un período de 10 años.
4. Las fuentes de ingresos utilizadas para fundamentar la recuperación de las inversiones son: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Los ahorros que se generan en ambas unidades por concepto de sustitución del combustible (Fuel Oil) por la utilización del gas. ➤ Los cálculos que respaldan ambas fuentes de ahorro
5. Cronograma de ejecución: Se consideran los siguientes períodos de ejecución: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Unidad.3 un período de 12 meses, incluido el ajuste y la puesta en marcha, de Diciembre del 2012 a Diciembre del 2013. <input type="checkbox"/> Unidad.4 un período de 7 meses, de Julio del 2014 a Enero del 2015.
6. El proyecto en divisas posee la siguiente estructura financiera. <p style="text-align: center;">Crédito: 87.3%. Cuenta Única: 12.7%</p> <p style="text-align: center;">Una Tonelada de GNL es equivalente a 1414 m³.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> El precio del combustible se enmarcó para el Fuel Oil en 426.74 CUC/Ton y del GNL en 0.2158 CUC/m³, lo que es equivalente a 305.1414CUC/Ton, tomando como base el precio de 7 USD/MMBTU, el cual fue calculado por CUVENPETROL para la venta de GNL a la UNE, y en el cual está considerado la recuperación de las inversiones en el gasoducto y la regasificadora. El precio del mercado internacional del GNL es de 4.0 USD/MMBTU. ➤ El consumo específico bruto con fuel oil antes de la conversión a gas se enmarcó en 254 g/kWh y posterior a la misma se enmarcó en 237 g/kWh con combustible líquido y 243 g/kWh con GNL, además el consumo de gas se fijó en 0.315 m³/kWh. ➤ Las Kcal. requeridas por kWh generado se enmarco en 2652 Kcal.

A partir de las premisas económicas podemos determinar el costo de producir 1MW con fuel o con gas, ya que:

Tabla 3.14: Costo y ahorro de producir 1MWh a partir de GNL

	Fuel Oil	GNL
Precio combustible (CUC/ton)	426,74	305,14
Consumo específico(g/kWh)	237	243
Consumo específico(ton/MWh)	0,237	0,243
Precio de generar 1MWh(CUC)	101,13738	74,14902
Ahorro por concepto de generar 1MW	26,99	
plan de generación bruta anual	1898730	
Combustible consumido al año(ton)	449999,01	461391,39
costo del combustible al año(CUC)	192032577,5	140788968,7
AHORRO GENERADO	51243608,78	

El análisis económico fue desarrollado en función de los costos de la conversión de ambas unidades a gas (**Anexo No.34**) y de los ahorros alcanzados por la disminución del consumo específico de combustible y el insumo eléctrico, en el año 2010, año que se realizó el cálculo económico. Los cálculos que respaldan ambas fuentes de ahorro se adjuntan como **Anexo No.35**.

Otro aspecto que fue incluido en el cálculo fue la energía indisponible dejada de generar en los 12 y 7 meses que están previstos que dure la ejecución en la Unidad 3 y 4 respectivamente.

El precio de un MWh en dólares norteamericanos es de 5,918 \$USD (Fuente: Departamento Económico) y es el valor utilizado en los cálculos.

La carga promedio es de 120 MW porque los bloques regulan la frecuencia del SEN (Sistema Electro-energético Nacional) y normalmente no están en carga base (158 MW). El valor fue tomado del Departamento de Régimen

Gastos por energía dejada de servir (Unidad 3) =8640h * 120 MWh*5,918\$USD/MWh

Gastos por energía dejada de servir (Unidad 4) =5040h * 120 MWh*5,918\$USD/MWh

El valor resultante de la energía dejada de generar es de 6141532.56 (\$USD).

Por lo tanto el valor total del costo de la inversión y de la energía indisponible del período de la inversión (valorado en USD) es de 68187842.56 \$USD, y en correspondencia al ahorro por el

cambio de combustible (51243608,78 CUC) y teniendo en cuenta además que la evaluación del proyecto abarca un período de 10 años, se tiene que:

Período Simple de Recuperación (PSI)

$$PSI = \frac{\text{Costo de Inversión}}{\text{Ahorros Anuales Netos}}$$

$$PSI = \frac{68187842.56 \text{ CUC}}{51243608.78 \text{ CUC}}$$

$$PSI = 1.33 \text{ años}$$

Por el resultado del Período Simple de Recuperación la inversión resulta tentadora, pero se debe conocer el comportamiento del dinero en el tiempo para determinar las verdaderas ganancias del proyecto, por lo que se necesitan aplicar otras técnicas que demuestren la factibilidad de la propuesta. Así entonces se determina el Valor Actual Neto (VAN) para los flujos de caja proyectados para todos los años de evaluación del proyecto y se determina la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se calcula el Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

Resultados de la Evaluación Económica:

Para ello vamos a calcular el Valor Actual Neto (VAN) para los flujos de cajas que se proyectan para un período de cinco (10) años de evaluación de esta inversión. Se calcula además la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se analizan los valores de este cálculo

A partir de las consideraciones realizadas y explicadas en el acápite anterior, se identificaron y calcularon los flujos de egresos e ingresos de ambos proyectos y se aplicó el criterio de evaluación del Valor Actual Neto (VAN).

Los resultados de la evaluación del proyecto en sí se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 3.15 Resultados del Proyecto en Sí de ambas unidades (Divisas y Moneda Total).

Conversión a Gas Natural Licuado Unidad 3			
Proyecto en Si		MCUC	MCUP
VAN	12%	\$131.46	\$26.94
VAN	15%	\$105.73	\$9.59
TIR		40.00%	16.90%
Período de Recuperación	Años	3	7.2

Conversión a Gas Natural Licuado Unidad 4

Proyecto en Si		MCUC	MCUP
VAN	12%	\$163.03	\$79.31
VAN	15%	\$141.22	\$65.43
TIR		111.00%	48.00%
Período de Recuperación	Años	1	2.5

Los resultados alcanzados muestran que ambos proyectos son económicamente viables, así como que el Período de Recuperación, con las premisas de cálculo asumidas no excede en ningún caso a los 3 años en divisas.

Estos resultados calculados en la evaluación económica del proyecto de mejora, validan la factibilidad de la propuesta presentada por el autor de este estudio.

La inversión total está estructurada el 27.1 % en moneda nacional y el 72.9 % en divisas y el financiamiento abarca el 87.3% del monto en divisas, a través de dos crédito. Los términos y condiciones de estos son:

1^{er} préstamo Unidad # 3: 84443.7 MCUC

2^{do} préstamo Unidad # 4: 26153.7 MCUC

Tasa de Interés: 10.3% Anual

Período de Reembolso: 1 Año

Los resultados del proyecto con financiamiento en divisas y en moneda total se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.16 de Resultados del Proyecto con financiamiento de ambas unidades (Divisas y Moneda Total).

Conversión a Gas Natural Licuado Unidad 3

Proyecto con Financiamiento		MCUC	MCUP
VAN	12%	132.945	31.105
VAN	15%	109.407	15.862
TIR		54,8%	18,9%
Período de Recuperación	Años	2,7	6,4

Conversión a Gas Natural Licuado Unidad 4

Proyecto con Financiamiento		MCUC	MCUP
VAN	12%	163.454	80.578
VAN	15%	142.317	67.355
TIR		302.00%	61.00%
Período de Recuperación	Años	1	2,3

Como se observa ambos proyectos mejoran los resultados a partir de financiar el 63.6% del monto de inversión, que cubre el 87.3 % de la inversión en divisas, obteniéndose ahorros superiores a los 132.945MMCUC y 31.105 MMCUP. El cálculo del Flujo de Caja del Proyecto en Sí en MCUC y el Flujo de Caja del Proyecto en Sí en Moneda Total (MCUP), se encuentran en los **Anexos 36 y37** respectivamente.

La ejecución de este trabajo pudiera representar un negocio GANAR – GANAR. Gana el país que disminuiría sus costos por importaciones de combustible, gana el SEN que aumentaría su generación de electricidad y gana el medio ambiente al dejar de recibir volúmenes de emanaciones de gases que disminuirían los costos ambientales externos. La materialización de este trabajo sería un ejemplo y confirmación de la política del Estado en el cuidado del medio ambiente.

Conclusiones Parciales

1. Mediante la metodología Eco-Speed se comparan las categorías de impacto del proceso de generación de energía eléctrica a partir de fuel oíl y GNL determinándose que las categorías de impacto Agotamiento de los recursos, Calentamiento Global, Acidificación y Eutrofización son las que prevalecen en el modelo de análisis, para ambos combustibles.
2. La huella ecológica y la huella hídrica permiten determinar que la producción de electricidad a partir del GNL conlleva a un menor número de hectáreas necesarias para su mitigación y a un ahorro en materia de volumen hídrico.
3. Se demuestra la hipótesis de la investigación y se propone un grupo de mejoras que permiten usar al gas natural como combustible capaz de disminuirlas emisiones de CO₂ en 112,20 kg, las emisiones de NO_x en 0,434 kg y el uso de los recursos de 301,70 kg para 1 MWh, reduciendo además el uso de la energía (portadores energéticos) significativamente a de 30,08 MJ por MWh producido.
4. La factibilidad de la inversión queda demostrada desde el punto de vista económico cuando se determina que el proyecto es viable según los resultados alcanzados ya que,

el Período de Recuperación, con las premisas de cálculo asumidas no excede en ningún caso a los 3 años en divisas y presenta un ahorro por concepto de cambio de combustible de 51 243 608,78 CUC.



Conclusiones Generales

CONCLUSIONES GENERALES

1. El inventario del ciclo de vida del GNL posibilita la aplicación del método Eco-Speed, del que se infiere que el Agotamiento de los Recursos representa el 53,83% y junto al Calentamiento Global (34,87%) representan el 80,70% del impacto total.
2. La comparación de la generación de energía eléctrica a partir de fuel oíl y GNL permite determinar que el GNL representa una disminución del impacto ambiental comparado con el fuel de un 38.9%, y según la huella ecológica la cantidad de hectáreas necesaria para mitigar el impacto de la energía a partir del GNL es considerablemente menor al dejarse de consumir un 23.46% de áreas biológicamente productivas.
3. Se proponen un grupo de mejoras que permiten usar al gas natural y así disminuir las emisiones de CO₂ en 112,20 kg, las de NO_x en 0,434 kg y el uso de los recursos de 301,70 kg para 1 MWh, reduciendo además el uso de la energía a de 30,08 MJ por MWh producido, y a su vez presenta factibilidad económica con 3 años de recuperación de la inversión en divisas y presenta un ahorro por concepto de cambio de combustible de 51 243 608,78 CUC.



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Determinar la huella de Carbono del país en función de la contaminación que se produce a través de las centrales de producción de energía eléctrica.
2. Realizar la conversión a gas natural licuado en ambas unidades de la termoeléctrica con el fin de mitigar los impactos ambientales que esta produce a partir del fuel oil.
3. Proponer un grupo de indicadores capaces de medir y controlar el comportamiento de la producción de energía con respecto al medio ambiente.



Glosario

GLOSARIO

Aguas residuales: Aguas cuya calidad original se ha degradado, en alguna medida, como consecuencia de su utilización en diferentes acciones y procesos

Caldera: todo equipo cerrado en el cual se genera vapor de agua. Los supercalentadores, recalentadores, economizadores, u otras partes a presión, conectadas directamente a la caldera, sin intervención de válvulas, serán considerados como parte de la caldera.

Combustible: Sustancia sólida, líquida o gaseosa empleada para producir energía en forma de calor útil por medio de su combustión

Combustión: reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro que provoca o favorece la combustión. (Generalmente oxígeno), desprendiendo calor y produciendo un óxido. Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno.

Contaminación: Acción y efecto de añadir al agua materias o formas de energía, o inducirle condiciones que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en su relación con los usos posteriores o su función ecológica.

Contaminante Atmosférico: sustancia que ha sido incorporada directa o indirectamente a la atmósfera en las cantidades suficientes que pueda afectar adversamente la salud humana, los ecosistemas y el medio ambiente en general.

Cuerpo receptor: Todo cuerpo de agua (río, arroyo, lago, embalse, acuífero) que recibe directa o indirectamente la descarga o efectos contaminantes producto del vertido de aguas residuales

Desarrollo verde: puede ser visto en el sentido de dar prioridad a lo que algunos pueden considerar "sostenibilidad ambiental" sobre la "sostenibilidad económica y cultural". Sin embargo, el enfoque del "desarrollo verde" puede pretender objetivos a largo plazo inalcanzables. Algunas investigaciones parten de esta definición para argumentar que el medio ambiente es una combinación de naturaleza y cultura.

Descarga: Acción de descargar o verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado o cuerpos receptores

Ecodesarrollo: "una estrategia de desarrollo, basada en la utilización juiciosa de los recursos locales y del saber hacer campesinos aplicables a las zonas rurales aisladas del Tercer Mundo". El ecodesarrollo plantea una modalidad de desarrollo diferente a las actuales, poniendo énfasis en los estilos y características propias de los aspectos locales, tanto ecológicos, como socioculturales.

Ecoeficiencia: Es la capacidad de una entidad gestionada de satisfacer simultáneamente las metas de costo, calidad y rendimiento, su objetivo es reducir los Impactos Ambientales y conservar los recursos valiosos, para lo cual son necesarios procesos y productos más limpios y la utilización sostenible de los recursos.

Educación Ambiental: Proceso educativo mediante el cual el educando adquiere la percepción global y pormenorizada de todos los componentes del ambiente, tanto natural como social, de la interdependencia y el funcionamiento de los ecosistemas, de la necesidad de su preservación y de su compatibilidad con el desarrollo.

Efecto invernadero: es el efecto que producen algunos gases en la atmósfera de permitir la entrada de la radiación solar y evitar que se pierda el calor de la superficie terrestre especialmente durante la noche. Esto es un proceso natural y el principal causante del mismo es el CO₂. Las emisiones de estos gases (vapor de agua, ozono, metano, óxido nitroso NO₂) por las actividades humanas modifican sensiblemente este equilibrio y provocan un efecto invernadero adicional o incrementado que da origen a un sobrecalentamiento de la superficie terrestre y con este calentamiento ocurren cambios en el clima con su secuela de

impactos en prácticamente todos los componentes del medio ambiente.

Emisión o expulsión: descarga directa a la atmósfera por un conducto de escape de gases o aerosoles (incluye pequeñas gotas y material particulado) provenientes de una fuente emisora

Energía no renovable: Es la energía proveniente de combustibles fósiles y nucleares. Aportan el mayor porcentaje para la producción de energía eléctrica mundial, aceleran el efecto invernadero y el cambio climático global.

Energías renovables: Energías que se producen naturalmente en la Tierra, por acción de fenómenos naturales como el Sol (energía solar o fotovoltaica), los ríos (hidroeléctrica), el viento (eólica), la biomasa, las olas del mar y las mareas o el calor interior de la Tierra (geotérmica). Por su naturaleza estos tipos de energía son inagotables.

Fuente: Cuerpo de agua contenido en formaciones naturales o estructuras artificiales, desde las cuales se generen o se pueda generar el abastecimiento a los usuarios.

Hectárea Global: medida creada como unidad para medir esta "cantidad de planeta" necesaria para regenerar lo consumido por una persona, grupo o país.

Lluvias ácidas: son producidas por contaminantes relacionadas con los óxidos

de nitrógeno y azufre, la reacción de estos óxidos en la atmósfera terrestre con el vapor de agua presente en la misma produce los ácidos sulfúricos y nítricos que luego se precipitan en forma de lluvia dañando los suelos, cultivos, construcciones, el agua y los alimentos.

Material paniculado: material sólido o líquido finamente dividido, cuyo diámetro es inferior a cien micrómetros.

Mejores prácticas: Son las acciones o recomendaciones publicadas, tecnologías empleadas o destrezas industriales instrumentadas en el mundo, que permiten elevar la eficiencia para alcanzar un objetivo o resultado con un menor requerimiento de recursos, o que incrementan la efectividad reduciendo el margen de incertidumbre para alcanzar un objetivo o resultado claramente definido, ambas, eficiencia y efectividad, considerando la disminución de riesgos de daños o perjuicios a las personas, a los bienes o a la naturaleza.

Nivel de emisión: es la concentración y/o masa por unidad de tiempo o de producto de un contaminante vertida a la atmósfera en un período determinado.

Norma de calidad del aire: documento donde se establecen los valores de las concentraciones máximas admisibles (Cma) para los contaminantes presentes en la atmósfera, condiciones a variación

según el desarrollo de las investigaciones pertinentes.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Valor actual neto procede de la expresión inglesa *Net present value*. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los *flujos de caja* futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Turbina de gas: máquina que transforma la energía térmica de gases de combustión en trabajo mecánico para generar energía.

Valor Actual Neto (VAN): La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad

Vertido: Acción de descargar o verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado o cuerpos receptores

Límite máximo permisible promedio: Valor de la concentración promedio de un parámetro contaminante que no debe ser

excedido por el responsable de la
descarga de aguas residuales.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- AENE. Consultoría Ambiental. (1998). Guía para la ecoeficiencia. Fundación fórum ambiental.
- Álvarez, M. de los A. A. (2007). *Planificación, Control y Mejora del Proceso de Calibración/Verificación de los instrumentos de medición*. CUJAE, La Habana.
- Andræ, A. S. G., Möller, P., Anderson, J., & Liu, J. (2004). *Uncertainty Estimation by Monte Carlo Simulation Applied to Life Cycle Inventory of Cordless Phones and Microscale Metallization Processes*. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* (Vols. 1-27, Vol. 4).
- ATMOS-02.pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.selper-mexico.org.mx/XT%20PDF/ATMOSFERA/ATMOS-02.pdf>
- Babbitt, C. W., & Lindner, A. S. (2008). A Life Cycle Comparison of Disposal and Beneficial Use of Coal Combustion Products in Florida. Part 1: Methodology and Inventory of Materials, Energy, and Emissions. *Int J LCA* 13 (3), 202–211.
- Baker, J. W., & Cornell, C. (2003). *Uncertainty Specification and Propagation for Loss Estimation Using FOSM Methods*. Berkeley, California.
- Baker, J. W., & Lepech, M. D. (2009). *Treatment of Uncertainties in Life Cycle Assessment*. Stanford University, Stanford, USA.
- Bartlett, A. A. (1999). *Reflexiones sobre sostenibilidad, crecimiento de la población y medio ambiente en Focus* (Vols. 1-9, Vol. 1).
- Bennett, L., & Derrough, M. (1996). *Electricidad, salud y medio ambiente: Selección de opciones sostenibles* (INFORME ESPECIAL) (pp. 28–35). BOLETÍN DEL OIEA.
- Bermúdez, F. G. (2011). *Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos* (Trabajo de Diploma, Ingeniería Industrial). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba
- Borrero, A., & Monteagudo, F. (2006). *Gestión y economía energética* (Editorial Universidad de Cienfuegos.).

- Brito Castillo, J. (2006, October). USO DE GAS NATURAL EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD. *Dolarización Ecuador Joyce Ginatta*. Retrieved from www.dolarizacionecuador.com
- Brundtland Report: Our common future | Sustainable Cities. (2012, March 30). Retrieved March 30, 2012, from <http://sustainablecities.dk/en/actions/a-paradigm-in-progress/brundtland-report-our-common-future>
- Bueno González, E. (2001). CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL CENEAM. Retrieved from www.mma.es/ceneam Nuestra huella ecológica / Ester–CENEAM/
int.ceneam@oapn.mma.es
- CAPITULO_12.pdf.(n.d.). Retrieved from http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/spanish/CAPITULO_12.pdf
- Carballo Penela, A. (2009). *La huella ecológica de bienes y servicios: desarrollo de un método decálculo y aplicación al ciclo de vida del mejillón en conserva en Galicia* (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Carbon Trust.(2007). Carbon Trust.*Carbon footprint measuring methodology 1.3*.Retrieved from <http://www.carbontrust.co.uk>
- Cardim Filho, A. de C. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento* (Doctorado en Ingeniería Civil). Universidad Politécnica De Cataluña, Barcelona, España. Retrieved from <http://www.icce.es/icce/articulo29.htm>.
- Caselles Joana, J. M. (2003). GESTIÓN POR PROCESOS: INNOVACIÓN Y MEJORA. Retrieved from www.delfos.co.cu/boletines/bsa/PDF/GBP4.pdf
- Chambers, N., & Lewis, K. (2001).*Ecological Footprint Análisis: Towards a Sustainability Indicador for Business* (ACCA No. 65). Oxford, UK.: University of Oxford. Retrieved from http://www.accaglobal.com/pubs/publicinterest/activities/research/research_archive/23906.pdf
- Chapagain, A., & Hoekstra, A. (2004).*Water footprints of nations*. No.16 (Vol. Volume 1: Main Report, Value of Water Research). UNESCO-IHE.

- Ciroth, A. (2007). New LCA Software. ICT for Environment in Life Cycle Applications openLCA – A new open source software for Life Cycle Assessment. *Int J LCA* 12 (4), 209–210.
- Ciroth, A., & Srocka, M. (2008). Uncertainties in LCA. *Int J LCA* 13, 3, 265–277.
- Conesa, V., & Fernández, V. (2005). Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA). Retrieved April 29, 2012, 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)
- Cordero Hernández, A., & Pérez Noa, C. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos* (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Delgado, F., Rist, S., & Escobar, C. (2010). *El Desarrollo Endógeno Sustentable como interfaz para implementar el Vivir Bien en la gestión pública boliviana* (AGRUCO-CAPTURED/ PLURAL.).
- Dobón, A. (2009). *Herramientas Informáticas para el ecodiseño*. Instituto Tecnológico del Embalaje Transporte y Logística ITENE.
- Doménech, J.L. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible* (AENOR Ediciones.). Madrid, España.
- Doménech, Juan Luis, Carballo Penela, A., & García Negro, M. (2009). El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella corporativa del carbono (HCC). *DELOS2*, 1/9.
- Doménech Quesada, J. L. (2012). *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*. Argentina. Email-jdomenech@puertogijon.es
- Dones, R., Heck, T., Emmenegger, M., & Jungbluth, N. (2005). *Life Cycle Inventories for the Nuclear and Natural Gas Energy Systems, and Examples of Uncertainty Analysis*.
- Dueñas, L., García, H., & Espinoza, J. (2004). *Caracterización de un Sistema de Gestión de Información Científico Tecnológica con enfoque a procesos: garantía para la mejora continua*. Estudio de caso.
- Ebel, & Kissmann, S. (2011). *Ra Ximhai*. 1, 7(enero-abril), 69–79.

- Ecodiseño Centroamérica. (2008). Revista Trimestral Latinoamericana Caribeña de Desarrollo Sustentable.
- El Gas Natural Información sobre el gas natural. (2012, May 1). Retrieved May 1, 2012, from <http://www.minetur.gob.es/energia/gas/gas/paginas/gasnatural.aspx>
- Energía de Gas Natural. (n.d.). *Energías Renovables*. Retrieved from www.erenovable.com
- Ferret, R., Mendoza, G., & Castilla, M. (2004). *The Influence of Agricultural Data Uncertainty in the Life Cycle Assessment of Biodegradable Hydraulic Lubricants.*, (Vol. 6). SPAIN.
- Finnveden, G. (2008). A world with CO₂ caps. Electricity production in consequential assessments. *Int J Life Cycle Assess* 13, 365–367.
- Francés, L. M. (2010). Reparaciones en termoeléctricas cubanas. *RADIO REBELDE*. Retrieved from www.radiorebelde.com
- Fundación Prointec, & CLUB Asturiano de Calidad. (2007). *La Metrología Dimensional en Asturias*.
- García, J. M. B. (2011). *Aplicación de instrumentos de Economía Ecológica con enfoque de Producciones Más Limpias en el proceso de producción de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos* (Tesis presentada en opción al título de Máster en Producciones Más Limpias). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Garrido, A., Llamas, M., Varela Ortega, C., Novo, P., Rodríguez Casado, R., & Aldaya, M. (2010). *Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain: Policy Implications*. (Springer, New York.).
- GBP4.pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.delfos.co.cu/boletines/bsa/PDF/GBP4.pdf>
- GFN. (2010). *The 2010 National Footprint Accounts. Red de la Huella Global*. San Francisco, EE.UU. Retrieved from www.footprintnetwork.org
- Gil Martínez, D. (2010). *Aplicación de un procedimiento para la mejora del Proceso de Gestión de Seguridad y Salud del Trabajo en la Sucursal Servisa Cienfuegos*. (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

- Gobierno Vasco. (2003). Medio Ambiente en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Retrieved April 4, 2012, from www.ingurumena.net
- González Glez, A., I.G. & C.L. (2006). Enfoque para el diseño del Sistema de Gestión Integrado. Cuba: ISPJAE-Facultad de Ingeniería Industrial.
- Gorrée, M., Huppés, G., Kleijn René, D. K., Arjan, V. O., Sleeswijk, L., Wegener, A., Suh, S., et al. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. (B. GinnéeJeroen, Ed.). Netherlands, Amsterdam: Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- HERRAMIENTAS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS. (n.d.). Retrieved from <http://www.euskalit.net/nueva/images/stories/documentos/folleto4.pdf>
- Historia de la medición - EcuRed. (2012). Retrieved January 10, 2012, from http://www.ecured.cu/index.php/Historia_de_la_medici%C3%B3n
- Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2007). A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia (Spain). *Int J LCA* 13 (1), 57–64.
- Humberto Gutiérrez Pulido, & Román de la Vara Salazar. (2007). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (Vols. 1-2, Vol. 2). Félix Varela.
- IEA.(2011). Key World Energy Statistics 2011. Retrieved April 23, 2012, from http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf
- Iglesias, D. . (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>
- Importancia de la Metrología en la Calidad de Los Alimentos- Laura Regalado.pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.cenam.mx/pabiertas/arch/ponencias/Importancia%20de%20la%20Metrolog%C3%ADa%20en%20la%20Calidad%20de%20Los%20Alimentos-%20Laura%20Regalado.pdf>

- Inventarios Bolivia 1990 - 2000 .pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.mmaya.gob.bo/webpncc/RED%20DE%20INVESTIGACION/PRESENT.%20NVEST.NACIONAL/5Inventarios%20Bolivia%201990%20-%202000%20.pdf>
- Irene Franco. (2012). Metrología - Monografias.com. Retrieved February 1, 2012, from <http://www.monografias.com/trabajos53/metrologia-y-calidad/metrologia-y-calidad.shtml>
- Jolliet, O., Margni, M., & Colectivo de Autores. (2003). *A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*.
- Labelle, L. (2002). Definición del concepto de Desarrollo Sostenible. *Portada RDS-HN, Desarrollo Sostenible*. Retrieved April 2, 2012, from <http://rds.hn/index.php?documento=603>
- Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos medio ambiente y desarrollo*. Santiago de Chile.
- Lenzen, M., & Murray, S. (2001). A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* (pp. 229–255).
- Ley No. 81 del Medio Ambiente*. (n.d.).
- Livert Aquino, F. (2011). Ecoeficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en Asia y América Latina. *Estudio de mecanismos de financiamiento de la infraestructura urbana utilizando criterios de ecoeficiencia*.
- López, C., Fernández, P., Manso, A., Wallo, R..., Guevara, A..., León, A., García, M..., et al. (2009). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. República de Cuba* (p. 320). La Habana: Instituto de Meteorología.
- Martin. (2008). Revista ECOCIENCIA & NATURALEZA. *La Gestión Ambiental. Herramientas para el Desarrollo Sustentable*, 6, 8.
- Martinez, E. (2008). Revista trimestral Latino Americana y Caribeña de Desarrollo Sostenible. Retrieved from http://www.revistafuturos.info/futuros_3/gestion_amb.htm
- Martínez, E. (2003). Revista Trimestral latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable.

Martínez H, Rogelio A. (1991). Gerencia en procesos de mejora. *Revista Productividad*.

MdA-Scoring-AHP.pdf. (n.d.). Retrieved from
<http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>

Medición - Wikipedia, la enciclopedia libre. (2012, January 10). Retrieved January 10, 2012,
from <http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n>

Mejías Sedeño, E., & Manso Jiménez, R. (2010). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES PRODUCIDOS POR INCENDIOS, DETECTADOS POR SATÉLITE EN LA CIÉNAGA DE ZAPATA. CUBA. Email-eva.mejias@insmet.cu/ricardo.manso@insmet.cu.

Metrología (página 2) - Monografias.com. (2012). Retrieved January 31, 2012, from
<http://www.monografias.com/trabajos53/metrologia-y-calidad/metrologia-y-calidad2.shtml>
metrologia-basica.pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.metrologia-ema.com/pdf/metrologia-basica.pdf>

Minería y Energía.pdf. (n.d.). Retrieved from
<http://www.one.cu/aec2010/datos/10%20Mineria%20y%20Energia.pdf>

Ministerio del Poder Popular para el Comercio. (2012, Venezuela). Tipos de Metrología | SENCAMER. Retrieved February 1, 2012, from <http://www.sencamer.gob.ve/node/29>

Monteagudo, K. (2007). A todo fuel. *Revista Bohemia, Habana, Cuba*, 30–32.

Murray, J., & Dey, M. (2007). *Assessing the Impacts of a Loaf of Bread*. Sydney, Australia.

Naciones Unidas. (2002). Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible.

Naciones Unidas. (2005, October 24). Documento Final de la Cumbre Mundial 2005.

NC-ISO 14 042. (2001). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida*.

Niebel, B., & Freivalds, A. (2001). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo* (Décima edición, Editorial: Alfaomega.). México, D.F.

Nuestro futuro comun.pdf. (n.d.). Retrieved from
<http://www.oarsoaldea.net/agenda21/files/Nuestro%20futuro%20comun.pdf>

OCDE. (1998). *Eco-efficiency*. Paris.

- Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (Ed.). (2010). *Anuario Estadístico de Cuba 2009*.
Habana, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización. (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. NC-ISO 14 049: 2001*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2000). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario. NC-ISO 14 041: 2000*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2001a). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. NC-ISO 14 042: 2001*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2001b). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida. NC-ISO 14 043: 2001*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2001c). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura. NC ISO 14040: 1999*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2004). "Sistema de Gestión Ambiental." NC ISO 14001:2004.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (1999). *VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LAS AGUAS TERRESTRES Y AL ALCANTARILLADO. ESPECIFICACIONES. NC 27: 1999*.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2010). *Calidad del Aire-Emisiones máximas Admisibles de Contaminantes a la Atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de Electricidad y de Vapor. NC TS 803:2010*.
- Oficina Nacional de Normalización, CUBA. (2009). Retrieved January 11, 2012, from <http://www.nc.cubaindustria.cu/metrologia.html>
- OLADE. (2010). Informe Esadístico Energético. Retrieved April 24, 2012, from www.olade.org/informe.html
- Organización Internacional del Trabajo. (2000). *La Salud y la Seguridad en el Trabajo: ERGONOMÍA*. Retrieved from www.monografias.com

- Peña, C. (2008). Life Cycle Assessment (LCA): a Methodological Tool for Industrial Sustainability. Presented at the 8th International Conference Clean.Technologies for the World Mining Industry, Santiago, Chile.
- Peña, M. D. (2009). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA* (Trabajo de Diploma, Ingeniería Industrial). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Peralta, F. R. G. de. (2011). *Evaluación del Impacto ambiental del proyecto de vivienda Biplanta Tradicional de la empresa IDEAR* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Perdomo, N. C. (2011). Producciones más Limpias. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Pérez Rave, J., J.A Ruíz C., & C. M. Parra M. (2007). Uso del enfoque por procesos en la actividad investigativa. *Revista chilena de Ingeniería*, 15, 260–269.
- Primack, R. et. al. (2001). Fundamentos de Conservación Biológica, Perspectivas Latinoamericanas.
- Quintero, G., Robledo, J., & Cruz, C. (2008). LOS NUEVOS CONCEPTOS SOBRE “AGUA VIRTUAL” Y “HUELLA HÍDRICA” APLICADOS AL DESARROLLO SOSTENIBLE: IMPLICACIONES DE LA AGRICULTURA EN EL CONSUMO HÍDRICO”. *agron.* 16(1) (pp. 7–26).
- Quispe Álvares, J. (2002). *Desarrollo sostenible, caracterización y análisis crítico*.
- Ramírez Cavasa, C. (2001). *Ergonomía y productividad* (Editorial Noriega LIMUSA.). Retrieved from www.audita.com.ar/ergo/ergonomia.html
- Remmen, A., Jensen, A. A., & Frydendal, J. (2007). *Life Cycle Management. A Business Guide to Sustainability*. Unep-Setac Life Cycle Initiative.
- Reyes, G. (2008). Comercio y desarrollo: bases conceptuales y enfoque para América Latina y el Caribe. Zona Económica. Retrieved April 2, 2012, from <http://www.zonaeconomica.com/concepto-desarrollo>
- Rieradevall i Pons, J. (2009). El Análisis del Ciclo de Vida. Email-joan.rieradevall@uab.es

- Rodríguez, M., & Espinoza, G. (2002). *Gestión ambiental en América Latina y el Caribe Evolución, tendencias y principales prácticas*. Retrieved from <http://www.iadb.org/sds/doc/Capitulo2.pdf>.
- Rodríguez, R. (2008). *Huella hidrológica de la agricultura española*. (Tesis presentada en opción al título de Máster). Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez, R. M. L. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Romero Rodríguez, B. I. (2004). *Tendencias Tecnológicas*.
- Ruiz, E. M., Carbonell, L. T., García, D. A., Ortega, E. P., Rodríguez, Y. F., García, J. M. B., Ranquin, I. C., et al. (2011, December 20). Estimación de emisiones de los gases de efecto invernadero en instalaciones energéticas seleccionadas. Editorial Cubaenergía.
- Sampieri, R. H. (2007). *Metodología de la Investigación* (Vols. 1-2, Vol. 1). La Habana: Félix Varela.
- Sánchez, G. (n.d.). Usos del gas natural. Retrieved from www.slideshare.net/energia/usos-del-gas-natural
- SENA, AENE.Consultoria Ambiental, & MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2006, February 20). *GUÍA AMBIENTAL PARA TERMOELÉCTRICAS Y PROCESOS DE COGENERACIÓN PARTE AIRE Y RUIDO*.
- Serrano, D., & Dufour, J. (2008). El Análisis del Ciclo de Vida de la Energía 1ra Parte. *Energía y Sostenibilidad*. Retrieved April 30, 2012, from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/05/22/92559>.
- Simmons, C., & Chambers, N. (1998). Footprinting UK Households: ¿how big is your ecological garden? *Local Environment*, 3, 355–362.
- Singhal, I. (2002). *La perspectiva del Desarrollo Sostenible en el Nuevo Contexto global*. La Paz, Bolivia: Cebem-CESO-SACO.

- Sobre el gas natural metano. (2012, April 22). Retrieved April 22, 2012, from <http://www.buenastareas.com/ensayos/Todo-Sobre-Gas-Met%C3%A1no-Gas-Natural/296432.html>
- Sonnemann, G. W., Castells, F., & Schuhmacher, M. (2003). *Integrated life cycle and risk assessment for industrial processes*. Lewis Publishers.
- Sonnemann, G. W., Solgaard, A., Saur, K., Udo de Haes, H., Christiansen, K., & Jensen, A. A. (2001). Life Cycle Management: Unep-Workshop. Sharing Experiences on LCM. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 325–333.
- Sterling, A. Y. (2002). El desarrollo sostenible, principio y objetivo común de la sociedad y el mercado, en la UE de nuestros días - Dialnet. Retrieved March 30, 2012, from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1176434>
- Stern, N. (2006). Stern review on the economics of climate change. Stern Review on the Economics of Climate Change, UK Treasury. Retrieved from <http://apo.org.au/?q=node/4420>
- Suárez Olivera, P. V. (2008). *Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González*. (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Suárez Rodríguez, J. A., Beaton Soler, P. A., & Faxas Escalona, R. (2011). ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LA ENERGÍA FÓSIL EN CUBA. *Tecnología Química*, 88–94.
- Suppen, N. (2007). *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. Retrieved from www.lcamexico.com.
- Suppen, N., & Hoof, B. van. (2005). *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. Bosques del Lago, Cuautitlan Izcalli, Edo. de México. Retrieved from www.lcamexico.com

- Travieso, D., & Cala, R. (2007). TRABAJOS TEORICO EXPERIMENTALES. Perspectivas de la generación de electricidad en Cuba a partir de la gasificación de biomasa. *energética* Vol. XXVIII, 3, 15–18.
- UNESCO. (2001). Declaración universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural.
- Unión de Petróleos de México. (1996). COMPONENTES Y FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL. Retrieved from http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.htm#2.1.
- Vargas, J. R. C. (2008). HISTORIA AMPLIADA Y COMENTADA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV). *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 72, 37–70.
- Velázquez Zaldívar, R. (2010). Contemporary models of human resources management. *Revista Trimestral*.
- Villa Glez del Pino, E. M., & Pons Murguía, R. Á. (2006). *Gestión por Procesos. Monografía*.
- Wackernagel, M., & Rees, W. Y. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Philadelphia, USA: New Society Publishers.
- WARK, K. (1990). *Contaminación del aire: Origen y Control* (2ª ed.). México: Edit. Limusa.
- WBCSD. (1992). Declaración de Rio. Presented at the Segunda “Cumbre de la Tierra,” Río de Janeiro.
- Wiedmann, T. (2009). Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction. *Economic Systems Research*, 21, 175–186.
- Wiedmann, T., & Lenzen, M. (2009). Unravelling the impacts of supply chains. A new Triple-Bottom-Line Accounting Approach (pp. 65–90). Netherlands, Amsterdam: En Schaltegger, S.; Bennett, M.; Burrit; R.; Jasch, C. Environmental Management Accounting for Cleaner Production, Springer.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008a). A Definition of 'Carbon Footprint. *Ecological Economic Research Trends* (Petsovam, C.C., Vol. Chapter 1, pp. 55–65). New Science Publishers.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008b). Ecological Economic Research Trends. *A Definition of 'Carbon Footprint'* (Petsovam, C.C. (ed.), Vols. 1-Chapter 1, pp. 55–65). New Science Publishers.

WWF Internacional, Global Footprint Network, & ZSL Living Conservation. (2010). Informe Planeta Vivo 2012. Retrieved April 22, 2012,

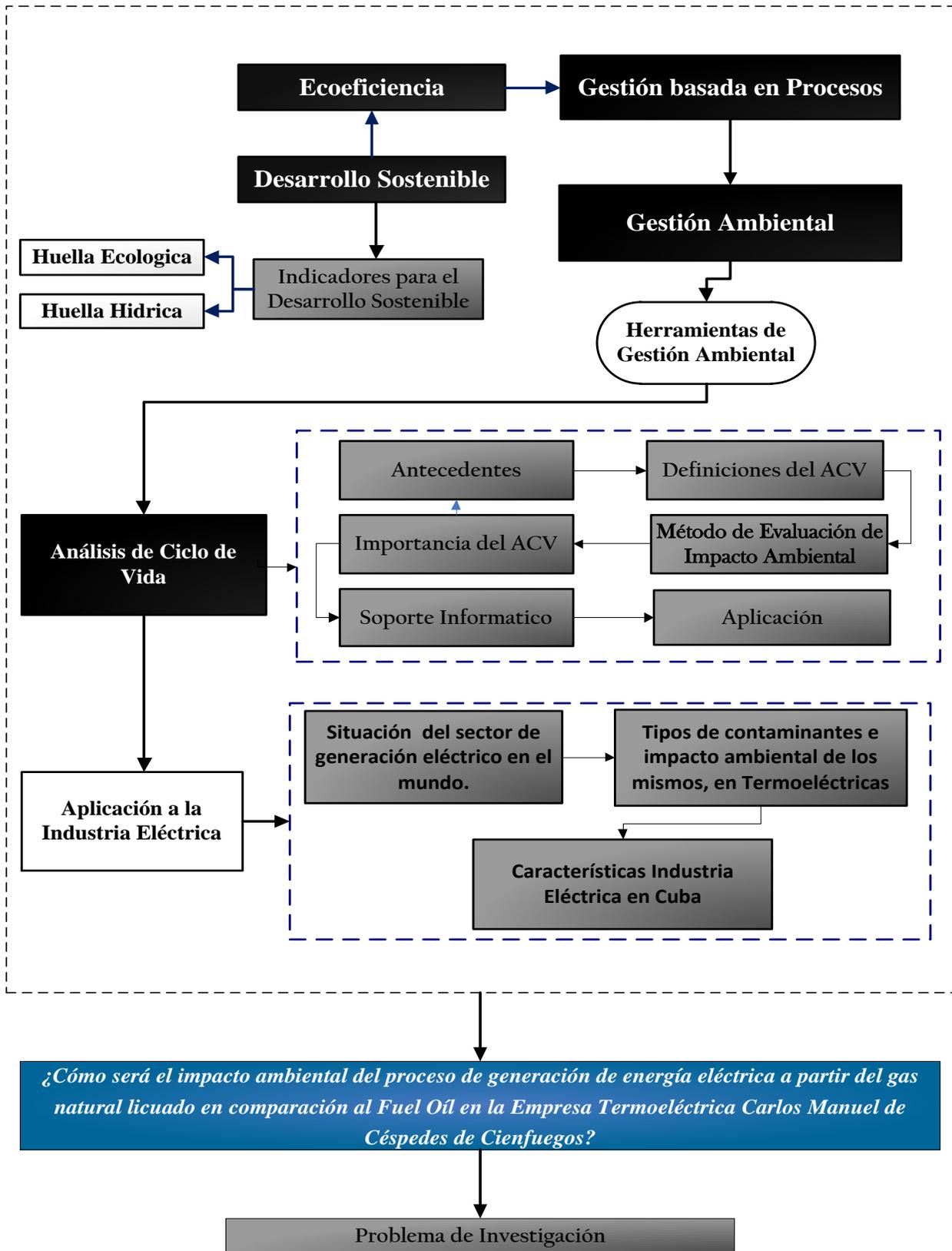
Zaratiegui, J. (1999). La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. *Revista Economía Industrial*, VI, 82.

Zhang, Y., & Vidakovic, B. (2005). *Uncertainty Analysis in Using Markov Chain Model to Predict Roof Life Cycle Performance*. Lyon, France.



Anexos

Anexo No.1: Hilo Conductor



Anexo No.2: Definiciones de desarrollo sostenible.

Álvarez, 2002	El Desarrollo sostenible no tiene una concepción única, desde un punto de vista de exactitud en su definición; en la actualidad sus características permiten que se mueva de múltiples formas y definiciones, por ejemplo: Desarrollo endógeno, local, sostenible, a escala humana, etc. que provoca una fisonomía múltiple y al mismo tiempo hacen muy diferentes los objetivos a alcanzar por los diversos agentes sociales y/o militantes, cada uno desde su óptica específico-particular.
Ley No. 81 del Medio Ambiente	El desarrollo sostenible es un proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de la personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfagan las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo las de futuras generaciones.
LABELLE; 2002: 1	"El Desarrollo Humano Sostenible valora la vida humana en sí misma y en consecuencia tiene a la persona, hombres y mujeres, como el centro y el sujeto fundamental del Desarrollo. Debe posibilitar que todos los individuos, de manera individual y colectiva, logren su capacidad humana en forma plena en todos los aspectos de la vida: social-económico-cultural y político, para poder satisfacer todas sus necesidades o luchar por ellas, para lograr cambios en sí mismas, en sus comunidades y en su país".
Reyes, 2008	"...el mismo desarrollo está caracterizado por condiciones en las cuales los bienes y servicios se encuentran crecientemente al alcance de los grupos sociales que conforman la sociedad".
Borrero &Monteagudo, 2006	<p>Desarrollo sostenible en material de energía significa:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para una fuente renovable: utilizarla a una razón no mayor que su razón de regeneración. 2. Para una fuente no renovable: utilizarla a una razón no mayor que a la cual un recurso renovable, usado de forma sostenible, puede ser capaz de sustituirla. 3. Para un contaminante: que su emisión se produzca a una razón no mayor que la que permite que el mismo sea absorbido o reciclado sin perjuicio para el medio ambiente.
Ebel &Kissmann, 2011 ¹⁴	Desarrollo sostenible es un desarrollo que satisface los intereses de la generación presente de ciertos sujetos definidos de una sociedad – con base en el del actual nivel de conocimientos – sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de la misma sociedad para satisfacer sus propios intereses constatando que satisfacer sus propios intereses significa que la misma sociedad puede definir continuamente y en una manera participativa cuáles son sus intereses

¹⁴Adaptado de Comisión Mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo: Comisión Brundtland, 1987

Anexo No.3: Principales objetivos y criterios para la ecoeficiencia. **Fuente:** Elaborado a partir de los datos del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD)

Principales objetivos de la ecoeficiencia		
<p>Reducir el consumo de recursos minimizando el consumo (energía, materiales, agua, terreno) y aumentando la reciclabilidad y durabilidad del producto.</p>	<p>Reducir el impacto en la naturaleza minimizando las emisiones, el derrame de residuos y la propagación de sustancias tóxicas.</p>	<p>Suministrar más valor con el producto o servicio, mayores beneficios a los usuarios (aumento funcionalidad y flexibilidad del producto) entregando servicios adicionales y soluciones a las necesidades de los clientes.</p>

<p>Criterios para la ecoeficiencia</p>	<p>Reducir el consumo de materiales</p>
	<p>Reducir el consumo de energía</p>
	<p>Reducir la dispersión de sustancias tóxicas</p>
	<p>Aumentar la reciclabilidad de los materiales</p>
	<p>Optimizar el uso de recursos renovables</p>
	<p>Extender el ciclo de vida de los productos</p>

Anexo No.4: Clasificación de los procesos atendiendo a su finalidad. **Fuente:**(Villa Glez del Pino et al., 2006)



Anexo No.5: Comparación entre la ISO-14001 y EMAS. **Fuente:** Perdomo, 2011.

	ISO-14001	EMAS
Evaluación Ambiental Inicial	Recomendable en caso de no disponer de un Sistema de Gestión Ambiental previo	Obligatorio si no se dispone de un Sistema de Gestión Ambiental previo certificado.
Ciclo de Auditoría	No existe una periodicidad establecida	El ciclo dependerá del tipo de actividad desarrollado
Alcance de la Auditoría	El Sistema de Gestión Ambiental	Además del Sistema de Gestión Ambiental, debe incluir: La Política Ambiental, el Programa y el cumplimiento de la Legislación aplicable
Declaración Ambiental	No es necesaria	Necesaria , será pública y de periodicidad anual
Validez	Puede ser autocertificada , aunque lo más habitual es que sea certificada por un organismo acreditado	Debe ser verificada por un organismo acreditado, además se exige la validación de la Declaración Ambiental.
Registro	No es necesario	Las organizaciones son inscritas en el registro de empresas adheridas por el organismo competente.

Anexo No.6: Ventajas y Desventajas del Sistema de Gestión Medio Ambiental.

Fuente:(Conesa & Fernández, 2005).

Ventajas

- Proporciona y exige un proceso sistemático y cíclico de mejora continua, equivalente a Planificar>Ejecutar>Comprobar>Actuar, la gestión medioambiental de forma permanente y asegurar así, niveles de comportamiento medioambiental de la organización cada vez más elevados. Por ello, al analizar los requisitos establecidos por la Norma ISO 14001 para el desarrollo e implantación de un SGMA, resulta muy fácil relacionarlos con las etapas del ciclo de mejora continua, antes mencionado.
- Seguridad en el cumplimiento de la legislación vigente, y por lo tanto soslayar la posibilidad de sanciones por parte de la inspección.
- Reducción de costes de producción. El establecimiento de procedimientos, controles y formularios para reducir el impacto ambiental redundan en eliminar los derroches en el consumo de recursos naturales y por lo tanto también en un beneficio económico para la empresa.
- La disminución del riesgo medioambiental, supone optar importantes reducciones de materias primas en los seguros medioambientales, e incluso en algunos casos, es un requisito necesario para suscribir un seguro el tener un SGMA.
- Mejora de la imagen de la empresa. Se percibe por el personal de la empresa, clientes, administración y sociedad en general la imagen de una empresa respetuosa con el medio ambiente.
- Aumento de la competitividad. Permite abrir nuevos mercados y mantener aquellos cada vez más exigentes

Consecuentemente, la organización podrá ahorrar mucho dinero si, por un lado, ajusta el consumo de materias primas, agua y energía a lo estrictamente necesario y, por otro, genera menos desperdicios, residuos y despilfarros.

Desventajas:

1. Los costos económicos del proceso, los que varían ampliamente dependiendo del tipo de empresa, actividad que realice, legislación ambiental que se aplique y estado medioambiental de la empresa en el momento de iniciar el proceso. También influyen factores como la formación del personal y los requisitos medioambientales que impongan los clientes. Los costos de implantación vienen ligados a:
 - El asesoramiento especializado externo que se tenga que contratar para asegurar la efectividad de la implantación.
 - La formación del personal, que se debe considerar como una inversión que afectará a la motivación y capacidad de trabajo.

- Adecuación de las instalaciones a la legislación medioambiental vigente. Lo que se debe de considerar como una necesidad del propio funcionamiento de la empresa que tarde o temprano deberá de realizar.
- 2. Cambios en la estructura empresarial. La implantación de un SGMA supone un impacto importante en la mentalidad de la organización, que puede implicar resistencias en algunas personas. Así:
 - Se definirán nuevas responsabilidades respecto al medio ambiente.
 - Se establecen cambios en las prácticas y procedimientos de trabajo.
 - Un ligero aumento de la burocracia que supone el manejo de la documentación necesaria para seguir el cumplimiento del SGMA.

Anexo No.7: Herramientas conceptualmente similares usadas en los sistemas de Gestión Ambiental. **Fuente:** Cordero & Pérez, 2010.

Análisis de riesgos ambientales

El análisis de riesgos ambientales abarca una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, con esta herramienta se pueden evaluar los riesgos ecológicos ocasionados por fuentes puntuales o difusas de emisiones, emisiones frecuentes o accidentales. También permite evaluar riesgos para la salud humana en el ámbito laboral, así como para ambientes exteriores con un cierto foco contaminante y la selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales. En general, esta herramienta se utiliza con enfoque analítico (cualitativo) y con criterios de probabilidad para estimar los riesgos que pueden resultar en situaciones adversas. Habitualmente se consideran los niveles de concentración y/o períodos de exposición de una determinada sustancia peligrosa en el ambiente, para luego estimar comparativamente con los criterios establecidos para definir si están ante niveles aceptables de riesgo.

La principal ventaja de análisis de riesgo es permitir pronosticar posibles impactos reales. Sin embargo, los datos para realizar estos pronósticos, dictan ciertas limitaciones a esta herramienta con respecto al consumo de tiempo y recursos y, consecuentemente, justificando su empleo para actividades de alto riesgo. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

Estudio del impacto ambiental

Antes de empezar determinadas obras públicas o proyectos o actividades que pueden producir impactos importantes en el ambiente, la legislación obliga a emplear esta herramienta y hacer una Evaluación del Impacto Ambiental que producirán si se llevan a cabo. La finalidad de la EIA es identificar, predecir e interpretar dichos impactos a fin de conocer si la obra debe ser aceptada, modificada o rechazada por la Administración Pública. Considera los efectos ambientales durante el período de construcción así, como también los que ocurren durante la operación de la planta, siendo comúnmente requerido para conseguir una licencia de construcción o de operación en una planta. En general, los datos ambientales de la EIA son detallados con respecto a un impacto específico y, frecuentemente, pueden tener en cuenta la duración y concentración de los contaminantes emitidos mediante la evaluación de su incidencia sobre el ambiente.

Auditoría ambiental

Es la identificación, evaluación y control de los procesos industriales que pudiesen estar operando bajo condiciones de riesgo o provocando contaminación al ambiente, y consiste en la revisión sistemática y exhaustiva de una empresa de bienes o servicios en sus procedimientos y prácticas con la finalidad de comprobar el grado de cumplimiento de los aspectos tanto normados como los no normados en materia ambiental y poder en consecuencia, detectar posibles situaciones de riesgo a fin de emitir las recomendaciones preventivas y correctivas a que haya lugar. (Programa Nacional de Auditoría Ambiental, 2008).

En este contexto, auditar es propio de la gestión para conseguir la “calidad total”. Aquí se incluyen chequeos de los sistemas instalados para verificar si operan como deberían, permitiendo así una constante evaluación de mantenimiento de objetivos del conjunto operante. Sin embargo, el foco de la Auditoría ambiental se centra en la actividad que está siendo revisada y no sobre datos retrospectivos o prospectivos del proceso.

Evaluación del comportamiento ambiental

Es una herramienta interna que suministra al sistema de gestión ambiental informaciones fiables, objetivas y verificables, de este modo se ayuda a la organización a determinar los logros en sus objetivos ambientales. Es, por lo tanto, un sistema de auditoría interna, que se basa en indicadores para medir, evaluar y verificar el comportamiento ambiental de una organización con respecto a determinados criterios preestablecido en su sistema de gestión (intenciones y objetivos ambientales). Permite enfocar tendencias de comportamiento medioambiental para una gama de actividades de una organización, es decir, los recursos consumidos, el proceso utilizado, productos y servicios resultantes.

Análisis del flujo de sustancia

El análisis del flujo de sustancia es una herramienta que permite hacer un balance del flujo de una determinada sustancia, a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema, incluyendo la producción y el uso de cierto producto a través de la contabilización de todas sus entradas y salidas. Con esta herramienta se puede mejorar la calidad medioambiental de un determinado producto a través de la aplicación de medidas de control o de reducción de una sustancia específica. Sin embargo, presenta el inconveniente de que al hacer referencia a una sola sustancia no es un método holístico y, por lo tanto, si ocurrieran cambios en el sistema como resultado del aumento del flujo de otras sustancias, éstas no podrían ser identificadas con el análisis de flujo de sustancia.

Análisis de material y energía

Se considera como el precursor del análisis del ciclo de vida, de hecho, las dos herramientas se confunden, ya que conceptualmente pueden compartir la misma base de datos. Utilizan como referencia la unidad funcional del sistema y su interpretación también está basada en el impacto potencial al medio ambiente causado por ciertas emisiones. La herramienta igualmente utiliza algoritmos para cuantificar todos los materiales y energías que entran y salen de un determinado sistema bajo estudio, admitiendo evaluar cierta etapa o fase del ciclo de vida de un producto.

Gestión integral de sustancia

La gestión integral de sustancia sirve tanto como apoyo a la toma de decisiones, como para comparar diferentes opciones con respecto a ciertas mejoras ambientales o económicas de un sistema. Se formula un plano práctico de acción más amplio que un simple análisis de aspectos medioambientales. Esencialmente, se hace un atajo en el de ciclo de vida completo de un determinado producto, puesto que con el análisis de sólo 20% de elementos, podría conocerse un 80% de impactos totales en el sistema. Es conocido como el precursor del análisis del ciclo de vida simplificado.

Análisis de línea de producto

Muy similar al análisis del ciclo de vida, utiliza como base de comparación la unidad funcional del sistema. Presenta un espectro más amplio de análisis, ya que incorpora como foco de investigación, además del análisis medioambiental, otros aspectos de tipo económico y social. Es considerada una herramienta conceptualmente correcta, aunque en la práctica se utiliza poco.

Análisis del ciclo de vida

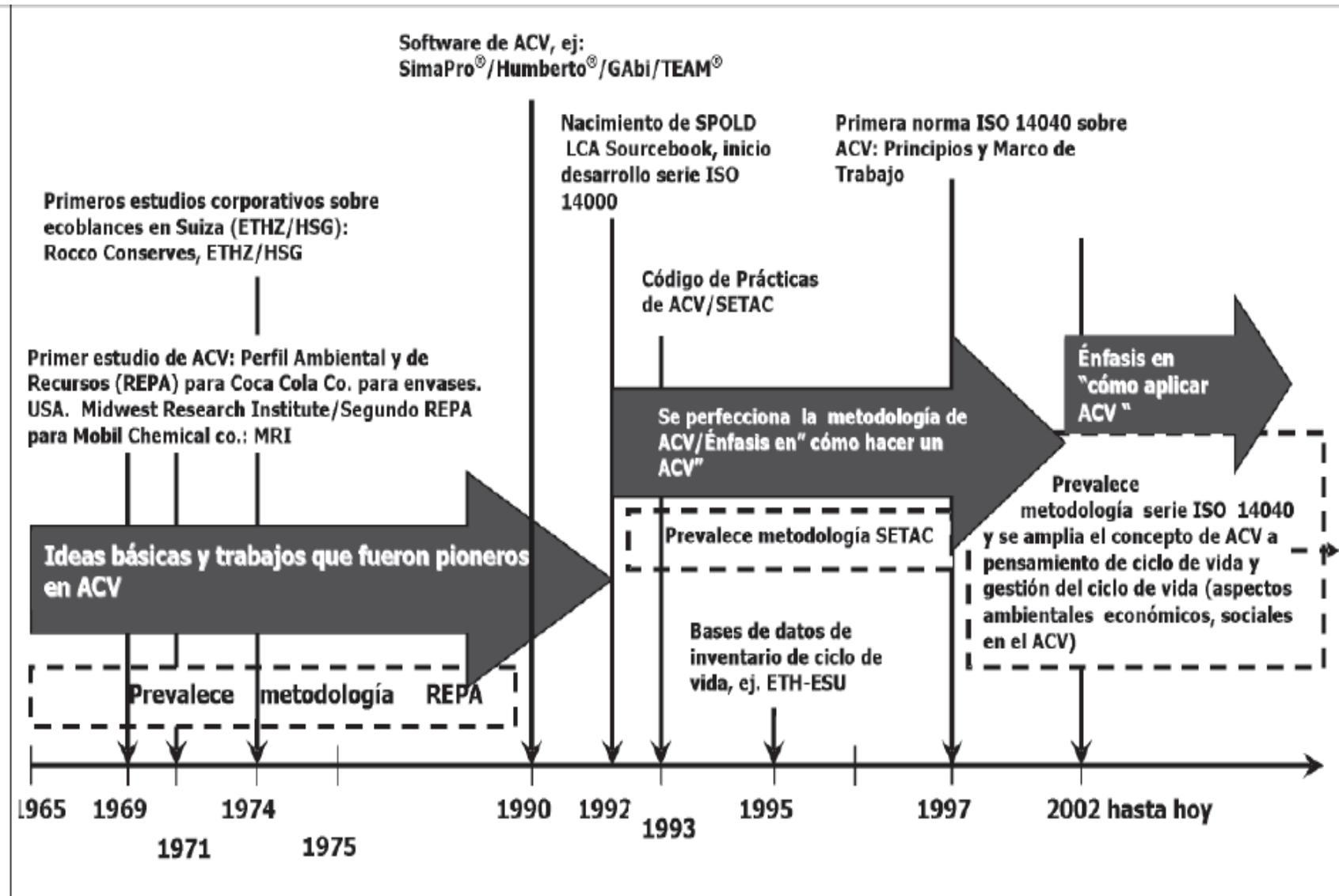
El ACV es una herramienta de gestión ambiental que identifica tanto a los recursos usados como a los residuos que se generan y se emiten a los vectores ambientales (aire, agua y suelo) a lo largo de todo el ciclo de vida de un bien o un servicio específico. Permitiendo tener una visión general del proceso y eliminando la suboptimización en caso de solo enfocarnos en procesos o unidades específicas. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001). Diseñada para describir en qué manera los sistemas tecnológicos afectan al medio esta herramienta vale de soporte para tomar decisiones que mejoren los sistemas en cuanto a diseño, desarrollo de productos, compras y políticas de instrumentación, además de técnica exploratoria y de conocimiento acerca del estado de los sistemas de producción, los indicadores de desempeño ambiental, etc.

Por supuesto, diferentes tipos de decisiones requieren diferentes herramientas de decisión. Por ejemplo, seleccionar un lugar idóneo para construir una determinada planta industrial es una decisión que se basa en los estudios de evaluación del impacto ambiental (EIA), mientras que para el diseño de ecoproductos se utiliza el ACV. Así pues, para ejecutar el primero, el objeto de estudio es un proyecto; para el ACV, se trata de un producto o servicio y para la auditoría ambiental (AA), generalmente es una empresa o planta industrial.

A la hora de decidir por la selección de la herramienta más adecuada para valorar los aspectos medioambientales es necesario un análisis detallado que tenga en cuenta todos los puntos fuertes y débiles, como por ejemplo la potencialidad necesaria para alcanzar los objetivos pretendidos y así escoger la que mejor se adecue a las necesidades del usuario o promotor del estudio (SETAC, 1999).

A pesar de que en algunos casos no sea posible realizar el análisis del ciclo de vida completo de un producto, asimismo el ACV aún resulta útil como herramienta para la gestión medioambiental de sistemas de producción, pues posibilita identificar el foco del problema, optimizar el uso de los recursos materiales o energéticos y gestionar los residuos producidos. Además, el ACV se presta para comparar dos o más productos alternativos que cumplan una misma función, y también para valorar materiales alternativos contribuyendo así al desarrollo de materiales más respetuosos con el medio ambiente.

Anexo No.8: Evolución histórica y tendencias del análisis del ciclo de vida (ACV). *Fuente:* Vargas, 2008.



En la figura anterior se ilustran, de manera resumida, el desarrollo histórico y las tendencias del ACV, destacándose allí los siguientes aspectos:

1	El ACV tuvo sus comienzos en Estados Unidos y Europa, especialmente.
2	La metodología que prevaleció para los proyectos y estudios de ACV fue Repa, desde principios de la década de los setenta hasta finales de la década de los ochenta.
3	En los comienzos de los años noventa y hasta finales de la misma década prevalece el marco de trabajo de la Setac para los estudios de ACV.
4	A partir de 1997 empieza a prevalecer el marco de trabajo de la ISO para los estudios de ACV.
5	Desde comienzos de la década de los setenta hasta mediados de la década del 2000, el principal énfasis ha sido perfeccionar las metodologías de ACV (el énfasis era “Cómo aplicar el ACV”).
6	Desde mediados de la década del 2000 se empiezan a hacer esfuerzos para el desarrollo de estrategias, programas y metodologías para que las empresas y gobiernos usen o apliquen el ACV (el énfasis es “Cómo usar el ACV”).
7	A partir de la década del 2000 se pasa de hablar de ACV a gestión del ciclo de vida, que incorpora no sólo los aspectos e impactos ambientales, sino también consideraciones económicas y sociales; hasta hoy se continúan estudiando métodos internacionalmente aceptados para incorporar estos dos últimos aspectos al ACV.

Anexo No.9: Definiciones del ACV.

La norma **ISO 14040:1997** establece que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando 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”.

Según la Sociedad de Toxicología y Química Ambientales cuyas administrativas se localizan en Bruselas (Bélgica), la evaluación de Ciclo de Vida, o como se conoce más en la literatura española, Análisis de Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*), es: un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando u cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales **(Azapagic,1999)**.

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 **(Iglesias, 2005)**.

El Análisis de Ciclo de Vida es un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales. **(Sánchez, 2007)**.

El análisis de ciclo de vida (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 **(Vargas, 2008)**.

El ACV es “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto a través de su ciclo de vida” **(NTC-ISO 14040)**.

Otra manera de acercarse a la definición de lo que significa el Ciclo de Vida de un producto consiste en referir el concepto contenido en la norma internacional NC-ISO 14040, que lo define como el conjunto de “etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto desde la adquisición de las materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final”.

Anexo No.10: Herramientas asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Lluvia de Ideas	<p>Las sesiones de lluvia o tormentas de ideas es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo debido a que permite la reflexión y el diálogo sobre un problema sobre una base de igualdad.</p>
Diagrama SIPOC	<p>Otra herramienta que constituyen manera variada de representar los procesos, son el SIPOC (<i>Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Requirements-Customers</i>) de los programas de mejora de la calidad Seis Sigma. El diagrama SIPOC cuyo nombre en español se traduce como: Proveedores para el proceso, Entradas al proceso, Proceso que se quiere mejorar, Salidas del proceso y Clientes que reciben el producto terminado. La función de esta herramienta es identificar todos los elementos relevantes dentro de un proceso de mejora antes de que el trabajo comience. Ayuda a simplificar procesos complejos ya que los presenta de una manera gráfica.</p>
Diagrama IDEFO	<p>La traducción literal de las siglas IDEF es <i>Integration Definition for Function Modeling</i>(Definición de la integración para la modelización de las funciones). IDEF consiste en una serie de normas que definen la metodología para la representación de funciones modelizadas.</p> <p>Estos modelos consisten en una serie de diagramas jerárquicos junto con unos textos y referencias cruzadas entre ambos que se representan mediante unos rectángulos o cajas y una serie de flechas. Uno de los aspectos de IDEFO más importantes es que como concepto de modelización va introduciendo gradualmente más y más niveles de detalle a través de la estructura del modelo. De esta manera, la comunicación se produce dando a lector un tema bien definido con una cantidad de información detallada disponible para profundizar en el modelo.</p>

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Mapas de Procesos	<p>El mapeo de procesos es una representación gráfica de un proceso en la que se ilustran de forma detallada todos los pasos del proceso, tanto los que agregan valor como los que no; también se identifican las variables claves del proceso, tanto de entradas como de salidas. El propósito de un mapeo de procesos es identificar los sistemas de medición que requieren ser analizados, establecer las variables críticas para la calidad que es necesario estudiar su capacidad, identificar oportunidades para simplificar el proceso, ya sea eliminando pasos o identificando cuellos de botellas. Los mapeos de procesos pueden hacerse en tres niveles: macro (toda la organización), nivel local(todo un proceso) o nivel micro(un subproceso en particular).</p>
Balance de Masas	<p>El balance de masa nos da una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema (producto), mediante una unidad funcional establecida, 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.</p>
Diagrama de Ishikawa	<p>El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo genera. La importancia de este diagrama radica en que obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis y de esta forma se evita el error de buscar directamente las soluciones sin cuestionar a fondo cuales son las verdaderas causas. De esta forma, el uso del diagrama de Ishikawa (DI), ayudará a no dar por obvias las causas, sino que se trate de ver el problema desde otra perspectiva.</p> <p>Existen tres tipos básicos de diagramas Ishikawa, los cuales dependen de como se buscan y se organizan las causas en la gráfica, esto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> El método de las 6M's. El método flujo de proceso Método de estratificación o enumeración de causas

NOMBRE	DESCRIPCIÓN						
AMEF(FMEA)	<p>La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF, FMEA, <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>), proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un grupo o un proceso, junto con el efecto que provocaban éstas, esta es una herramienta de mucha utilidad dentro de la estrategia Seis Sigma, debido a que permite detectar aspectos críticos que requieren atención.</p> <p>La frecuencia con que ocurren las fallas junto con su severidad son una medida de la confiabilidad de un sistema. Mientras mayor sean éstas, menos será tal confiabilidad. De esta forma, una tarea fundamental cuando se busca caracterizar y mejorar un proceso es aplicar la metodología del AMEF con la idea de conocer mejor las debilidades (potenciales modos de falla) del producto o proceso y a partir de ahí generar soluciones a nivel proceso o rediseño de producto</p>						
Diagrama de Pareto	<p>La premisa del Diagrama de Pareto consiste en que a pesar de que mas del 80% de la problemática de una organización se debe a problemas, causas o situaciones que actúan de manera permanente sobre el proceso, en todo proceso existen unos cuantos problemas o situaciones vitales que contribuyen en gran medida a la problemática global de un proceso o una empresa. El diagrama de Pareto es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus causas más importantes.</p>						
5W1H	<p>Es una herramienta de la calidad, la cual es muy práctica usar cuando se documenta algún plan de acción, y por lo tanto ayuda a las organizaciones a definir claramente las actividades que harán parte de la planificación, como comprometer a los responsables, debido a que su ruta básica de implementación incluye una forma sintética, en la cual son respondidos a los cuestionamientos:</p> <table border="0"> <tr> <td>¿Cuál? ¿Qué?(Asunto)</td> <td>¿Por qué? (Objetivo)</td> </tr> <tr> <td>¿Dónde? (Local)</td> <td>¿Cuándo? (Secuencia)</td> </tr> <tr> <td>¿Quién? (Responsable)</td> <td>¿Cómo? (Método)</td> </tr> </table>	¿Cuál? ¿Qué?(Asunto)	¿Por qué? (Objetivo)	¿Dónde? (Local)	¿Cuándo? (Secuencia)	¿Quién? (Responsable)	¿Cómo? (Método)
¿Cuál? ¿Qué?(Asunto)	¿Por qué? (Objetivo)						
¿Dónde? (Local)	¿Cuándo? (Secuencia)						
¿Quién? (Responsable)	¿Cómo? (Método)						

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
VAN	<p>Valor presente neto VPN (NPV, del inglés <i>net present value</i>), más conocido como el VAN: Es el valor presente de los rendimientos futuros descontados al costo de capital apropiado, menos el costo de la inversión. El método del valor presente neto se denomina técnica del flujo de efectivo descontado (DCF, del inglés <i>discounted cash flow</i>). Para la implantación de éste enfoque, encuentre el valor presente de los flujos netos de efectivo esperados de una inversión, descontados al costo marginal de capital, y sustráigalos del costo inicial del proyectos. Si el Van es positivo el proyecto debería ser aceptado, si es negativo debería ser rechazado. Si los dos proyectos son mutuamente excluyentes deberá elegirse el que tenga el VAN más alto.</p> <p>El fundamento para el uso del VAN es más bien sencillo, éste método cumple las cuatro propiedades esenciales para una técnica de presupuestación de capital. Un VAN = 0, significa que los flujos de efectivo del proyecto son justamente suficientes para reembolsar el capital invertido y para proporcionar la tasa de retorno requerida sobre ese capital. Si un proyecto tiene un VAN positivo entonces estará generando más efectivo del que necesita para reembolsar su deuda y proporcionar un rendimiento a las inversiones, por lo que la posición de la entidad se verá mejorada.</p>

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
TIR	<p>La tasa interna de retorno (TIR) (IRR, del inglés <i>Internalrate of return</i>): Es la tasa de descuento que iguala al valor presente de los flujos futuros de efectivo esperados con el coste inicial del proyecto. Al igual que el valor presente neto, la tasa interna de retorno es un método de flujo de efectivo descontado. La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero.</p> <p>La principal ventaja de la TIR es que considera el valor del dinero en el tiempo, además se entiende fácilmente por los directivos de las empresas ya que generalmente se analizan los rendimientos de los proyectos en términos de por cientos, o sea en números relativos Sin embargo tiene varias desventajas, la primera es que la misma se afecta por el volumen de la inversión, la segunda supone que los flujos de efectivo pueden revertirse a TIR en vez de a TRR, implicando que la rentabilidad de una alternativa depende de los proyectos futuros que podría emprender la entidad, violando la cuarta propiedad esencial. Y la tercera desventaja es que un proyecto de inversión puede o no tener TIR, o por el contrario tener múltiples TIR, depende de su patrón de flujo de efectivo.</p>
Índice de Rentabilidad (relación beneficio-coste)	<p>Es el cociente entre el valor actual de los ingresos netos esperados y el desembolso inicial de la inversión:</p> $IR = \frac{\sum_j \frac{FF_j}{(1+k)^j}}{FF_0}$ <p>Cuando existen proyectos mutuamente excluyentes la relación beneficio costo no es un indicador confiable</p>

Anexo No.11: Aplicaciones del ACV según Sonnemann & Santa María

Sonnemann, 2003	Las aplicaciones generales incluyen	Comparación de diferentes alternativas.
		Identificar puntos de mejora ambiental.
		Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas.
		Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
		Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el medio ambiente lo más pronto posible.
		Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.
	Las aplicaciones particulares incluyen	Definir el desempeño ambiental de un producto en su ciclo de vida.
		Identificar los pasos más relevantes en un proceso de manufactura relacionados a un impacto ambiental.
		Comparar el desempeño ambiental de un producto con otros que den un servicio similar.
Santa María, 2006	Aplicaciones	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.

Anexo No.12: Diferentes Herramientas Informáticas para el ACV. **Fuente:** Menke1996, Caluwe 1997 y Rodríguez, 2009

Nombre	Vendedor	Coste, Euros	Procedencia de los datos
1. BousteadModel	Boustead	24.000	Europa
2. CALA	FrauenhoferInstitutfürProductionstechnologie		Alemania
3. CLEAN	EPRI	14.000	E.E.U.U.
4. CUMPAN	Univ. of Hohenheim		Alemania
5. EcoAssessor	PIRA		Reino Unido
6. Eco-it	PRé' Consulting		Holanda
7. EcoManager	Franklin Associates, Ltd.	10.000	E.E.U.U.
8. ECONTROL	Oekoscience		Suiza
9. EcoPack2000	Max Bolliger	5.800	Suiza
10. EcoPro	EMPA		Suiza
11. ECO-SCAN	TurtleBay		Países Bajos
12. EcoSys	Sandia/DOE		E.E.U.U.
13. EDIP	Inst. forProd. Devel.		Dinamarca
14. EMIS	Carbotech		Suiza
15. EPS	IVL		Suecia
16. ETHZ Buildings Data base	ETHZ		Alemania
17. GaBi	IPTS	10.000	Alemania
18. Generation Data base	Inst. EnergyTechnology		Suiza
19. Heraklit	Fraunhofer Inst.		Alemania
20. IDEA	IIASA		Europa
21. IDEMAT	University of Delft		Países Bajos
22. JEM-LCA	NEC corporation		Japón
23. KCL-ECO	FinnishPaper Inst.	3.600	Finlandia
24. LCA1	P&G/ETH	No Disponible	Europa
25. LCAD	Battelle/DOE	< 1.000	E.E.U.U.
26. LCA dvantage	PacificNorthwestNationalLaboratory		E.E.U.U.
27. LCAiT	ChalmersIndustriteknik	4.000	Suecia
28. LCASys	Philips/ORIGIN		Holanda
29. LIMS	ChemSystems	25.000	E.E.U.U.
30. LMS Eco-Inv. Tool	ChristophMachner		Austria
31. NIRE-LCA 2	National Institute for Resources and Environment		Japón

32. Oeko-Base II	Peter Meier		Suiza
33. P&G	Procter&Gamble		Bélgica
34. Paradox	Delta		Dinamarca
35. PEMS	PIRA	9.100	Media Europea
36. PIA	BMI/TME	1.400	Europa
37. PIUSSOECOS	PSI AG		Alemania
38. PLA	VisionikApS		Dinamarca
39. REGIS	SimumGmbH		Suiza
40. REPAQ	Franklin Associates, Ltd.	10.000	E.E.U.U.
41. SimaPro	PRe' Consulting	3.000	Holanda
42. SimaTool	Leiden Univ.		Holanda
43. Simbox	EAWAG		Suiza
44. TEAMTM	Ecobalance	10.000	Europa/EEUU
45. TEMIS	Oko-Institute		Europa
46 Tenpro	Eutech		Reino Unido
47 TetraSolver	TetraPak		Europa
48 Umberto	IFEU	281,21	Alemania
49 Umcon	ParticipGmbH		Alemania

Anexo No.13: Criterios para un análisis detallado de las herramientas y Comparación de sus características. **Fuente:**Rodríguez, Berlan (2008)

Requerimientos e Interface	Flexibilidad
<ul style="list-style-type: none"> · Requerimientos de Hardware · Requerimientos de Software · Interface (p.e. gráfico) 	<ul style="list-style-type: none"> · Unidades flexibles · Utilización de fórmulas · Reparto
Definición del sistema	Cálculos y comparaciones
<ul style="list-style-type: none"> · Desarrollo del sistema · Edición del sistema · Archivo 	<ul style="list-style-type: none"> · Análisis de sensibilidad · Evaluación de impactos · Comparación de Resultados
Datos y Gestión de los Datos	Salidas y Exportaciones
<ul style="list-style-type: none"> · Protección de datos · Indicadores de Calidad de los datos · Otros campos descriptivos · Protección de datos · Edición de los datos · Datos predefinidos por el usuario 	<ul style="list-style-type: none"> · Sistema · Tablas y gráficos · Opciones para exportar · Opciones de impresión

Anexo No.14: Descripción de algunas Herramientas informáticas para el Ecodiseño.

SOFTWARE	DESCRIPCION
OpenLCA	<p>Desarrollado por Green DeltaTC, es disponible como fuente abierta y diseñado como una estructura muy modular y flexible, permitiendo que diferentes tarjetas madre y módulos sean incluido. El convertidor de formato se ejecuta como una aplicación independiente y puede convertir múltiples conjuntos de datos en modo batch. El carácter de fuente abierta del software permite modificar y adaptar el software a las necesidades específicas. El software es libre de utilizar las aplicaciones de la licencia de apertura, donde las tasas son críticas. Los usuarios pueden, muy racionalmente, seleccionar el formato que mejor almacena los datos que necesiten para un propósito especial. Proveyendo el convertidor, se mejora la disponibilidad de datos, más fácil el intercambio de datos, y el modelo de LCA se beneficia de una mejor calidad de datos (Ciroth, 2007).</p>
GaBi	<p>Existen distintos módulos para el nivel básico que contienen conjuntos de datos de las fuentes de bases externas accesibles públicamente (ecoinventarios BUWAL para envasado, base de datos de plásticos de la APME). Incluye datos sobre evaluación de impacto configurables en función del origen de los datos de un proceso (calculado, estimado, medido y referenciado en bibliografía). Permite crear tanto procesos (modelización del ciclo de vida de un producto) simples como procesos parametrizados que permiten simular entradas y salidas más complejas. También permite asociar costes a los flujos. En GaBi 4.4 se han incluido la base de datos del ciclo de Vida europeo (ELCD, European Life Cycle Database) permitiendo el acceso para todos los datos de ELCD disponibles. Se implementan también los requisitos de documentación sobre el nivel de proceso. GaBi 4.4 permite integrar los aspectos sociales en los estudios de ACV e incluye también nuevos data sets de Worldsteel, Eurofer y la Asociación de aluminio europea.</p>
SimaProPRé-Consultans	<p>SimaPro es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRéConsultants, que permite el ACV, mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM). SimaPro 7.3.2 ofrece una herramienta profesional para almacenar, analizar y realizar un seguimiento del rendimiento ambiental de sus productos y/o servicios. Cuenta con : una solución SimaPro para cualquier necesidad; intuitiva interfaz del usuario; modelaje sencillo, con poderosos wizards que lo pueden asistir; modelaje con parámetros y análisis de escenarios; ACV híbrido con entradas y salidas para la información; conexión directa con Excel o bases de datos ASP; cálculos de evaluación de impacto directo en cada etapa de su modelo; análisis de Monte Carlo; análisis de resultados interactivos; agrupación de los resultados; vastas opciones de filtraciones para todos los resultados.</p>

Anexo No.15: Tipos de contaminantes, impacto ambiental y efectos a la salud. **Fuente:** GUÍA AMBIENTAL PARA TERMOELÉCTRICAS Y PROCESOS DE COGENERACIÓN PARTE AIRE Y RUIDO.

CO₂, Dióxido de Carbono:

El CO₂ se forma por la reacción del carbono contenido en el combustible con oxígeno. El CO₂ es un gas inerte que no es nocivo en la atmósfera, sin embargo, el aumento de su concentración en la atmósfera contribuye al calentamiento de la tierra, “efecto de invernadero”, debido a su propiedad para retener la radiación del sol reflejada hacia el espacio por la tierra.

CO, Monóxido de Carbono:

El CO se forma cuando la combustión del carbono es incompleta. El CO absorbido por los pulmones reduce el transporte de oxígeno a la sangre. Dependiendo de la concentración y tiempo de exposición causa el deterioro de la destreza motriz, es extremadamente venenoso y en altas concentraciones y en lugares cerrados, puede causar la muerte. El CO es inestable y tiene una duración corta en la atmósfera ya que fácilmente se oxida a CO₂ liberando calor. La acumulación de CO puede causar explosiones o incendios. En la TABLA A- 1 se muestran los efectos según la concentración de la emisión de CO.

El vapor de agua se forma por la reacción entre el hidrógeno contenido en el combustible y el oxígeno del aire y por la humedad contenida en el aire inyectado para la combustión. Otra fuente importante de emisión de vapor de agua en las plantas termoeléctricas lo constituyen las válvulas de alivio y venteos de las calderas y torres de enfriamiento. El vapor de agua aún no es catalogado como un contaminante atmosférico, pero a nivel mundial se considera que contribuye al calentamiento global.¹⁵

TABLA A- 1 Efectos del monóxido de carbono (CO)

CONCENTRACION (ppm)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	EFFECTOS
50	6 semanas	Cambios estructurales en el corazón y cerebro de los animales.
50	50min	Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual.
50	8 a 12 h para no fumadores	Impedimento en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras.

Material Particulado:

¹⁵ CURSO de Extensión sobre Torres de Enfriamiento. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1984.

El material particulado, está compuesto por ceniza (óxidos de silicio) e inquemados (hollín). La ceniza producto de la combustión se clasifica como de fondo y volante, la primera se deposita en el fondo del hogar o cámara de combustión, es recogida y dispuesta generalmente en patios o pilas, donde puede ser resuspendida a la atmósfera por acción del viento. La ceniza volante es arrastrada y emitida a la atmósfera por los gases de combustión. En la TABLA A- 2 se pueden observar los efectos causados por el material particulado para diferentes concentraciones.

Las partículas que se emiten a la atmósfera son de variados tamaños y composición, lo cual depende de las características del combustible y condiciones termodinámicas de la combustión. Las partículas menores de 10 micras (PM-10) son las partículas respirables por lo que son las responsables de los efectos sobre la salud humana.

Los principales efectos que produce el material particulado son:

Irritación de los ojos
Reducción de la visibilidad
Efectos tóxicos, que incluyen infecciones respiratorias, afecciones cardiacas, bronquitis, asma y pulmonía
En la vegetación causa el taponamiento de los estomas y posterior necrosis de las hojas
Ensuciamiento de edificaciones y el espacio público

TABLA A- 2 Efectos sobre la salud del material particulado

CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EFFECTOS
260 - 400	❖ Leve agravamiento de síntomas en personas susceptibles.
400 - 625	❖ Significativos síntomas de agravamiento y disminución de tolerancia al ejercicio en personas que sufren del corazón.
625 - 875	❖ Comienzo prematuro de ciertas enfermedades y disminución de tolerancia al ejercicio en personas saludables.
875 - 1000	❖ Muerte prematura para enfermos o personas de avanzada edad. Las personas saludables experimentarán alteraciones en su actividad normal.

El material particulado o los gases de emisión pueden incluir ciertos compuestos tóxicos

Óxidos o hidruros de metales, como: Plomo, Cromo, Níquel, Arsénico, Mercurio

Minerales como: Asbestos, Berilo, Entre otros.

Los efectos dependen del carácter tóxico de cada componente, por ejemplo, *el asbesto* causa el desarrollo del cáncer en las membranas que revisten el pecho y abdomen, *el berilio* causa problemas pulmonares, daños en la piel y ojos y *el mercurio* causa daños en el sistema nervioso y a los riñones. Generalmente estos elementos son emitidos en muy pequeñas cantidades, ya que su concentración en los combustibles convencionales, es baja.

Compuestos Orgánicos Volátiles:

Los VOC pueden ser moléculas orgánicas o hidrocarburos inquemados. Se pueden formar en las siguientes situaciones:

- Durante la combustión (a baja temperatura)
- Formados por combustible no quemado a causa de una combustión incompleta (productos de combustión incompleta PICs).

Son emitidos principalmente cuando se usan combustibles derivados del petróleo. Estas sustancias están compuestas por: Carbono e Hidrógeno

Incluyendo: Hidrocarburos aromáticos, Olefinas, Parafinas, Aldehídos, Cetonas, Hidrocarburos halogenados

Los compuestos orgánicos volátiles VOC causan el smog fotoquímico cuando reaccionan con el NO_x , causando problemas respiratorios, irritación de los ojos, reducción de la visibilidad y daño a la vegetación. Muchos de estos compuestos, principalmente los aromáticos, son clasificados como cancerígenos, otros como el metano tienen una alta capacidad de retención de calor, de igual manera que el CO_2 , son considerados gases de efecto invernadero. Algunos PICs pueden ser particularmente tóxicos o peligrosos.

SO_x , Óxidos de Azufre:

SO_x es un término general el cual incluye SO_2 (*dióxido de azufre*) y SO_3 (*trióxido de azufre*). Los óxidos de azufre son producidos por la reacción entre el oxígeno contenido en el aire de la combustión y el azufre contenido en el combustible.

El SO_x mezclado con la humedad de la atmósfera, puede formar ácido sulfúrico y contribuir a la *lluvia ácida*, la cual causa daños en la vegetación y una acidificación de las fuentes naturales de agua. En consecuencia, afecta la reproducción de los peces y disminuye el plancton y la fauna de fondo de los cuerpos de agua, lo que reduce el suministro de alimento de los peces. Adicionalmente, puede acelerar la corrosión de las estructuras metálicas.

Por otra parte, el SO_x es un gas sofocante e irritante que puede ocasionar en varias especies de animales, incluyendo el hombre, bronco-constricción, que implica un ligero aumento en la resistencia en el conducto del aire.

En términos generales, el SO_x es uno de los contaminantes más nocivos que puede ser descargado a la atmósfera por las plantas de generación termoeléctrica (Ver TABLA A- 3).

TABLA A- 3 Efectos de dióxido de azufre SO_2 ¹⁶

CONCENTRACIÓN	EFFECTOS
0,037 – 0,092 ppm, media anual	Aumento en la frecuencia de síntomas respiratorios y enfermedades pulmonares.
0,11 – 0,19 ppm, media en 24 h	Aumento en la tasa de corrosión de los metales.
0,19 ppm, media en 24 h	Aumento en la mortalidad
0,3 ppm, 8 h	Lesiones en la vegetación

NO_x , Óxidos de Nitrógeno:

NO_x es un término general que incluye diferentes formas de los óxidos de nitrógeno, entre ellas:

- ❖ Óxido nítrico (NO)
- ❖ Dióxido de nitrógeno (NO_2)
- ❖ Trióxido de nitrógeno (N_2O_3)
- ❖ Pentóxido de nitrógeno (N_2O_5)
- ❖ Óxido nitroso (N_2O)

Los NO_x se forman de la reacción entre el nitrógeno que se encuentra contenido en el aire que se inyecta para la combustión, el nitrógeno contenido en el combustible (en pequeñas cantidades) y el oxígeno del mismo aire inyectado.

La formación de las diferentes formas del NO_x depende de la temperatura de combustión y la cantidad de aire inyectado (cinética de la reacción).

Comúnmente, se llama **NO_x térmico** a los NO_x producto de la reacción entre el N_2 del aire y el O_2 del aire, a alta temperatura.

El **NO_x combustible** se forma por la reacción entre el nitrógeno del combustible y oxígeno del aire inyectado.

Más del 90% de los NO_x en generación térmica son óxido nítrico. Cuando este es descargado a la atmósfera, éste reacciona con la luz solar y el aire produciendo dióxido de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno combinado con los hidrocarburos quemados forma oxidantes fotoquímicos que dependiendo

¹⁶ WARK, Kenneth. Contaminación del aire: Origen y Control. 2ª ed. México: Edit. Limusa. 1990.

de las concentraciones, pueden contribuir a la formación del llamado smog fotoquímico. Las especies trióxido y pentóxido de nitrógeno son más solubles que las demás siendo muy importantes en la formación de lluvia ácida. El NO_x además causa irritación a los ojos y a la garganta e inclusive causa problemas respiratorios.

TABLA A- 4 Efectos del dióxido de nitrógeno NO_2 ¹⁷

CONCENTRACION (ppm)	EFFECTOS
0,25 ppm	Absorción de la luz visible y reducción de la visibilidad
0,5 ppm, durante 10 a 12 días	Disminución del crecimiento de plantas
> 0,01 ppm	Problemas respiratorios: fibrosis pulmonar crónica, bronquitis, entre otros.

¹⁷ WARK, Kenneth. Contaminación del aire: Origen y Control. 2ª ed. México: Edit. Limusa.1990.

Anexo No.16: EMISIONES DE CONTAMINANTES POR COMBUSTIBLE Y FUENTES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS. **Fuente:** GUÍA AMBIENTAL PARA TERMOELÉCTRICAS Y PROCESOS DE COGENERACIÓN PARTE AIRE Y RUIDO.

En la TABLA A- 5 se indican los contaminantes producidos por los diferentes combustibles empleados para la generación termoeléctrica.

Es importante tener en cuenta que la emisión de contaminantes depende de varios factores, entre ellos:

- ❖ Características específicas del combustible.
- ❖ Tecnología empleada.
- ❖ Eficiencia de la combustión.

Es decir que para poder determinar la emisión de contaminantes por el uso de uno u otro combustible es indispensable conocer

- ❖ La fuente del combustible.
- ❖ Poder calorífico.
- ❖ Consumo horario o por producto.

Una caracterización detallada de la composición del mismo (análisis físico y químico).

TABLA A-5 Emisión de contaminantes por combustible

Combustible	SO _x	NO _x		CO	CO ₂	VOC	Partículas	Tóxicos
		Térmico	Combustible					
Carbón								
Gas natural								
Fuel Oil N°2								
Fuel Oil N° 6								
Crudo de Castilla								
Biomasa								
Residuos Pesados								
Factor condicionante	Contenido S Combustible	Diseño quemadores	Contenido N de combustible	Características de la Combustión		Contenido de cenizas y otros elementos		

FUENTES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En las plantas de generación la principal fuente de emisión de contaminantes atmosféricos lo constituye el proceso de combustión. Los gases son emitidos a la atmósfera a través de la chimenea de emisión, cuya altura y diámetro obedece generalmente a parámetros termodinámicos de diseño. En las plantas que operan con carbón se debe sumar la emisión de:

- ❖ Partículas de los patios de almacenamiento del combustible
- ❖ Partículas de los patios de disposición de ceniza para el caso de los residuos pesados de crudo y biomasa se pueden presentar residuos de ceniza, en menor proporción, que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente.

En la TABLA A- 8 se presentan los principales puntos de emisión de contaminantes para las diferentes tecnologías.

TABLA A- 8 Puntos de emisión de contaminantes.

Tecnología	SOX, NOX, CO, CO2, VOC, Tóxicos	Vapor	Partículas
Turbina a gas	Chimenea	Chimenea	---
Ciclo stig	Chimenea	Chimenea, Caldera	
Turbina a Vapor	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (Carbón, biomasa) y patio de cenizas.
Motores	Escape	Escape	---
AFBC	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (Carbón, biomasa) y patio de cenizas.
PFBC	Chimenea	Chimenea, Caldera	Chimenea, patio de almacenamiento (Carbón, biomasa) y patio de cenizas.

FACTORES DE EMISIÓN

Estos son valores (índice) obtenidos a partir de balances de masa o de resultados de medidas reales, normalizadas por algún factor (masa, energía o producto) que caracteriza el tamaño del proceso o foco de emisión. En general, los factores de emisión proporcionan un procedimiento rápido y útil de estimación de las emisiones.

La aplicación debe ser cuidadosa ya que estos no incorporan la influencia de diferencias de diseño, régimen de marcha, modos de operación y mantenimiento de equipos, lo cual puede ser condición determinante de los resultados obtenidos para cada caso específico. Pueden emplearse para detectar errores importantes en resultados de muestreo o como indicativo de la emisión potencial, de un contaminante a partir de una fuente de emisión. **No son límites o estándares de emisión**, debido a que representan, esencialmente, un promedio del rango de la tasa de emisión, para una tecnología y un combustible determinado.

Unidades de normalización empleadas para las emisiones provenientes de centrales térmicas son: contaminante por unidad de energía producida o combustible quemado. Así, los factores de emisión se expresan para cada contaminante, tipo de combustible, proceso de combustión, año de entrada en operación, características de los quemadores y hogar, y el tipo de control usado. (Por ejemplo: kilogramos de partículas emitidas por toneladas de carbón quemado).

La *Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA)*, recopila estos factores para diversas actividades, los cuales incluyen las actividades de generación termoeléctrica, que se encuentran disponibles en el documento **COMPILATION OF AIR POLLUTANT EMISSION FACTORS AP-42**, catalogados de la siguiente forma:¹⁸

- Para diferentes tecnologías, a partir del combustible usado.
- Para diferentes combustibles, a partir de la tecnología de generación.
- Para fuentes de área como patios de ceniza y patios de carbón.

Clases de factores de emisión

Cada factor está dado por una clasificación entre A y E, de acuerdo con la confiabilidad de las pruebas utilizadas para desarrollar el factor y en la cantidad y calidad de los datos. En general, a los factores basados en muchas observaciones, obtenidos por medio de procedimientos ampliamente aceptados y confiables, se les asigna la más alta calificación (A). Un factor obtenido por medio de una simple observación, de cuestionable calidad, o extrapolado de otros factores, para un proceso similar, tendrá una calificación más baja (E).

Debido a que la clasificación es subjetiva, obtenida por la interpretación de la dispersión de los datos usados para calcular el factor, la clasificación, se debe ver únicamente como una aproximación. Por tanto la clasificación es un indicador de la exactitud y precisión del factor.

La calidad y clasificación del método de determinación del factor de emisión esta dada por:

- a) La evaluación fue llevada a cabo por una sólida metodología y los resultados son reportados con bastante detalle para una adecuada validación.*
- b) La evaluación fue desarrollada por una metodología generalmente sólida, pero carente de profundidad de detalle para una adecuada validación.*
- c) La evaluación está basada o desarrollada con un método nuevo o para una tecnología nueva.*
- d) La evaluación está basada en métodos inaceptables, pero el método puede proveer resultados del orden de magnitud de emisión para una fuente.*

Dado lo anterior, los factores de emisión del AP-42 se clasifican como se muestra en la TABLA A- 7.

¹⁸ ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I and II. AP-42.5ª ed. Edition. USA, 1995.

TABLA A- 7 Clasificación de los factores de emisión ¹⁹

Clase de factor	Calificación	Característica
A	Excelente	El factor fue desarrollado mediante un método de evaluación a) o b). La categoría de la fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
B	Encima del promedio	El factor fue desarrollado mediante un método de evaluación a) o b).
C	Promedio	El factor fue desarrollado según un método de evaluación a), b) ó c).
D	Debajo del promedio	El factor fue desarrollado usando procedimientos calificados con C ó D, para lo cual se puede suponer que no representan una adecuada muestra de la actividad.
E	Pobre	El factor fue desarrollado usando procedimientos calificados con C ó D. Los procedimientos empleados presentan gran variabilidad

❖ **Factores de emisión para fuel oil**

Los factores de emisión para SO_x , NO_x , CO , *compuestos orgánicos* y *material particulado filtrable* se encuentran disponibles para cada uno de los tipos de fuel oil comercializados en los Estados Unidos de América, en función de los tamaños de las calderas para generación de potencia eléctrica, calderas industriales, quemadores de uso comercial, residencial e institucional. De acuerdo con la clasificación de tecnologías presentada para los procesos de generación termoeléctrica, estos factores son aplicables a turbinas de vapor.

Gases de combustión y material particulado

Los *factores de emisión* para gases de combustión y material particulado se encuentran disponibles de la siguiente forma:

- ❖ La emisión de SO_x depende de la cantidad de azufre contenida en el combustible y se determina hallando el producto del % en peso de azufre del combustible (**S**) por el valor numérico que precede a **S**.
- ❖ Los factores de emisión de NO_x y CO se obtienen directamente de las tablas presentadas para el combustible.
- ❖ El factor de material particulado, se determina según el tipo de Fuel Oil y el contenido de azufre.

La TABLA A- 8 muestra los factores de emisión para Fuel Oil N°6 a partir de una caldera con quema convencional para generación eléctrica.

Factores de emisión para otros contaminantes

¹⁹ ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA. Compilation of AirPollutant Emission Factors. Volume I and II. AP-42.5^a ed. Edition. USA, 1995.

Utilizando los factores de emisión, es posible determinar la emisión de compuestos orgánicos totales (TOC), metano y otros compuestos orgánicos diferentes al metano (NMTOC), generada en los procesos de combustión con Fuel Oil. Estos factores se encuentran como se muestra en la TABLA A-9.

TABLA A-8 Factores de emisión cuando se usa Fuel Oil²⁰

Contaminante	lb/103gal	Clasificación del Factor
SO ₂	1575	A
SO ₃	5.75	C
NO _x	67	A
CO	5	A
MP filtrable	-	A
combustible	Fuel Oil No.6, quema normal (SCC - 1.01.004.01)	
Configuración del quemador	Calderas para generación de potencia eléctrica	

SCC= Código de clasificación de la fuente

- Por ejemplo, el factor de material particulado para el Fuel Oil No 6 viene dado por:

9,19 (S) + 3,22 lb/103 gal.

Donde S es el % en peso de azufre

TABLA A-9 Factores de emisión de compuestos orgánicos con Fuel Oil

Contaminante	lb/103gal	Clasificación del Factor
TOC	1,04	A
CH ₄	0.28	A
NMTOC	0.76	A
Combustible	Fuel Oil No.6, quema normal (SCC - 1.01.004.01)	
Configuración del quemador	Calderas para generación de potencia eléctrica	

Factores de emisión para gas natural

Los factores de emisión empleando gas natural como combustible son aplicables en calderas para generación eléctrica, según el tamaño de la misma, pequeñas calderas industriales, calderas comerciales y combustores residenciales. La utilización de estos factores es similar a la forma descrita para el uso de carbón como combustible.

Material particulado

²⁰ENVIRONMENTAL Protection Agency EPA. Compilation of AirPollutant Emission Factors. Volumen I and II. AP-42. 5ª ed. Edition. USA, 1995.

Los factores representan emisiones sin sistemas de control de material particulado. Las unidades son Kg de partículas por 106 metros cúbicos de gas natural quemado o lb de partículas por 106 pies cúbicos de gas natural quemado, basados sobre un promedio de 8270 kcal/m³ (100 BTU/scf) de poder calorífico alto. El total del material particulado, es la suma del material filtrable y el condensable. Para gas natural todas las emisiones pueden ser asumidas por debajo de 10 µm en diámetro aerodinámico equivalente (PM-10).

Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono

Los factores de emisión para óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono a partir de la combustión con gas natural, se describen para grandes calderas industriales, pequeñas calderas industriales, calderas comerciales y combustores residenciales, clasificados dentro del rango A - E, para los siguientes casos:

- ❖ Sin sistemas de control de emisiones
- ❖ Con control de la emisión de NO_x

El factor de emisión dado en la TABLA A-11 puede convertirse para otros valores de poder calorífico, multiplicando el factor dado por la relación del poder calorífico especificado y el promedio dado.

Los factores de emisión para óxidos de azufre están basados en un promedio de 4600 g/106Nm³ de azufre contenido en el gas natural (2000 gr/106 scf)

TABLA A-10 Factores de emisión de partículas usando Gas Natural

Contaminante	lb/106 ft ³	Clasificación del Factor
MP filtrable	01-may	B
MP Condensable	ND*	NA
Tipo quemador (Tamaño, 106 Btu/h)		
Calderas para generación /Uso industrial (> 100) (1-01-006-01,1-01-006-04)		

SCC= Código de clasificación de la fuente

ND: No Definido

NA: No aplicable

TABLA A-11 Factores de emisión de gases usando Gas Natural

Tipo quemador	SO ₂		NO _x		CO	
(SCC 1-01-006-01,1-01-006-04) (Tamaño, 106Btu/h)	lb/106ft ³	Clasificación del factor	lb/106ft ³	Clasificación del factor	lb/106ft ³	Clasificación del factor
Sin control	0,6	A	550	A	40	A
Control con quemadores de bajo NO _x	0,6	A	81	D	ND	NA
Control con recirculación del gas de tiro	0,6	A	53	D	ND	NA

SCC= Código de clasificación de la fuente

ND: No Definido

NA: No aplicable

Dióxido de carbono y compuestos orgánicos

Los factores de emisión de dióxido de carbono y compuestos orgánicos totales (TOC), se encuentran disponibles como se muestra en la TABLA A-12.

Estos factores presentan emisiones sin sistemas de control, basados sobre un promedio de *8270 kcal/m³ (100 BTU/scf)* de poder calorífico alto. El factor de emisión dado en la tabla puede convertirse para otros valores de poder calorífico, multiplicando el factor dado por la relación del poder calorífico especificado y el promedio dado.

TABLA A-12 Factores de emisión de dióxido de carbono y compuestos orgánicos totales (TOC)

Tipo quemador	CO		TOC	
(SCC 1-01-006-01,1-01-006-04) (Tamaño, 106Btu/h)	lb/106 ft ³	Clasificación del factor	lb/106 ft ³	Clasificación del factor
Calderas para generación /Uso industrial	ND	NA	1..7	C

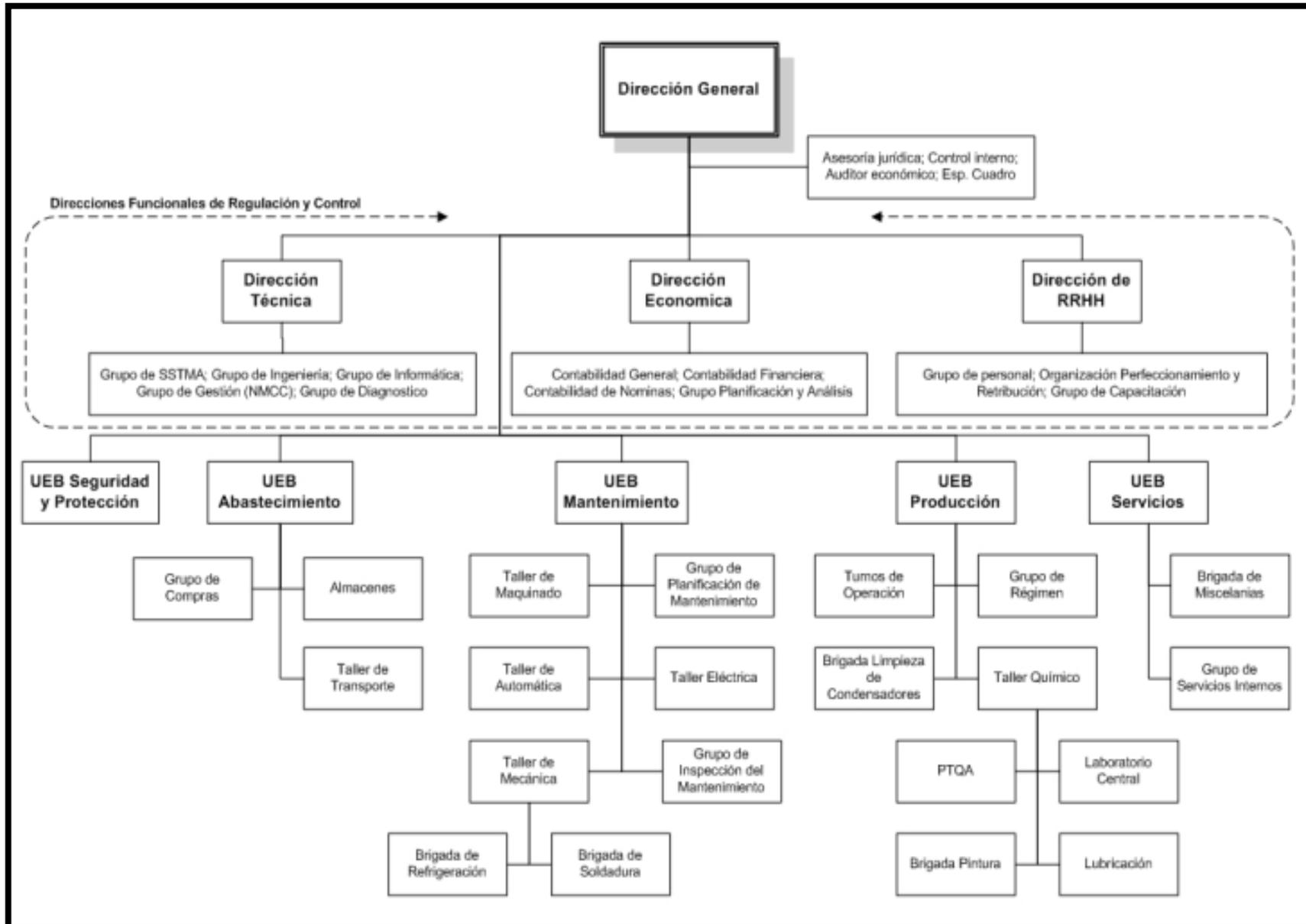
Anexo No.17: Parámetros nominales de las calderas CMC3 y CMC4. **Fuente:** Libro de caldera de unidades japonesas.

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
(SiO₂)	<0.020 mg

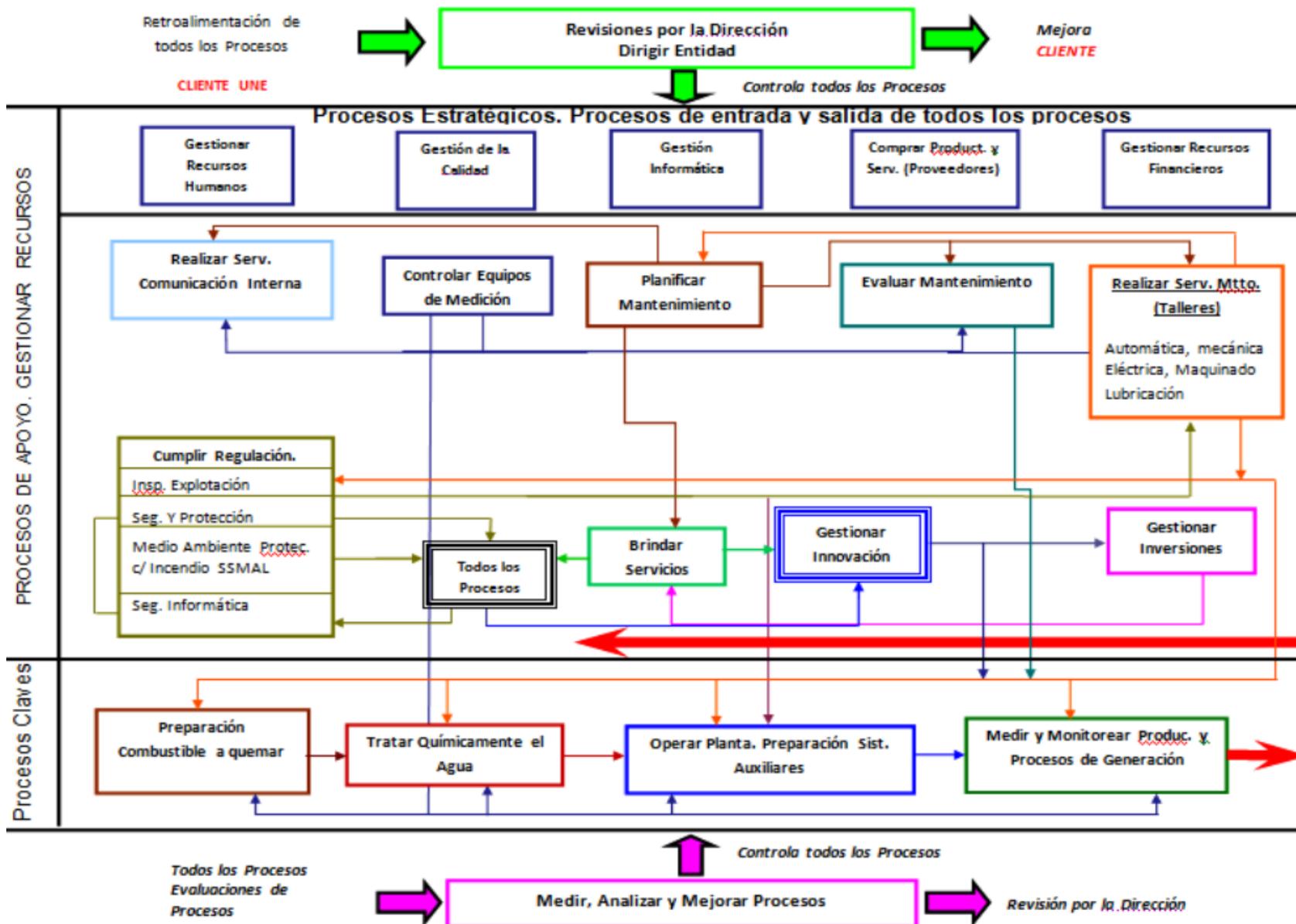
Anexo No.18: Indicadores económicos comparativos para los años 2009 y 2010. **Fuente:** Registros económicos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

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

Anexo No.19: Organigrama jerárquico de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. *Fuente:*García, 2011.



Anexo No.20: Mapa general del proceso. *Fuente:*Departamento de calidad de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



Anexo No.21: Metodología de Cálculo de la huella ecológica y la huella hídrica. **Fuente:** Elaborado a partir de la Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa”(Doménech n.d.).

Cálculo de la Huella Ecológica		
Sub-huella energética (SHENERGIA)		
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 CO ₂ emitido a partir de la siguiente fórmula:		
Sub-huella ENERGIA (ha/MW.h) =	$\sum \frac{\left[\left(\frac{Tc}{Pb} \right) \times Vc \right] \times 4.1868 \times 10^{-6}}{Fc}$	<p style="text-align: center;">Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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)
<p>Nota 1: Utilizando mejores estimaciones del <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (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).</p>		
<p>Nota 2: 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 55Gj/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 emisiones de 15,3 tC/Tj (1,42/0,0153 = 92,8).</p>		
Sub-huella de necesidades de tierras (SHTIERRA)		
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:		

Sub-huella necesidades de TIERRA (ha/MW.h) =	$\frac{At}{Pb}$	<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • At: Área total de la entidad (ha).
Sub-huella de los insumos (SHINSUMOS)		
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 al final de este anexo, quedando la expresión del cálculo de esta huella de la siguiente manera:		
Sub-huella INSUMOS (ha/MW.h) =	$\sum \frac{\left(\frac{Clx}{Pb}\right) \times IE}{Fc}$	<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clx: Consumo total del Insumo x para el período de la investigación (t/año). • IE: Intensidad Energética del Insumo x según Doménech Quesada (Gj/ton).
Sub-huella de superficie construida (SHSUPFCONST)		
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:		
Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA (haconst/MW.h) =	$\frac{Sc}{Pb}$	<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sc: Superficie total construida del área total de la entidad (ha).
Sub-huella necesidades de agua de mar (SHAGUADEMAR)		
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:		
Sub-huella consumo de AGUA DE MAR (ha/MW.h) =	$\frac{\left(\frac{CTam}{Pb}\right)}{10000 (PMf)}$	<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CTam: Consumo total de agua de mar en el período (m3/año).

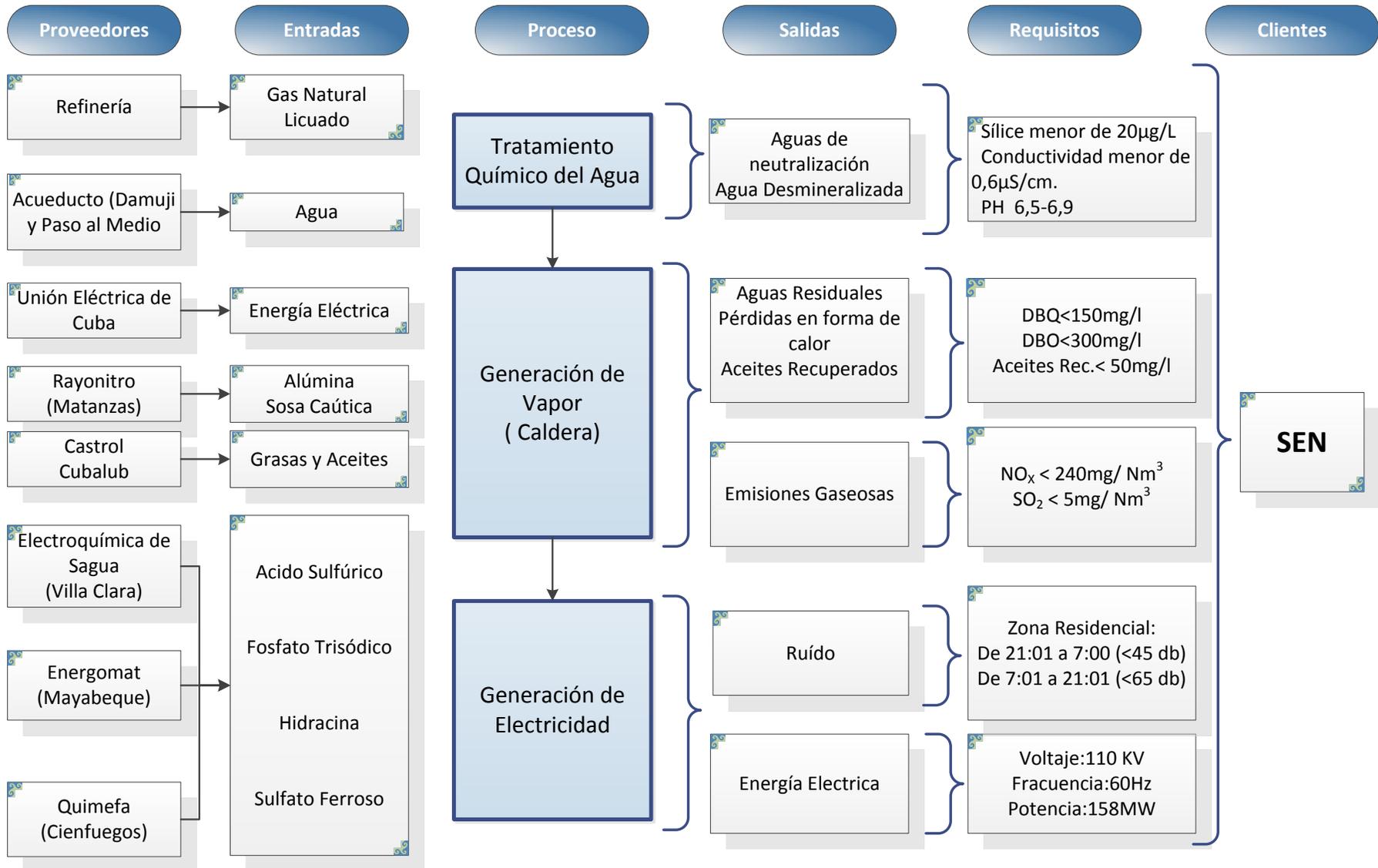
		<ul style="list-style-type: none"> •PMf: Profundidad media de la fuente de agua de mar (m). • 10000(PMf): actor de representación a hectáreas de superficie de la fuente de consumo de agua de mar.
	Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa	
Para el cálculo de este indicador se adicionan cada una de las sub-huellas antes calculadas. La expresión aritmética queda conformada de la siguiente manera:		
Huella Ecológica Corporativa (ha/MW.h/año)= (SHENERGIA + SHTIERRA + SHINSUMOS + SHSUPFCNST + SHAGUADEMAR).		
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.		
Cálculo de la Huella Hídrica		
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:		
HUELLA HÍDRICA TOTAL CORPORATIVA (m3/MW.h) = (AGUAS VERDES + AGUAS AZULES + 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.	
AGUAS AZULES (m3/MW.h) =		Luego:

	$\sum \frac{AZi}{Pb}$	<p>AZi: 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> <p>Pb: Generación Bruta (MW.h) para el año definido en los límites temporales de la investigación</p>
<p>AGUAS GRISES (m3/MW.h) =</p>	$\sum \frac{AGi}{Pb}$	<p style="text-align: center;">Luego:</p> <p>AGi: 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].</p>
<p>La huella de agua (<i>WaterFootprint</i>) 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.</p>		

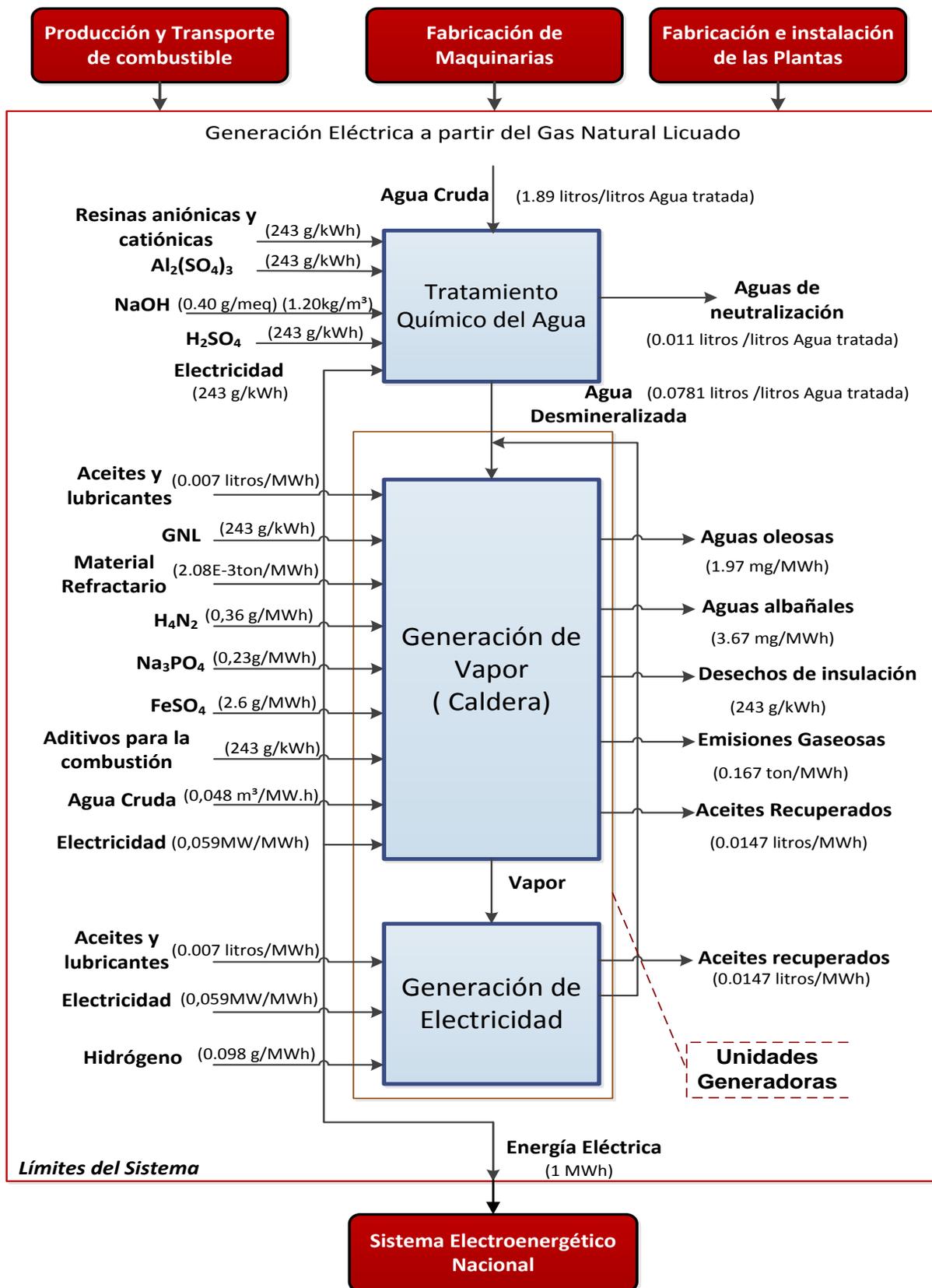
Intensidad energética de los distintos materiales e insumos

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 No.22: Diagrama SIPOC e IDEFO del proceso de generación de energía eléctrica para el GNL



(Continuación): Diagrama IDEFO del proceso de generación de energía eléctrica para el GNL.



Anexo No.23: Normas de parámetros químicos para las calderas de 140 atmósferas.

Fuente: Normas de operación de PTQA.

Parámetros a controlar	U/M	Agua alimentar	Condensado	Vapores	Agua caldera	Agua Enfriamiento
Dureza total	$\mu\text{l}/\theta\epsilon-\gamma$	3	3	-	-	
Sílice (SiO ₂)	$\mu\text{l}/\gamma$	50	-	20	-	
Sílice (SiO ₂)	mg/l	-	-	-	0.9	
Fosfato	mg/l	-	-	-	02-Jun	
Oxígeno (O ₂)	$\mu\text{l}/\gamma$	10	30	-	-	
Hidracina (N ₂ H ₄)	$\mu\text{l}/\gamma$	Oct-50	-	-	-	
Amoníaco libre (NH ₃)	mg/l	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	-	
Hierro (Fe)	$\mu\text{l}/\gamma$	20	-	20	-	
Cobre (Cu)	$\mu\text{l}/\gamma$	5	-	5	-	
Conductividad	$\mu\text{m}\chi/\sigma$	-	-	-	50	
Conductividad desg.	$\mu\text{m}\chi/\sigma$	0.3	0.3	0.3	-	
pH	-	8.7-9.2	8.7-9.2	8.7-9.2	8.8-9.2	

Anexo No.24: NORMAS DE CONSUMO PARA PTQA. **Fuente:** Norma de operación de PTQA de la Termoeléctrica de Cienfuegos.

PRODUCTOS QUIMICOS	U.M.	PASO BONITO	DAMUJI
Ácido sulfúrico	g/meq	0.16	0.22
Ácido Sulfúrico	Kg/m ³	0.65	1.3
Sosa cáustica líquida	g/meq	0.2	0.2
Sosa cáustica líquida.	Kg/m ³	0.64	1
Sulfato de Aluminio	Kg/m ³	0.05	0.035
Insumo Agua Cruda	%	20	35
Salinidad	Meq/L	3.5	6
Agua Cruda	M ³ / MW.	0.25	0.45
Agua Desmineralizada.	M ³ / MW.	0.22	0.3

Anexo No.25: Características fundamentales del combustible a utilizar en la generación de energía eléctrica en la Unidad # 3 de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. **Fuente:** Certificado de calidad del laboratorio de CUVENPETROL S.A.

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

Análisis de del gas natural en fracciones de peso

Fuel.	Gas Natural.
Carbón.	0.721
Hidrógeno.	0.239
Azúfre.	0
Nitrógeno.	0.032
Oxígeno.	0.008

Valores fundamentales asumidos sobre la base del combustible

ValorCalóricoSuperior.	9830kcal/ Nm3(supuesto)
Densidad.	0,7463kg/ Nm3(supuesto)
Total de calor requerido por la caldera (MCR).	384 000 000 kcal / h(supuesto)
Total de calor requerido por la caldera a 158MW.	381 000 000 kcal / h (supuesto)

Anexo No.26: 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 figure displays four sequential screenshots of the SEIA software interface, connected by red arrows indicating the workflow:

- Screenshot 1:** The main menu titled "SEIA Versión Central Termoelectrica 'Carlos M. de Céspedes' de Cienfuegos". It features the title "SEIA Sistema para la Evaluación del Impacto Ambiental" and a navigation menu with options: 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 fuel characteristics for "Combustible Crudo1". The table includes columns for "Característica", "Valor Mínimo", "Valor Promedio", "Valor Máximo", "Unidades", and "Esencial (1)".

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	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	0.5	wt %	1
Contenido de oxígeno	0.4	0.5	0.5	wt %	1
Densidad	0.9937	0.998	1.0015	g/cm ³	1
Valor Calórico Neto (VCN)		38.52		MJ/kg	1

 A red circle with the number "2" is overlaid on the bottom right.
- Screenshot 3:** The "Valores usados en el cálculo de las emisiones" window. It contains various input fields for combustion parameters, including "Características Técnicas de la Instalación" (chimney height, diameter, etc.), "Datos Ambientales" (temperature, humidity), and "Características del combustible" (net calorific value, density, chemical composition). A red circle with the number "3" is overlaid on the bottom left.
- Screenshot 4:** The "Factores de emisión basados en el cálculo teórico de la combustión" window. It displays calculated emission factors for various pollutants. A red circle with the number "4" is overlaid on the bottom left.

Contaminante	Unidades	Factor E
TSP	g/kwh	1.8151
CO2	g/kwh	852.4451
SO2	g/kwh	30.8398
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

Anexo No.27: Inventario factorizado de materias primas y materiales y emisión de los contaminantes en Termoeléctrica Cienfuegos.

ENTRADAS	UM	CMC3
Hidrógeno	g/MW.h	0,09354091
Aceite	litros/MW.h	0,00797108
Fosfato Trisódico(Na ₃ PO ₄)	g/MW.h	0,23428893
Hidracina al 4%(H ₄ N ₂)	g/MW.h	0,36142677
Sulfato Ferroso (FeSO ₄)	g/MW.h	2,5991903
Agua de mar	litros/MW.h	215574,278
Cantidad de Alúmina (Al ₂ (SO ₄) ₃) (g)	g/MW.h	6,66224458
Cantidad de Sosa Caustica (NaOH) (g)	g/MW.h	107,242706
Cantidad de Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) (g)	g/MW.h	101,30276
Agua Tratada	m ³ /MW.h	0,08973133
Material refractario	t/MW.h	5,61E-05
Consumo Específico GNL	m ³ /MW.h	315
Electricidad	MW.h	0,0593038
Agua Cruda	m ³ /MW.h	0,04794951
SALIDAS	UM	CMC3
Generación Bruta	MW.h/año	961838
Material refractario retirado	t/MW.h	0,000207935
Aceite recuperado	litros/MW.h	0,01470918
Aguas Albañales		
DBO5	mg/MW.h	0,880222439
DQO	mg/MW.h	2,793674735
Aguas Oleosas		
Grasas y Aceites	mg/MW.h	1,97444277
Emisiones Gaseosas		
Dióxido de Carbono (CO ₂)	t/MW.h	0,166894

Monóxido de Carbono (CO)	t/MW.h	0,0000332
Metano (CH₄)	t/MW.h	0,0000016
Óxidos Nitrosos (NO_x)	t/MW.h	0,000312
PM10 (Ref.5% O₂)	t/MW.h	0,0005112
Dióxido de Azufre (SO₂)	t/MW.h	7,36E-08
Oxido Dinitrógeno (N₂O)	t/MW.h	0,00000048

Anexo No.28: Comparación entre el Gas Natural y el Fuel Oil del Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica por Categorías de impacto. **Fuente:**openLCA

Termoeléctrica de Cienfuegos "Carlos Manuel de Céspedes"			
LCIA Category	Amount		Unit
	Fuel Oil	Gas Natural Licuado	
Agotamiento de Recursos	0,389051476	0,39270013	points
Calentamiento Global	0,292482134	0,254434972	points
Uso del Agua	0,281302365	8,57581E-05	points
Acidificación	0,11120872	0,067096878	points
Toxicidad Agua Dulce	0,044323987	2,81259E-07	points
Eutrofización	0,025224248	0,013957068	points
Capa de ozono	0,019151389	5,58469E-09	points
Uso del suelo	0,010610922	1,61046E-08	points
Toxicidad Humana	0,009176109	0,00037335	points
Smog Fotoquímico	0,008268914	0,000905529	points
Toxicidad Marina	0,003232336	6,93089E-09	points

Anexo No.29: Cálculo del número de expertos.

Cálculo del número de expertos

$$n = \frac{p(1-p)K}{i^2}$$

n=número de expertos.

i=nivel de precisión deseado (0,12).

p= Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos.(0.03).

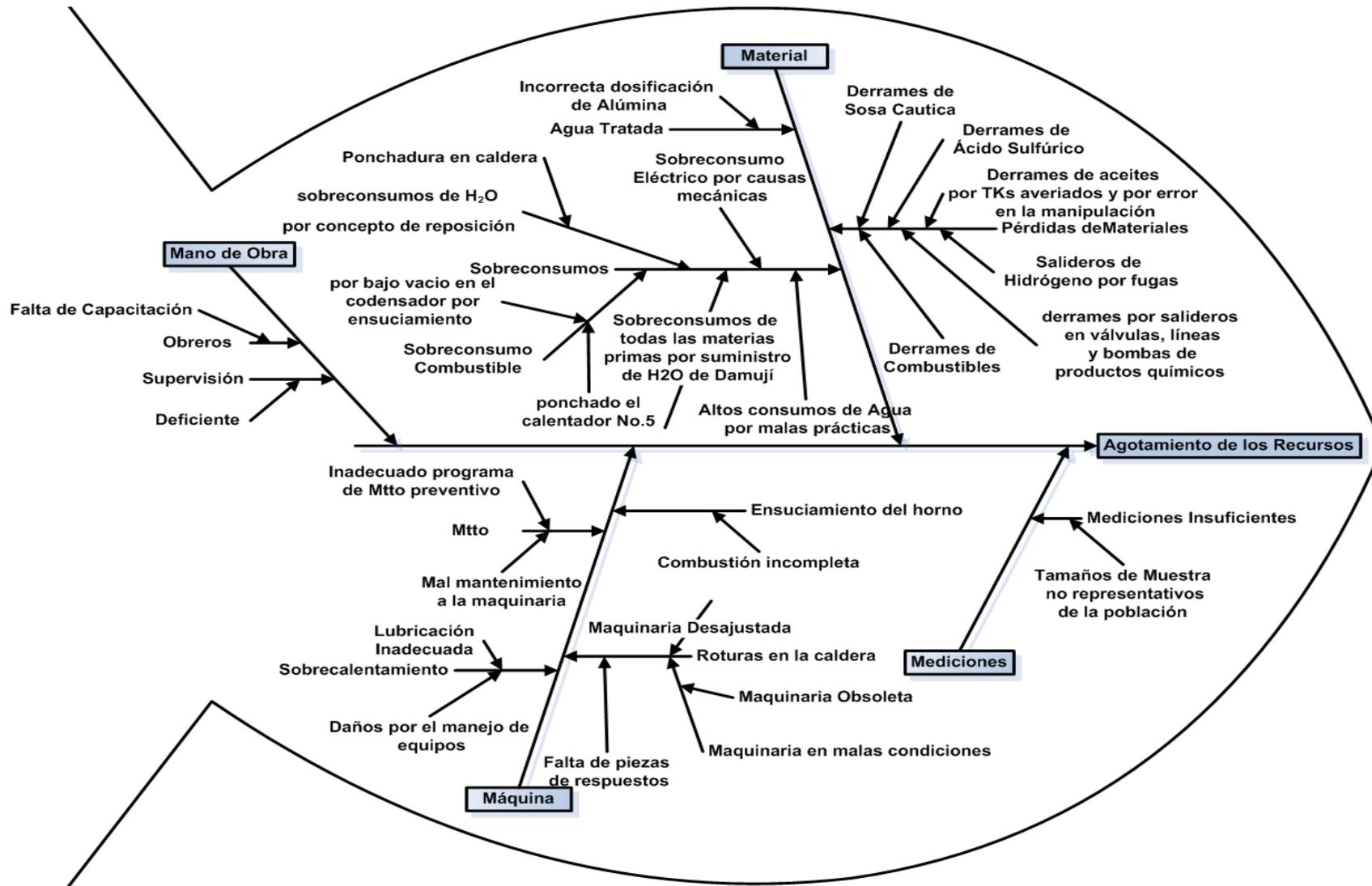
K=parámetro cuyo valor está asociado al nivel de confianza que sea elegido. Para un nivel de Confianza de 95%, K=3,8416.

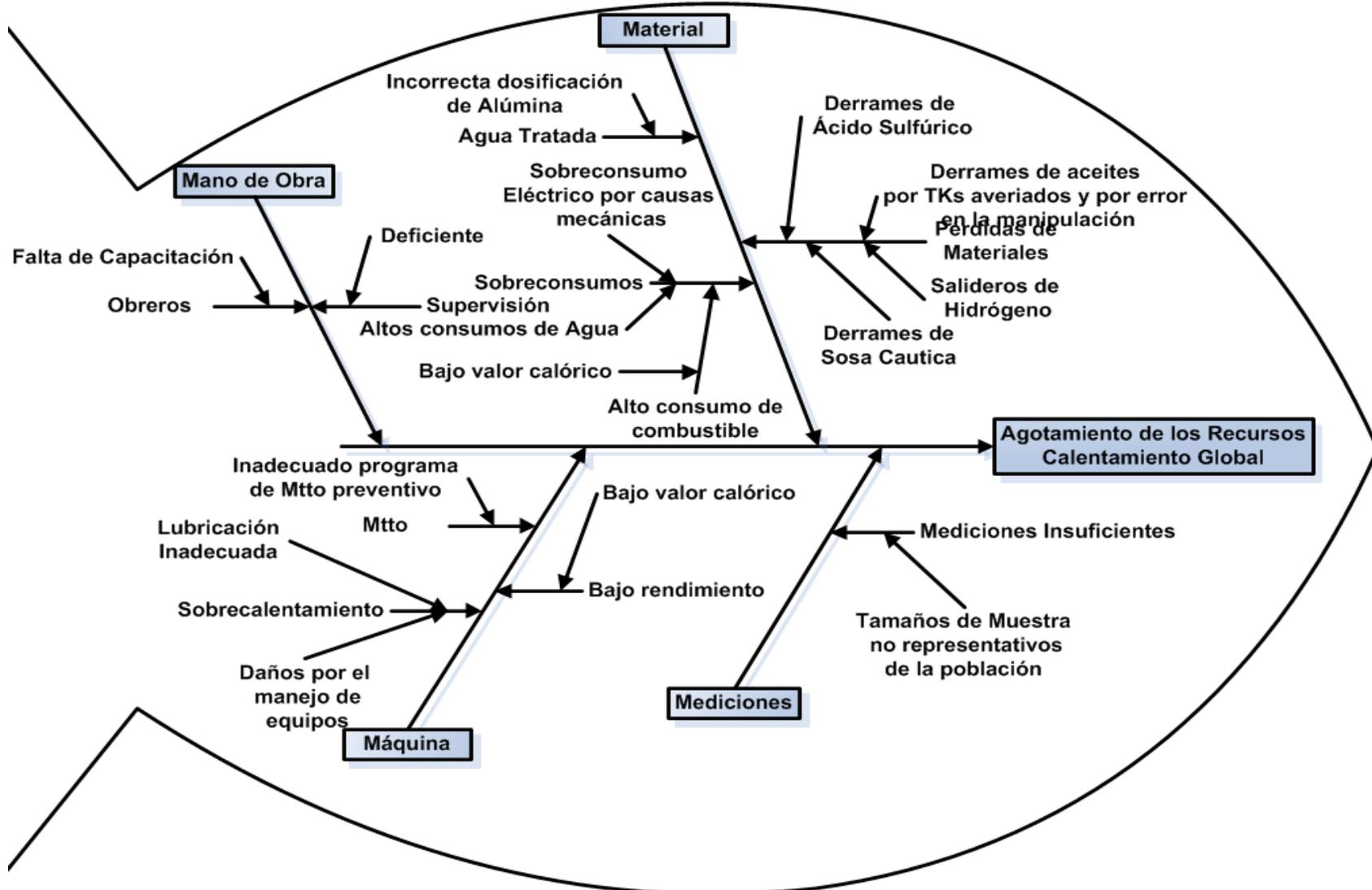
$$n = \frac{p(1-p)K}{i^2}$$

Sustituyendo en la ecuación:

n=7,76319~8 expertos

Anexo No.30: Diagramas Ishikawa para las Categorías de Impacto más relevantes en el proceso de generación de electricidad para Fuel Oil y GNL.





Anexo No.31: AMEF en la Categoría de impacto Agotamiento de los recursos para el Fuel y el GNL.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE LAS FALLAS

Página _____ de: _____

Nombre de Proyecto: AMEF para el Fuel Oil Proyecto pa Proceso: _____

Responsabilidad : _____ Líder del Proyecto: _____ Preparado por: _____

Fecha Clave: _____ Fecha AMEF Original: _____ Última revisión: _____

Función del proceso	Modo de falla potencial	Efecto(s) de la falla potencial	S E V E R	Causa/ mecanismo de la falla potencial	O C U R R	Controles actuales del proceso para detección	D E T E C	N. P. R.
Tratamiento Químico del Agua Generación de Vapor Generación Eléctrica	mala preparación de los obreros	Incorrecta dosificación de Alúmina	2	Falta de Capacitación	4	Inspecciones y evaluaciones programadas	3	24
		Maquinaria desajustada	4					48
		Daños por el manejo de equipos	6					72
	Problemas de supervisión	Mala eficiencia	6	Existe una deficiente supervisión	5	Inspección visual	3	90

Generación de Vapor	Sobreconsumos de las Materias Primas	Pérdidas de Agua	5	Sobreconsumos de Agua por ponchadura en las calderas	3	Inspecciones y evaluaciones programadas	4	60
Generación de Vapor		Altos costos por concepto del consumo de combustible	9	Sobreconsumo de combustible por bajo vacío en el condensador por ensuciamiento y ponchaduras en el calentador #5	9	Inspecciones y evaluaciones programadas Muestreo y pruebas	6	486
Tratamiento Químico de Agua		Altos gastos de Materias Primas	6	Sobreconsumo de todas las materias primas por suministro de agua desde Damuji	6	Inspecciones periódicas y cartas de control	4	144
Generación de Vapor		Sobrecalentamiento	9	Sobreconsumo eléctrico por causas mecánicas	7	Cartas de control	3	189
		Fuera de tolerancia	8					168
		Daños por manejo de equipos	7					147
Áreas de servicio Tratamiento químico del agua	Disminución de las reservas de aguas azules	4	Altos consumos de H ₂ O no productiva por malas prácticas y la aplicación de políticas de ahorro	7	Inspecciones periódicas y cartas de control	4	112	
Tratamiento Químico de Agua	Agua mal Tratada	Mala preparación de los obreros	4	Incorrecta dosificación de alúmina	6	Muestreo, inspecciones periódicas, cartas	2	48

		Supervisión deficiente	4			de control		48	
Tratamiento Químico de Agua	Pérdidas de Materiales	Pone en peligro a operadores	9	Derrames de Ácido Sulfúrico	7	Inspección visual	3	189	
		Mala dosificación del agua	5					105	
		desaprovechamiento de las materias primas	6					126	
Generación eléctrica			Pone en peligro a operadores	9	Derrames de Aceites por TKs averiados y por error en la manipulación	7	Inspección visual	3	189
Planta de Tratamiento Químico de Agua			Mala dosificación del agua	5	Derrames de Sosa Cautica	6	Inspección visual	3	90
			desaprovechamiento de las materias primas	6					108
Turbina y Generador eléctrico					Salideros de Hidrógeno por fugas en botellones, válvulas y líneas	6	Muestreo y Pruebas	5	270
Generación de Vapor		Pone en peligro a operadores	9	Derrames por salideros en válvulas, líneas y bombas de productos químicos (H4N2;Na3PO4;FeSO4)	5	Inspección visual	4	180	

Tratamiento Químico de Agua Generación de Vapor Generación Eléctrica	mediciones insuficientes	No se pueden tomar decisiones certeras	3	Mediciones inexactas por tamaños de muestra no representativos de la población	5	Muestreo y Pruebas Inspección visual	5	75
Generación de Vapor	Sobrecalentamientos	Inestabilidad	4	Lubricación Inadecuada	4	inspección visual y Cartas de control	5	80
		Eficiencia reducida	6					120
Generación eléctrica		Roturas	7	Daños por el manejo de equipos	3	Muestreo y Pruebas	6	126
		Altos consumos de materiales	3					54
Generación de Vapor	Mantenimientos deficientes	Calentamiento excesivo	8	Inadecuado programa de Mantenimiento preventivo	4	Inspección visual	4	128
Generación eléctrica		Daños a los equipos y maquinarias	8					Mal mantenimiento a la maquinaria
				200				
Sistema de Quemadores de la Caldera	Ensuciamiento del horno	Altas emisiones de material particulado a la atmósfera	8	Combustión Incompleta	9	Cartas de control	6	432
Generación de Vapor	Roturas en la Caldera	Disminución en la generación de electricidad	7	Maquinaria desajustada	6	Cartas de control	4	168
		Altos costos por concepto de reparación	7	Falta de piezas de repuesto	9	Auditorias al proceso	3	189

		Fugas de agua tratada y sustancias químicas	8	Maquinaria desajustada	6	Muestreo y Pruebas	4	192
		Pone en peligro a operarios	9	Maquinaria en malas condiciones	3	Inspecciones y control interno	2	54
				Maquinaria obsoleta	3	Certificación de los equipos	1	27

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE LAS FALLAS

Página _____ de: _____

Nombre de Proyecto: AMEF para el GNL Proceso: _____

Responsabilidad : _____ Líder del Proyecto: _____ Preparado por: _____

Fecha Clave: _____ Fecha AMEF Original: _____ Última revisión: _____

Función del proceso	Modo de falla potencial	Efecto(s) de la falla potencial	S E V E R	Causa/ mecanismo de la falla potencial	O C U R R	Controles actuales del proceso para detección	D E T E C	N. P. R.
---------------------	-------------------------	---------------------------------	-----------------------	--	-----------------------	---	-----------------------	----------------

Tratamiento Químico del Agua Generación de Vapor Generación Eléctrico	Mala preparación de los obreros	Incorrecta dosificación del agua	2	Falta de Capacitación Mala eficiencia	4	Inspecciones y evaluaciones programadas	4	32
		Maquinaria desajustada	3					48
		Daños por el manejo de equipos	5					80
	Problemas de supervisión	Mala eficiencia	6	Existe una deficiente supervisión	5	Inspección visual	4	120
Tratamiento Químico del Agua	Agua mal Tratada	Mala preparación de los obreros	5	Incorrecta dosificación de alúmina	3	Muestreo, inspecciones periódicas, cartas de control	6	90
		Supervisión deficiente	5					90
Tratamiento Químico del Agua	Sobreconsumos de Materias Primas	Sobreconsumo de combustible	9	Bajo valor calórico	6	Revisiones Programadas	4	485
		Sobrecalentamiento	7	Sobreconsumo eléctrico por causas mecánicas	5			140
		Fuera de tolerancia	7					
		Daños por manejo de equipos	7					
Generación de Vapor		Disminución de las reservas de aguas azules	4	Sobreconsumos de H ₂ O	7			112

Tratamiento Químico de Agua	Pérdidas de Materiales	Desaprovechamiento de las materias primas	3	Derrames de Ácido Sulfúrico	6	Inspección visual	3	54	
		Pone en peligro a operadores	9					162	
		mala dosificación del agua	5					90	
Generación eléctrica		Pone en peligro a operadores	9	Derrames de Aceites por TKs averiados y por error en la manipulación	5	Inspección visual	3	135	
Tratamiento Químico del Agua		desaprovechamiento de las materias primas	6	Derrames de Sosa Cautica	6	Inspección visual	3	108	
		Mala dosificación del agua	5					90	
Generación eléctrica		Pone en Peligro a los operadores	9	Salideros de Hidrógeno por fugas en botellones, válvulas y líneas	4	Muestreo y Pruebas	5	180	
Generación de Vapor		mal funcionamiento de la caldera	Sobrecalentamientos	7	Lubricación Inadecuada	2	Cartas de control	3	42
Generación eléctrica					Daños por el manejo de equipos	2	Muestreo y Pruebas	4	56
Generación de Vapor	Mantenimientos deficientes	Daños a los equipos y maquinarias	7	Inadecuado programa de Mantenimiento preventivo	4	Inspección visual	4	112	
Generación eléctrica									

Tratamiento Químico del Agua Generación de Vapor Generación Eléctrica	Mediciones	No se pueden tomar decisiones certeras	3	Tamaños de muestra no representativos de la población	4	Muestreo y Pruebas Inspección visual	5	60
Generación eléctrica	Bajo rendimiento	Altos consumos de combustibles	9	Bajo valor calórico	9	Muestreo y Pruebas Inspección visual	6	486
				Pérdidas de la potencia generada	8			432

Anexo No.32: Índices esperados para el Gas Natural Licuado. **Fuente:** Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

Indicador	Diseño original	Alcanzar con Conversión a Gas
Carga activa, MW	158	158
Carga reactiva, MVAR	92	92
CEB, gr/kW.h	232,5	243.0
Insumo eléctrico, %	5,15	5.45
Consumo de agua, m3/h	5.00	5.00
Disponibilidad, %	90	85 - 90
Tipo de combustible	Fuel Oil Ligero	Gas Natural
Mínimo técnico, MW	40	60 con Gas
Regulación de frecuencia	Base	Rangos (100-158)

Anexo No.33: 5W1H para las propuestas de mejoras en el proceso de generación de electricidad con Gas Natural Licuado en el marco del proyecto a realizar en la Termoeléctrica de Cienfuegos

Asunto	Propósito	Lugar	Persona	Secuencia	Método
¿Qué?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuándo?	¿Cómo?
Utilizar el 100% de los gases de escape en un economizador a condensación y posteriormente realizar la disminución de temperatura (por debajo de la temperatura de rocío físico) y proceder a un posterior calentamiento por ejemplo con calentadores eléctricos que eviten la formación de penacho.	Para aprovechar al máximo la energía emitida del bajo valor calórico del gas natural. La viabilidad de las modificaciones propuestas se puede considerar desde dos puntos de vista; como un ahorro de combustible (disminución del consumo específico) para dar la misma potencia o como un aumento en la producción de energía	Intercambiador de gases	Jefe de unidad y operarios, Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad. Grupo Evaluación Económica, Director CTE Carlos M. Céspedes, Director Inversiones UNE	Cada 72 horas	<p>Contratación de brigada especializada en la construcción y montaje de equipamiento tecnológico</p> <p>Alternativa A: Utilizar la totalidad de los gases en un economizador a condensación para eliminar totalmente la capacidad de condensación del calentador N° 1 y la mitad de la capacidad del N° 2, aportando 16.233,78 kW para así evitar la formación del penacho, alcanzando 92 °C en la base de la chimenea. Los resultados obtenidos son:</p> <p>Alternativa B: Utilizar la totalidad de los gases en un economizador a condensación para eliminar totalmente la capacidad de condensación del calentador N° 1 y la cuarta parte de la capacidad del N° 2, aportando 15.970,47 kW, para así evitar la formación del penacho.</p> <p>Alternativa C: Utilizar la totalidad de gases en un economizador a condensación para eliminar totalmente la capacidad de condensación del calentador N° 1, aportando 15.718,38 kW, para así evitar la formación del penacho.</p>

<p>Utilizar un porcentaje del 63 % de los gases de escape en un economizador a condensación, de forma que, posteriormente, al mezclar los gases desviados al economizador con los que pasan a chimenea sin intercambio de calor se obtenga la temperatura en la base de chimenea necesaria para evitar la formación de penacho; para ello se ha pensado utilizar unos dampers para regular el flujo y producir las mismas pérdidas de carga.</p>	<p>eléctrica.</p>	<p>Intercambiador de gases</p>	<p>Operarios, Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad. Grupo Evaluación Económica, Director CTE Carlos M. Céspedes, Director Inversiones UNE</p>	<p>Cada 8 horas</p>	<p>Contratación de brigada especializada en la construcción y montaje de equipamiento tecnológico</p>	<p>Alternativa D: Utilizar el 63 % de los gases en un economizador a condensación para eliminar totalmente la capacidad de condensación del calentador Nº 1, no necesitándose aportación de calor adicional para evitar la formación de penacho.</p>
--	-------------------	--------------------------------	---	---------------------	---	--

Anexo No.34: Costos de Conversión de ambas unidades a Gas. **Fuente:** Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

COSTOS DE INVERSIÓN DE LA UNIDAD 3 CTE C.M.C						
					Importación	
		MCUC	MMN	MMTotal	MUSD	MUSD
I	Equipos	24634,9	2463,49	27098,39	26605,69	26605,69
II	Construcción y Montaje	683,72	5843,57	6527,27	332,29	
III	Otros	3066,69	665,12	3731,81	3245,23	
TOTAL		28385,31	8972,18	37357,49	30183,21	

Conversión a Gas Unidad 3						
		CUC	MN	MTotal	USD	Importación USD
I	Equipos	24634900,0	2463490,0	27098390,0	26605692,0	26605692,0
	Caldera	17523628,69	1752362,87	19275991,56		
	Sistema Automático	6208371,31	620837,13	6829208,44		
	Equipos Auxiliares Varios	902900,00	90290,00	993190,00		
II	Construcción y Montaje	683720,15	5843568,61	6527288,76	332287,99	
	Trabajo en Caldera	0,00	3306000,00	3306000,00		
	Trabajo en Sistema Automático	326500,00	114534,00	441034,00		
	Otros Trabajos	357220,15	2423034,61	2780254,76		
III	OTROS	3066688,81	665123,85	3731812,66	3245232,92	
	Asesoría Técnica	2546763,85	0,00	2546763,85	2750504,95	
	Entrenamientos	407482,22	0,00	407482,22	440080,79	
	Proyectos y Asistencia Técnica Nacionales	45289,44	128059,80	173349,24	22010,67	
	Gastos DIP	35919,21	68552,60	104471,81	17456,74	
	Gastos de Puesta en servicio	15617,05	15617,05	31234,10	7589,89	
	Otros	15617,05	452894,40	468511,45	7589,89	

COSTO DE INVERSIÓN DE LA UNIDAD 4 CTE C.M.C						
					Importación	
		MCUC	MMN	MMTotal	MUSD	MUSD
I	Equipos	24634,9	7054,6	31689,5	26605,7	26605,7
II	Construcción y Montaje	765,2	6140,1	6905,4	371,9	0,0
III	Otros	4585,5	665,1	5250,6	4885,5	0,0
TOTAL		29985,6	13859,8	43845,4	31863,1	26605,7

Conversión a Gas						
		CUC	MN	MTotal	USD	Importación USD
I	Equipos	24634900,0	7054550,0	31689450,0	26605692,0	26605692,0
	Caldera	17523628,89	1752362,87	19275991,56	18925518,99	18925518,99
	Sistema Automático	6208371,31	620837,13	6829208,44	6705041,01	6705041,01
	Equipos Auxiliares Varios	902900,00	4681350,00	5584250,00	975132,00	975132,00
II	Construcción y Montaje	765235,28	6140124,39	6905359,66	371904,34	
	Trabajo en Caldera	0,00	2546000,00	2546000,00		
	Trabajo en Sistema Automático	152141,00	54507,42	206648,42		
	Otros Trabajos	613094,28	3539616,97	4152711,24		
III	OTROS	4585499,44	665123,85	5250623,29	4885548,41	
	Asesoría Técnica	2546763,85	0,00	2546763,85	2750504,95	
	Entrenamientos	407482,22	0,00	407482,22	440080,79	
	Proyectos y Asistencia Técnica Nacionales	45289,44	128059,80	173349,24	22010,67	
	Gastos DIP	35919,21	68552,60	104471,81	17456,74	
	Gastos de Puesta en servicio	15617,05	15617,05	31234,10	7589,89	
	Intereses durante la construcción	1518810,63	0,00	1518810,63	1640315,48	
	Otros	15617,05	452894,40	468511,45	7589,89	

Anexo No.35: Cálculo de los Ahorros. **Fuente:** Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

		Unidad # 3										
No	Descripción		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Horas Anuales	8760										
2	Disponibilidad	85%										
3	Factor de Utilización	85%										
4	Potencia con Gas CTE	MW	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
5	Generación	MWh	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998
Cambio de Combustible												
6	Consumo de Combustible											
	Fuel Oil	Ton	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999
	Gas	MNm3	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775
7	Costo Combustible	MCUC										
	Fuel Oil		103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698
	Gas		67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943
	Ahorro Crudo Sust. (Utilización Gas)	MCUC	35.754									

		Unidad # 4										
No	Descripción		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Horas Anuales	8760										
2	Disponibilidad	85%										
3	Factor de Utilización	85%										
4	Potencia con Gas CTE	MW	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
5	Generación	MWh	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998	999.998
Cambio de Combustible												
6	Consumo de Combustible											
	Fuel Oil	Ton	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999	242.999
	Gas	MNm3	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775	314.775
7	Costo Combustible	MCUC										
	Fuel Oil		103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698	103.698
	Gas		67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943	67.943
	Ahorro Crudo Sust. (Utilización Gas)	MCUC	35.754									

Anexo No.36:Flujo de Caja del Proyecto en Sí en MCUC. **Fuente:** Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

Flujo de Caja para la Conversión a Gas Unidad 3 CTE Carlos M. Céspedes														
13 de diciembre de 2010														
MCUC														
		0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EGRESOS		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (35.312)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (35.312)										
INGRESOS				\$ -	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 40.177	\$ 42.065	\$ 42.065	\$ 42.065
Utilidad Neta					\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 40.177	\$ 42.065	\$ 42.065	\$ 42.065
BENEFICIOS NETOS		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (35.312)	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 39.961	\$ 40.177	\$ 42.065	\$ 42.065	\$ 42.065
BENEFICIOS NETOS ACT. ACUM.		\$ (10.000)	\$ (61.400)	\$ (96.712)	\$ (61.032)	\$ (29.176)	\$ (732)	\$ 24.664	\$ 47.339	\$ 67.585	\$ 85.759	\$ 102.748	\$ 117.917	\$ 131.461
VAN	12%	\$ 131.461	MCUC											
VAN	15%	\$ 105.731	MCUC											
TIR		40%												
Periodo de Recup.	Años	3,0												

Flujo de Caja para la Conversión a Gas Unidad 4 CTE Carlos M. Céspedes														
13 de diciembre de 2010														
MCUC														
		0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
EGRESOS		\$ (26.154)	\$ (3.832)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión		\$ (26.154)	\$ (3.832)											
INGRESOS		\$ -	\$ -	\$ 33.069	\$ 33.069	\$ 33.793	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810
Utilidad Neta				\$ 33.069	\$ 33.069	\$ 33.793	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810
BENEFICIOS NETOS		\$ (26.154)	\$ (3.832)	\$ 33.069	\$ 33.069	\$ 33.793	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810	\$ 34.810
BENEFICIOS NETOS ACT. ACUM.		\$ (26.154)	\$ (29.986)	\$ (459)	\$ 25.903	\$ 49.957	\$ 72.079	\$ 91.831	\$ 109.467	\$ 125.213	\$ 139.272	\$ 151.825	\$ 163.033	
VAN	12%	\$ 163.033	MCUC											
VAN	15%	\$ 141.219	MCUC											
TIR		111,1%												
Periodo de Recup.	Años	1,0												

Anexo No.37: Flujo de Caja del Proyecto en Sí en Moneda Total (MCUP). **Fuente:** Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL).

Flujo de Caja para la Conversión a Gas Unidad 3 CTE Carlos M. Céspedes														
13 de diciembre de 2010														
MMTotal														
		0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EGRESOS		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (68.652)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (68.652)										
INGRESOS		\$ -	\$ -	\$ -	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 27.275
Utilidad Neta					\$ 18.406	\$ 18.406	\$ 18.406	\$ 18.406	\$ 18.406	\$ 20.928	\$ 20.928	\$ 20.928	\$ 20.928	\$ 21.305
Depreciación					\$ 9.850	\$ 9.850	\$ 9.850	\$ 9.850	\$ 9.850	\$ 5.970	\$ 5.970	\$ 5.970	\$ 5.970	\$ 5.970
BENEFICIOS NETOS		\$ (10.000)	\$ (51.400)	\$ (68.652)	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 28.256	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 26.898	\$ 27.275
BENEFICIOS NETOS ACT. ACUM.		\$ (10.000)	\$ (61.400)	\$ (130.052)	\$ (104.824)	\$ (82.298)	\$ (62.186)	\$ (44.229)	\$ (28.196)	\$ (14.568)	\$ (2.401)	\$ 8.463	\$ 18.162	\$ 26.944
VAN	12%	\$ 26.944	MCUP											
VAN	15%	\$ 9.588	MCUP											
TIR		17%												
Periodo de Recup.	Años	7,2												