



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Química ~ Farmacia
Departamento de Ingeniería Química



Libertad y Orden

Trabajo de Diploma

Análisis de Ciclo de Vida en la etapa de diseño de un
proceso petroquímico en Colombia

Autora: Ansary Moreno Moreno

Tutoras: Dra. Elena Rosa Domínguez

Dra. Nydia Suppen Reynaga

Prof. Consultante: Ing. Reinier Feyt Leiva

SANTA CLARA

2009

“Año 50 de la Revolución”





Libertad y Orden

PENSAMIENTO

...es bastante más posible que el miedo logre lo que la razón no ha
logrado y que llegue a donde la razón no ha llegado...
Obra de tal manera que los efectos de tu acción no sean
destructivos para la futura posibilidad de esta vida

HANS JONAS



Libertad y Orden

DEDICATORIA

Dedicatoria



A mi madre Esperanza Moreno Naranjo y a mi padre Hermes Moreno Naranjo por que a pesar de la distancia que nos separa, siempre estuvieron conmigo apoyándome, depositándome su confianza, brindándome su sabiduría, en el surgimiento de cada etapa de mi vida. Dos personas con una historia de lucha y de amor que me enorgullece, y que ahora me ayudan a construir la mía.

A mi hermano Nebilles Oswaldo Moreno Moreno por su risa, por su amor, por su añoranza, por esas ganas de verme llegar a casa, por recibirme siempre con besos y abrazos, por desear seguir mis pasos y tiene todo para salir victorioso en sus estudios y en su vida.

A mi tío Nebilles Moreno una persona con un historial de lucha revolucionaria inolvidable, a quien llevare en mi alma y en mi corazón la vida entera... que en paz descanse.

A mi esposo Adriano Alves Nascimento por el apoyo que me ha brindando estando lejos y cerca de mi, por darme su fuerza, su amor y su confianza en esta etapa de mi vida.

A Omar, Karina, Diego, Fabio, Sebastián F., Álvaro, Yalaina y todos aquellos amigos que confiaron en mi y me brindaron su apoyo y su confianza.

A mi tutora Elena Rosa Domínguez y al profesor Reinier Feyt Leiva por brindarme sus conocimientos, apoyo, esfuerzo y dedicación.





Libertad y Orden

RESUMEN

Resumen

El trabajo desarrollado consiste en realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la etapa de diseño de un proceso de refinación de petróleo para obtener los inventarios del ciclo de vida de la planta y determinar los productos y las etapas de forma cuantitativa que mayor impacto tienen sobre la salud humana y el medio ambiente.

La aplicación de la metodología del ACV se realiza sobre la base de los requisitos establecidos por la Norma ISO 14040:1997 y se utiliza del software Sima Pro 7.1 empleando el método del Eco-indicador 99.

La fase de interpretación del estudio demostró que la producción anual en la refinería tiene un impacto al medioambiente de magnitud considerable y que las mayores contribuciones al impacto total se deben a la extracción del crudo y a su transportación.

Por otro lado se demostró que las categorías de mayor impacto son la respiración de inorgánicos y combustibles fósiles y en menor medida se observan afectaciones en la carcinogénesis, ecotoxicidad, radiación, respiración de orgánicos, cambio climático, minerales y uso de suelos.

Para la disminución del impacto ambiental se proponen mejoras al proceso como la creación de la planta de hidrosulfuración y el cambio de combustible de Fuel-oíl por gas natural en las calderas.



Libertad y Orden

ABSTRACT

Abstract

This work deal with Life Cycle Assessment (LCA) in the petroleum refinement process during the design stage for obtaining the inventories of life cycle and to determine the products and the stages that have the bigger impact on the human health and the environment.

The application of the methodology of the LCA is carried out on the base of the requirements settled down by the Norma ISO 14040:1997 and it is used of the software Sima Pro 7.1 using the method of the Echo-indicator 99.

The phase of interpretation of the study demonstrated that the annual production in the refinery has an impact to the environment of considerable magnitude and that the biggest taxes to the total impact are due to the extraction of the raw one and its transportation.

On the other hand it was demonstrated that the categories of more impact are the breathing of inorganic and fossil fuels and in smaller measure affectations are observed in the carcinogen, ecotoxicity, radiation, breathing of organic, change climatic, minerals and use of floors.

For the decrease of the environmental impact they intend improvements to the process like the creation of the hydrosulfuration plant and the change of Fuel-oil for natural gas in the boilers.



Libertad y Orden

INDICE

Índice

Agradecimientos	I
Dedicatoria	II
Resumen	III
Abstract	IV
Introducción	1
Capítulo I : Marco teórico y referencial de la investigación	
1.1 Introducción	6
1.2 Análisis de Ciclo de Vida	
1.2.1 Ubicación del ACV dentro del marco de la gestión ambiental	9
1.2.2 Esencia de la metodología del ACV	10
1.2.2.1 Estructura general de la metodología del ACV	11
1.2.2.2 Metodología para realizar el ACV	12
1.2.2.3 Objetivo y alcance de estudio	13
1.2.2.4 Análisis del inventario	
1.2.2.5 Evaluación del impacto	14
1.2.2.6 Interpretación del ciclo de vida	18
1.3 Proceso de refinación de petróleo	
1.3.1 Subdivisión de una refinería	
1.3.2 Principales aspectos ambientales en la refinación de petróleo	22
1.3.3 Análisis de Ciclo de Vida en la refinación de petróleo	25
Capítulo II: Análisis del inventario de ciclo de vida y análisis económico de la inversión	
2.1 Introducción	29
2.2 Aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida	
2.2.1 Definición de objetivo y alcance	
2.2.1.1 Objetivo	
2.2.1.2 Alcance del estudio	

2.2.2 Inventario de Ciclo de Vida	37
2.2.2.1 Balance de los flujos de materiales y energía fundamentales	38
2.2.2.2 Manejo de agua	39
2.2.2.3 Manejo de energía	
2.2.2.4 Determinación de las emisiones de aire	40
2.2.2.5 Residuales líquidos	41
2.2.2.6 Análisis del proceso de transporte	44
2.2.3 Conformación del inventario	45
2.3 Análisis económico de la inversión	46
Capítulo III: Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)	
3.1 Introducción	53
3.2 Análisis para los productos que salen de la refinería	54
3.3 Análisis de la producción anual de la refinería en Colombia	58
3.3.1 Caracterización	59
3.3.1.1 caracterización del proceso de producción de la refinería	
3.3.1.2 Impacto total que se produce en una refinería en un año de trabajo	65
Conclusiones Generales	67
Recomendaciones	68
Bibliografía	
Anexos	



Libertad y Orden

INTRODUCCION

Introducción

El desgaste que está sufriendo el medio ambiente afecta seriamente a la naturaleza debido al incontrolable consumo de recursos naturales, a la contaminación atmosférica y/o contaminación de los recursos hidrológicos, todo esto es consecuencia de la incansable e ilimitada actividad humana, trayendo consigo nefastas consecuencias para la salud y el medio ambiente en general; teniendo en cuenta que solo una parte de los recursos naturales son renovables, se hace necesario evitar el uso irracional de los mismos lo que conduciría a una situación irreversible.

La humanidad evoluciona aceleradamente, en su indetenible avance surge y se desarrolla la revolución industrial, a finales del siglo XIX y en la primera mitad del siglo XX es donde alcanza su máximo esplendor, pues se logran avances no soñados. Los estilos de desarrollo que han predominado en el planeta se han caracterizado por el propósito de alcanzar la máxima garantía económica sin considerar las reservas energéticas mundiales, ni los límites de generación de los recursos y los ecosistemas; la cual ha generado un grave y acelerado proceso de deterioro del medio ambiente.

En la medida en que se ha ido adquiriendo conciencia del daño que se está causando a los ecosistemas y al medio ambiente en general se ha propuesto detener, o al menos, limitar los vertimientos al mismo para favorecer el saneamiento ambiental. Le corresponde dar los primeros pasos a los países desarrollados o del primer mundo pues en ellos existen las mayores fuentes contaminantes o nos invaden con tecnologías contaminantes a los países del tercer mundo. En los últimos años se ha desarrollado un enfoque sistemático.

Estos sistemas generalmente son optimizados para satisfacer demandas económicas y las emisiones medioambientales muchas veces no constituyen el centro de atención.

El mejoramiento de la competitividad orientado por el enfoque sistémico está necesariamente relacionado con la sostenibilidad a largo plazo, en un amplio sentido. Así, el desarrollo podría ser más que crecimiento económico, pues la competitividad

podría proveer un desarrollo tal que el crecimiento económico, el desarrollo humano y el cuidado del ambiente podrían reforzarse mutuamente.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se sugiere como una herramienta que identifica el impacto ambiental de la producción y comercialización de una cadena productiva. **(Pelupessy 1998:13-14), (Díaz y Hartley 2006).**

En Colombia el gobierno a través de los Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha establecido mecanismos para incentivar la protección del Medio Ambiente por parte de las empresas. Sin embargo en el estatuto vigente existe un beneficio fiscal denominado deducción de renta por inversión ambiental, el cual se aplica para aquellas inversiones adicionales a las establecidas por mandato legal. Por esta razón los incentivos se llevan a cabo en forma de asistencia técnica y de disminución de impuestos de renta; y para obtener los mismo la empresa tiene que desarrollar su diagnóstico ambiental y a partir de este proponer las medidas que permitan un adecuado desempeño ambiental de la entidad y de las comunidades aledañas a esa empresa, es decir ayudar con la contribución de parques ecológicos entre otros. El Ministerio encargado en la introducción de metodologías que cuantifiquen el impacto ambiental es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La cuantificación de los impactos ambientales se logra con el Análisis de Ciclo de Vida.

El Análisis de ciclo de vida (life-cycle assessment) es una herramienta que permite evaluar el impacto ambiental de un proceso o producto considerando todas las etapas que intervienen desde su producción hasta su eliminación, desde la extracción de los recursos hasta la distribución del producto ya elaborado o el tratamiento de los desechos derivados. Esto implica identificar y cuantificar la energía, los materiales usados y los desechos liberados al medioambiente en cada etapa del ciclo de vida de un producto. De este modo se evalúa el impacto ambiental generado y se hallan las opciones de mejora.

Esta concepción del ACV ha sido generalmente aceptada entre la comunidad de investigación ambiental como la única base legítima sobre la que se pueden comparar

materiales alternativos, componentes y servicios. El ACV se centra en los impactos ambientales relacionados con los sistemas ecológicos, la salud humana y el agotamiento de los recursos. No tiene en cuenta efectos económicos o sociales.

Las áreas de aplicación generales son:

- La identificación de los procesos, materias primas y sistemas que más contribuyen al impacto ambiental.
- La comparación de diferentes opciones para un proceso en particular con el objetivo de minimizar los impactos ambientales.
- Servir de guía en las planificaciones estratégicas a largo plazo relacionadas con las modas en el diseño de productos y en los materiales.
- La evaluación de los efectos sobre los recursos naturales asociados con determinados productos, incluyendo nuevo productos, y
- Ayudar a introducir a los diseñadores de productos en el uso de materiales de producción más respetuosos con el medioambiente y en la comparación ambiental de productos equivalentes.

Recientemente se han realizado estudios de ACV en Colombia en productos del petróleo y sus derivados como: Aceites lubricantes (ICONTEC, 2008), para los cuales las bases de datos disponibles internacionalmente se han adaptado a las condiciones Colombianas, lográndose resultados importantes para las empresas donde se ha desarrollado el estudio.

El estudio mas completo de ACV de un producto derivado del petróleo en Colombia fue presentado por ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) en conjunto con diferentes entidades petroleras como Ecopetrol, Petrobras Colombia Combustibles, y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008, sobre etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios para aceites lubricantes para motores de dos tiempos a gasolina.

En el mundo se reportan estudios de ACV de la producción de petróleo y sus derivados, en varios países de América Latina entre los que se destacan están (Argentina, Chile, Brasil, México, Cuba, Venezuela). No se reportan trabajos en estos países que utilicen la herramienta desde la etapa de diseño.

La situación anterior permite plantear el siguiente problema científico.

Problema científico:

En Colombia no existen inventarios de Ciclo de Vida de Complejos Petroquímicos que permitan aplicar el Análisis de Ciclo de Vida y determinar las etapas que más impactan sobre el medio ambiente y de esta forma disponer de una herramienta para la toma de decisiones que posibilite el diseño de procesos sustentables en el sector.

Hipótesis:

Si se realiza un Análisis de Ciclo de Vida en el proceso productivo de un Complejo Petroquímico Colombiano auxiliado por el uso de la simulación se contará con un inventario del ciclo de vida de esta empresa y se pueden determinar las etapas y productos que mayor impacto tienen sobre la salud humana y el medio ambiente, favoreciéndose el proceso de toma de decisiones para obtener un proceso más limpio.

Objetivo general:

Realizar un Análisis de Ciclo de Vida en la etapa de diseño del proceso productivo de un Complejo Petroquímico Colombiano que permita cuantificar los impactos ambientales asociados al mismo.

Objetivos específicos:

1. Definir de acuerdo a las características del proceso el objetivo y alcance del estudio.
2. Simular la planta de refinación para obtener los inventarios primarios del proceso.

3. Desarrollar el inventario para el análisis de ciclo de vida del proceso productivo de acuerdo a las características.
4. Evaluar el impacto ambiental del proceso usando la metodología del ACV y auxiliándose del software Sima Pro 7.1
5. Realizar la Interpretación de los resultados que permitan proponer mejoras al proceso.



Libertad y Orden

CAPITULO I:
Marco teórico y
referencial de la
investigación

Capítulo I: Marco teórico y referencial de la investigación

1.1 Introducción

Las perturbaciones ambientales de origen humano evidenciadas en los niveles de contaminación actuales de aire y agua así como los niveles de generación de residuos que se han alcanzado, han llevado a la sociedad y las industrias a realizar un proceso reflexivo sobre la sostenibilidad del hombre y de la naturaleza bajo las condiciones actuales de los sistemas productivos. Se ha manifestado una gran preocupación por la preservación de las generaciones futuras y la forma en que la interacción actual de los diferentes actores de la sociedad permitirá o no su supervivencia en el largo plazo.

La visión de la contaminación como un hecho puntual de afectación ambiental solo constituye una porción de los retos de la sociedad para preservar la naturaleza. Se hace necesario tener en cuenta el aprovechamiento adecuado de los recursos, el empleo de tecnologías limpias, el uso del bien por parte del consumidor y su disposición una vez ha finalizado su ciclo de vida útil. La visión sistémica del producto, de los procesos, de la organización y del consumidor permitirá a los actores de la sociedad tomar acciones eficaces para la protección de los ecosistemas **(Fúquene y Córdoba, 2007)**.

Surge así como una herramienta de producción mas limpia el Análisis de Ciclo de Vida.

1.2 Análisis de ciclo de vida (ACV)

La Norma **ISO 14040:97 (AENOR)** define **Análisis de Ciclo de Vida** como *“la recopilación y evaluación de las entradas y salidas y de los potenciales impactos ambientales del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida”*. Se trata de una metodología promovida por el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, impulsada en la *Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible* de Johannesburgo

de 2002 y que se ha estandarizado con las series 14040 de la mencionada norma (**ISO 14041:1998, ISO 14042:2000, ISO 14043:2000**).

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta de evaluación de impacto ambiental asociado a un producto o proceso. Comprende etapas que van desde la retirada de materia prima (cuna), la disposición del producto final después su uso (tumba). Incluye las fases de extracción, procesamiento de la materia prima, transporte, distribución, uso, reuso, mantenimiento, reciclaje y disposición final (**Ferreira, 2001**).

El análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable – desde el punto de vista ambiental-minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (**Fórum Ambiental, 2003**). El **Anexo 1** presenta un esquema que ilustra el análisis de ciclo de vida (ACV).

Las características fundamentales de un ACV, según la norma (**ISO 14040:2006**) son las siguientes:

- Considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción de materia prima y adquisición de la energía, producción y manufactura, hasta el uso, tratamiento al final de vida y disposición final.
- Permite identificar la carga ambiental potencial dentro de las etapas de ciclo de vida, o procesos individuales, con el fin de poder evitarla.
- Consigna los aspectos e impactos ambientales de un sistema de producción. Los aspectos e impactos económicos y sociales están fuera del alcance del ACV.

- Es una aproximación relativa, que esta estructurada alrededor de la unidad funcional. Esta unidad funcional define lo que se estudia. Todos los análisis subsecuentes son relativos a esa unidad funcional.
- Es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV usan resultados de otras etapas, la aproximación iterativa dentro y entre las fases contribuye a la comprensión y consistencia del estudio y de los resultados presentados.
- El ACV considera todos los atributos o aspectos del medio natural, salud humana y recursos.
- Las decisiones dentro de un ACV se basan fundamentalmente en las ciencias naturales. Si no existe una base científica o una justificación basada en otros enfoques científicos o en convenciones internacionales las decisiones se deben basar en juicios valorativos.

El ACV se basa en la descripción de un sistema de producción compuesto por unidades de proceso, típicamente, compra de materia prima, producción, uso, reciclado/reuso, tratamiento de residuos, suministro de energía y transporte (**Figura 1**). Las unidades de proceso están relacionadas entre sí por flujos de productos intermedios y/o residuos, con otros sistemas de producción por flujos de producción, y con ambientes por flujos elementales (**Panichelli, 2006**).

La disciplina que se encarga de este objetivo se llama **ecodiseño**, o diseño para el medio ambiente (*Design for the Environment, DFE*). El ecodiseño es una técnica que considera los aspectos ambientales en todas las etapas de desarrollo de productos, esforzándose por conseguir productos con el impacto ambiental mínimo posible a lo largo de todo su ciclo de vida (**Suppen, 2009**).

La capacidad de una entidad gestionada (producto) de cumplir simultáneamente las metas de costo, calidad y rendimiento, y reducir los impactos ambientales (disminuir las emisiones y conservar los recursos) se denomina ecoeficiencia. El ecodiseño, pues, intenta alcanzar las ecoeficiencias de los productos (**Fiksel, 1997**).

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía (**Trama y Troiano, 2002**).

De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que mas tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (**Ecoetiquetado**). Las etiquetas ecológicas son sistemas voluntarios de calificación ambiental que identifican y certifican de forma oficial que ciertos servicios o productos dentro de una categoría determinada tienen un menor impacto sobre el medio ambiente. El ecoetiquetado intenta premiar con un liderazgo ambiental aquellos productos que no contaminen (**Romero, 2003**).

La misma World Trade Organization, plantea que cada vez son más las etiquetas que basan análisis en el ACV, ver **Anexo 2 (Romero, 2003)**.

1.2.2 Esencia de la metodología del ACV

Para llevar a cabo una metodología óptima de análisis de ciclo de vida es necesario tener claro el concepto de ciclo de vida, este concepto sistémico, constituye la esencia

de esta metodología, que ofrece una estructura que integra todos los impactos ambientales ocurridos a lo largo del ciclo de vida y los relaciona con problemas ambientales específicos. Con el enfoque “desde la cuna hasta la tumba”, se define el producto con todas las actividades necesarias para procesar, usar y disponer del producto y no sólo de los componentes individuales.

El sistema de producción se considera como un conjunto complejo de distintos procesos y subsistemas. Determinando todas las entradas y salidas de todos los procesos del ciclo de vida, se obtienen todos los impactos para ser relacionados con los problemas ambientales definidos en la metodología y así hacer posible la interpretación del desempeño ambiental de la unidad analizada de manera integral.

La importancia del concepto del ciclo de vida surge de dos conceptos básicos (**Hoof, 2000**):

- Cuantificar un indicador de impacto ambiental agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales determinados por sus distintas variables (impactos).
- Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental.

1.2.2.1 Estructura general de la metodología del ACV

La estructura de la metodología de ACV consiste básicamente en 2 partes.

- a) El inventario del ciclo de vida (*“Life Cycle Inventory”*) donde se calculan todos los impactos durante el ciclo de vida.
- b) Modelo de asignación (*conocido en la literatura internacional como “Assessment method”*), donde se relacionan los impactos con los problemas ambientales con el fin de obtener un eco-indicador. Primero se relaciona el impacto con un factor de contribución al problema ambiental definido y después se prioriza entre los problemas ambientales.

Cuando se aplica la estructura de ACV el valor del indicador ambiental se basa en tres variables:

- a) Valor específico del impacto (*inventario*). Estos valores se calculan o se miden por proceso específico, estableciendo las entradas y salidas.
- b) Factor de contribución entre el valor del impacto y los problemas ambientales definidos (*caracterización*). Los problemas estándares se definen en la metodología. Los factores de contribución se determinan con base a estudios ecológicos.
- c) Prioridades entre los problemas ambientales definidos (*evaluación*). El valor del impacto depende de la prioridad entre los problemas. La variación de los problemas ambientales siempre es una evaluación subjetiva.

La variable *a* se especifica por proceso, aplicando balances de materia y energía. Las variables *b* y *c* están definidas en la metodología de asignación. Con esta metodología se define la problemática ambiental en un modelo que consiste en una variedad de problemas ambientales y/o categorías de impactos, buscando abarcar la problemática integral (**Hoff, 2000**).

1.2.2.2 Metodología para realizar el ACV

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa (**ISO 14040**) un proyecto de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

Tal como se ilustra en la (**Figura 2**) estas cuatro fases no son simplemente secuenciales. El ACV es una técnica interactiva que permite ir intercambiando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.

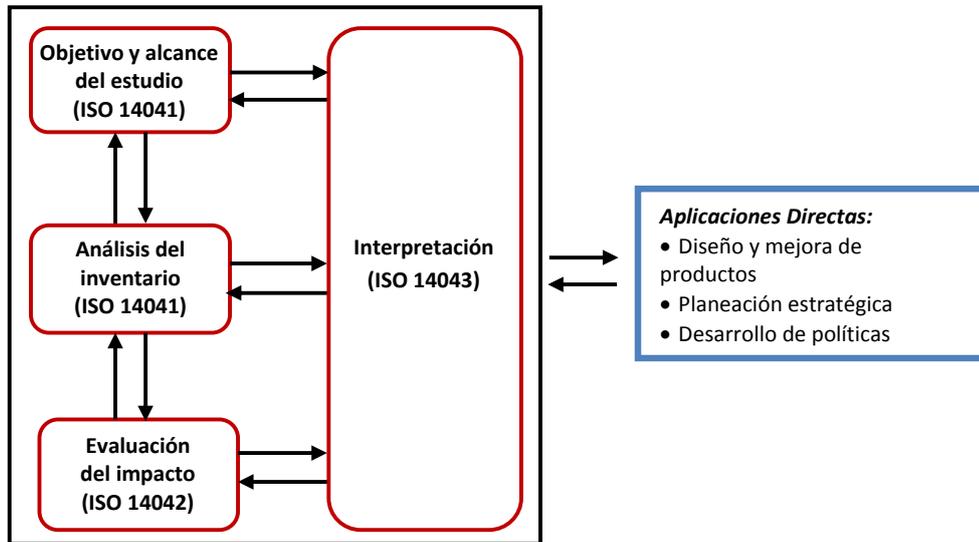


Figura 2. Fases de un ACV. Fuente: norma ISO14040: 2006

1.2.2.3 Objetivo y alcance de estudio

El alcance incluye el sistema de producción a estudiar, las funciones del sistema de producción, los sistemas involucrados (en el caso de estudios comparativos), la unidad funcional, los procedimientos de asignación, las categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación e interpretación de impactos, los datos requeridos, las suposiciones e hipótesis utilizadas, las limitaciones, la calidad de datos iniciales requeridos, el tipo de revisión crítica y el tipo y el formato del informe final.

El propósito inicial de una **unidad funcional** es proveer la referencia respecto a la cual las entradas y salidas estén relacionadas. Los **límites del sistema** definen la unidad de producción a ser incluida en el sistema. Idealmente, el sistema de producción debe ser elaborado de tal manera que las entradas y salidas, así como los límites, sean flujos elementales (*Panichelli, 2006*)

1.2.2.4 Análisis del Inventario (AICV)

El análisis del inventario (AICV) incluye la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema de producción.

Los datos requeridos incluyen por ejemplo el ingreso de energía, el ingreso de materias primas y entradas auxiliar, productos, co-productos y residuos, emisiones al aire, descargas al agua y al suelo, y otros aspectos ambientales.

El cálculo de datos contempla la validación de datos coleccionados, los datos relacionados a la unidad de producción, y los datos relacionados al flujo de referencia de la unidad funcional.

El AICV es la base para realizar evaluaciones comparativas de impactos ambientales e identificar oportunidades de mejora. En un AICV se genera una lista con las cantidades de contaminantes relacionadas con el medio ambiente y la cantidad de materia y energía consumida.

El AICV puede ser utilizado de diferentes maneras. Puede servir para hacer comparaciones entre productos, procesos o actividades o para la inclusión de aspectos ambientales en la selección de materiales. Además, pueden contribuir a la generación de políticas y como herramientas de ayuda a la decisión (**Panichelli, 2006**).

1.2.2.5 Evaluación del impacto (EICV)

La fase de evaluación de impacto (EICV) en un ACV esta dirigida a la evaluación de la significancia de los impactos ambientales potenciales del producto o proceso, usando los resultados del AICV. En general, este proceso incluye los datos de inventario con impactos ambientales específicos y categorías de indicadores para entender estos impactos. La fase de EICV también provee información para la fase de interpretación del ACV.

La EICV constituye el nexo entre el producto o proceso y los potenciales de impactos sobre el ambiente (**Panichelli, 2006**).

La estructura de esta fase viene determinada por la norma (**ISO 14042:2000**), distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales ver **Anexo 3**.

La estructura general de la EICV está compuesta de elementos mandatorios, de acuerdo a la NC ISO 14042:2001, que son los siguientes:

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de categorías.
- Clasificación. Es la asignación de los resultados del inventario a categorías de impacto, es decir, los datos del inventario con agrupados en un número de categorías de impacto.
- Caracterización. Es el cálculo de los indicadores de categorías, es decir el análisis y estimación de la magnitud de los impactos, sobre la salud de los ecosistemas, la salud humana y la reducción de recursos para cada una de las categorías de impacto.

El indicador resultante para las categorías de impacto en su conjunto, representa el perfil ambiental para el proceso.

Hay elementos opcionales e información que puede ser utilizada dependiendo del objetivo y alcance del estudio, los cuales son:

- Normalización. Es el cálculo de la magnitud del indicador de la categoría relativa a un valor de referencia. Todos los impactos –contribución de un sistema producto a una categoría de impacto- están relacionados a una situación de referencia.
- Agrupación. Es la agrupación y jerarquización de los indicadores.
- Ponderación. Su objetivo es priorizar y posiblemente la agregación de los resultados del indicador a categorías de impacto. Es una comparación cuantitativa de la seriedad de los diferentes impactos potenciales de un sistema producto, en general, con el objetivo de obtener un índice simple del desempeño ambiental.
- Análisis de datos. Se entiende como la confiabilidad de los resultados del ACV.

Los valores y la subjetividad de cada elemento debe ser transparente para una revisión y emisión de reportes críticos (**UNEP, 2003**).

Las *categorías de impacto de ciclo de vida* son clases que representan los problemas o preocupaciones ambientales a los cuales se deben asignar los resultados del inventario

de ciclo de vida (**definición de la ISO TR 14047 (2001)**). Las categorías de impacto son generalmente de dos tipos (**Norris, 2003**):

1. Categorías de agotamiento de recursos, que incluyen el agotamiento de los recursos abióticos, bióticos, uso de suelo y uso de agua.
2. Categorías de contaminación, que incluyen calentamiento global, toxicología humana y ecotoxicología, formación de ozono, acidificación, eutroficación, entre otras.

Para cada categoría de impacto se calcula un valor que indica el impacto ambiental del proceso, llamado **indicador (UNEP, 2003)**. Es importante mencionar que el modelo para cada indicador de las categorías debe, siempre que sea posible, ser válido técnica y científicamente usando un mecanismo ambiental distinto e identificable, y/o a través de una observación empírica reproducible.

Partiendo de la definición de categorías de impacto de un ACV, se busca cubrir los aspectos más relevantes que interesan a una empresa, la sociedad en su conjunto o los gobiernos, de la siguiente forma:

- Evaluando los puntos intermedios, que son considerados como puntos en los mecanismos ambientales de una categoría particular de impacto, obteniendo categorías de impacto intermedias, los factores de caracterización de puntos intermedios son calculados para reflejar la importancia relativa de una emisión o extracción en el ICV (**Bare y col., 2000**).
- Evaluando los puntos finales, que son aquellos elementos de un mecanismo ambiental que representan por si solos el valor de la sociedad, es decir, los daños que los impactos ambientales ocasionan en la salud humana, la de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos en los puntos finales de los procesos ambientales, generando las categorías finales (o de daños) (**Udo de Haes y Lindeijer, 2001**).

Una de las diferencias claves entre categorías de impacto intermedias y finales, es la forma en que se toma en cuenta la relevancia ambiental de los indicadores de las

categorías. En las categorías intermedias la relevancia ambiental, generalmente es presentada en una forma de relación cualitativa, estadísticas y revisión de artículos; sin embargo, podrían ser cuantificadas utilizando métodos de puntos finales para proporcionar herramientas a los que toman las decisiones. En las categorías finales, no hay necesidad de separar la relevancia ambiental de los indicadores de categorías, porque los indicadores escogidos generalmente, son considerados más entendibles para los que toman las decisiones (**Bare y col., 2000**).

El uso de modelos es necesario para derivar los factores de caracterización, la aplicabilidad de los factores depende de la precisión, validez y de las características del modelo utilizado. Los modelos reflejan el mecanismo ambiental de una categoría de impacto, existiendo una estrecha relación entre los resultados del ICV, indicadores y si es posible con la categoría final de impacto. Para cada categoría de impacto, existen elementos propuestos por la **ISO 14042 (UNEP, 1999)**:

- Identificación de las categorías.
- Definición del indicador para cada categoría de impacto dada.
- Identificación adecuada de los resultados del ICV que pueden ser asignados a las categorías de impacto, tomando en cuenta el indicador elegido y la categoría de impacto identificada.
- Identificación de modelo y los factores de caracterización.

Este procedimiento facilita un análisis de inventario adecuado y la identificación de la validez científica y técnica, consideraciones, valores elegidos y el grado de precisión del modelo. Los indicadores resultantes pueden variar en precisión entre las categorías de impacto debido a las diferencias entre el modelo y el mecanismo ambiental correspondiente. La simplificación de consideraciones y el conocimiento científico disponible, influye en la precisión de los indicadores.

La elección de las categorías de impacto se basa en las recomendaciones para la mejor práctica disponible en el primer reporte del segundo grupo de trabajo de la SETAC respecto a EICV (**Udo de Haes, 1999**). Por su carácter complejo y específico, los

diferentes modelos de asignación se trabajan con software especializados. Es por esto que para la mayoría de los practicantes del ACV este paso de la asignación es como una caja negra.

1.2.2.6 Interpretación del ciclo de vida

La interpretación del ciclo de vida es la fase del ACV, en la cual se resumen los hallazgos del análisis del inventario y de la evaluación de impacto. La fase de interpretación brinda resultados que deben ser consistentes con la meta y el alcance, que permitan conclusiones, que expliquen las limitaciones y provean recomendaciones.

El **informe** es una parte integral de un ACV que incluye las diferentes fases del estudio en consideración.

La **revisión crítica** es un proceso para verificar si un ACV ha alcanzado los requisitos en metodología, datos, interpretación e información y la consistencia con los principios. Para el caso de estudios de ACV de productos sustitutos o nuevos productos, se utiliza la **comparación entre sistemas**, donde se analiza el impacto ambiental de un producto en relación a un producto de referencia (**Panichelli, 2006**).

1.3 Proceso de refinación de petróleo

Una refinería es un enorme complejo donde ese petróleo crudo se somete en primer lugar a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos que permiten extraerle buena parte de la gran variedad de componentes que contiene (**El petróleo y su mundo, 2001**).

1.3.1 Subdivisión de una refinería

Destilación atmosférica y al vacío: Es el primer proceso que aparece en una refinería. El petróleo que se recibe por ductos desde las instalaciones de las instalaciones de producción, se almacena en tanques cilíndricos de gran tamaño, de donde se bombea a las instalaciones del proceso. El petróleo se calienta en equipos especiales y pasa a

una columna de destilación que opera a presión atmosférica en la que, aprovechando la diferente volatilidad de los componentes, se logra una separación de diversas fracciones que incluyen gas de refinería, gas licuado de petróleo (GLP), nafta, queroseno (kerosene), gasóleo, y un residuo que corresponde a los compuestos mas pesados que no llegaron a evaporarse (**Morales, Kam y Madrid, 1992**)

En la segunda columna de destilación que opera a condiciones al vacío, se logra la vaporización adicional de un producto que se denomina gasóleo de vacío, y se utiliza como materia prima en otros procesos que forman parte de la refinería para lograr la conversión de este producto pesado en otros ligeros de mayor valor. (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Hidrotratamiento: En forma generalizada, en los combustibles de hoy día se reducen los compuestos de azufre, para evitar daños ambientales por lluvia ácida. Al proceso que se utiliza para este propósito y al cual se someten las diferentes fracciones que se obtienen en la destilación atmosférica y al vacío se le denomina hidrotratamiento o hidrosulfuración, por estar basado en el uso de hidrogeno que reacciona con los compuestos de azufre presentes en los hidrocarburos para formar ácido sulfhídrico; en un procesamiento posterior, este proceso se convierte en azufre elemental sólido que tiene una importante aplicación industrial. En el proceso ocurren reacciones adicionales que permiten complementar el tratamiento al eliminar también compuestos nitrogenados, convertir las olefinas en compuestos saturados y reducir el contenido de aromáticos. El hidrotratamiento requiere de altas presiones y temperaturas, y la conversión se realiza en un reactor químico con catalizador sólido constituido por g-alúmina impregnada con molibdeno, níquel y cobalto (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Reformación de nafta: Los cortes de nafta que se obtienen por destilación directa de cualquier tipo de petróleo presentan un número de octano muy bajo (45 a 55), y serían inaplicables para la gasolina que requieren los automóviles modernos (octanajes de 80 a 100). Es necesario entonces modificar la estructura química de los compuestos que integran las naftas, y para ello se utiliza el proceso de reformación en el que a

condiciones de presión moderada y alta temperatura, se promueven reacciones catalíticas conducentes a la generación de compuestos de mayor octano como son los aromáticos y las isoparafinas. Simultáneamente en las reacciones se produce hidrógeno, que se utiliza en la misma refinería en los procesos de hidrotratamiento. Las reacciones son promovidas por catalizadores basados en γ -alúmina como soporte de metales activos (platino-renio o platino-estaño) (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Isomerización: Es separar por destilación la corriente de nafta en dos cortes, ligero y pesado; el ligero que corresponde a moléculas de cinco y seis átomos de carbono se alimenta al proceso de isomerización, mientras que el pesado, con moléculas de siete a once átomos de carbono, es la carga al proceso de reformación antes descrito. Las reacciones de isomerización son promovidas por catalizador de platino soportado en γ -alúmina (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Desintegración catalítica fluida (FCC): El proceso FCC se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular; esta reacción se promueve por un catalizador sólido con base en zeolitas en presentación pulverizada, que se incorpora a los hidrocarburos de carga en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente. A la salida del reactor, el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones, y el coque que se genera y adhiere al mismo por las altas temperaturas de reacción, se quema en un equipo especial antes de recircularse al reactor; la energía liberada en el quemado sirve para dar parte del calentamiento de la corriente de carga (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Alquilación: El proceso de alquilación es una síntesis química por medio de la cual se unen olefinas ligeras (propileno y/o butenos producidos en el proceso FCC antes descrito) con isobutano (proveniente de la fracción de gas LP recuperada en la destilación atmosférica del petróleo y complementada con corrientes equivalentes del procesamiento del gas natural). Al resultado de la síntesis se le denomina alquilado o gasolina alquilada, producto constituido por componentes isoparafínicos cuyos puntos de ebullición se ubican dentro del intervalo de la gasolina.

La alquilación es un proceso catalítico que requiere de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, y se utilizan para este propósito ya sea ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Polimerización: En este proceso son aprovechados los polipropilenos que se producen en la desintegración catalítica haciéndolos reaccionar entre si y en presencia de un catalizador con base en el ácido fosfórico o de sílice. En este proceso se producen la gasolina de polimerización de alto octano y gas licuado del petróleo o LP (**Torres y Castro, 2002**).

Coquización: Los residuos de la destilación al vacío son desintegrados térmicamente para convertirlos en combustibles ligeros y en coque. Los productos en este proceso son: gas combustible, nafta, gasóleos ligeros y pesados y coque (**Torres y Castro, 2002**).

Endulzamiento y recuperación de azufre: La eliminación del ácido sulfhídrico (H_2S) que acompaña al gas que se separa en la destilación atmosférica, y que está sobre todo presente en el gas resultante de los procesos de hidrotratamiento, es indispensable para evitar emisiones de azufre durante el quemado de dicho producto como combustible de la propia refinería.

La separación del H_2S de los gases se realiza en un proceso que se denomina de endulzamiento, basado en la absorción en soluciones acuosas de aminas; la solución rica en sulfhídrico se regenera por agotamiento con vapor para recircularse a la absorción, y el H_2S separado se procesa en unidades donde primeramente se realiza una combustión parcial del mismo para generar una proporción adecuada de H_2S y SO_2 , que enseguida se hacen reaccionar catalíticamente para generar azufre elemental (**Morales, Kam y Madrid, 1992**).

Mezclado de gasolina: En esta unidad se reciben todos los componentes para el mezclado de gasolinas, estas provenientes de diferentes unidades. Una vez formada una mezcla se le agregan aditivos que son compuestos oxigenados; éter metil ter-

butílico (MTBE) o éter metil ter-amílico (TAME)) que sirven como antidetonantes y que dan los grados de octanaje necesarios en las gasolinas con antidetonantes de alto y bajo octano. Cuando no se les agrega ningún compuesto oxigenado se obtienen las gasolinas de alto y bajo octano y gasolina de aviación (**Torres y Castro, 2002**).

Unidad de servicios auxiliares: En esta unidad se da un soporte técnico a los otros once procesos suministrándoles vapor de agua de alta, media y baja presión, electricidad, aire comprimido y agua de enfriamiento. En algunas refinerías se utiliza parte del vapor para producir electricidad y otras la electricidad se compra y se utiliza totalmente el vapor generado en una caldera para los procesos. El calor necesario para la producción del vapor proviene del quemado de combustibles y derivados del petróleo de bajo valor comercial provenientes de los diferentes procesos (**Torres y Castro, 2002**).

1.3.2 Principales aspectos ambientales en la refinación de petróleo

En las refinerías de petróleo son emitidos diversos residuos. Los volúmenes de crudo procesado son altos, que acarrea tasas de emisión de polución que exigen un control adecuado del proceso. Cuanto mayor fuera la cantidad de datos disponibles para el estudio y la simulación, mayores son las posibilidades de reducir los niveles actuales de emisión contaminantes.

Los procesos de refinación de petróleo existentes en una refinería varían conforme a su localización. Algunos factores que justifican esa variación son: demanda de mercado consumidor local o externo, vías de distribución, características del petróleo que abástese la refinería, costo de implantación del proceso, entre otros.

Los contaminantes emitidos de los procesos; sea por vía aérea, vía fluyente o mediante residuos sólidos, son muchos y presentan una amplia línea de variación en función de características puntuales del proceso. Las emisiones atmosféricas provenientes de las refinerías incluyen emisiones fugitivas de los compuestos volátiles presentes en el petróleo crudo y en sus fracciones, las emisiones generadas por la quema de

combustibles en las calderas entre otros. Los efluentes líquidos consisten en aguas de enfriamiento y aguas del proceso, los residuos sólidos típicamente generados en la industria de refinación de petróleo incluyen la lama de los separadores de agua y petróleo, los sedimentos del fondo de los tanques de almacenamiento de crudo y derivados, borras aceitosas, lamas biológicas, lamas de la limpieza de los intercambiadores de calor y de las torres de enfriamiento, contando con los sólidos emulsionados en el petróleo. Los residuos generados durante las operaciones de refino varían mucho en cuanto a su composición y toxicidad. Sus características dependen del proceso productivo que los genera, así como del tipo de petróleo y de los derivados producidos (**Kindinger y Ugaya, 2002**).

Considérese como ejemplo especialmente evidente la alteración del entorno producida por las explotaciones petrolíferas en la selva amazónica. En esta fase la gravedad del impacto depende de la tecnología empleada, la sensibilidad ambiental del emplazamiento, la duración de la explotación, etc. Además del impacto por el establecimiento de infraestructuras y comunicaciones, durante la operación se producen escapes, emisiones de gases contaminantes procedentes de combustiones en llama (especialmente CO₂ y otros gases de efectos invernadero e hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles (COV)), generación de residuos industriales, etc. Una vez extraído el crudo generalmente se transporta a refinerías próximas a los centros de consumo, aunque existen instalaciones más antiguas que procesan el crudo en el punto de extracción.

Durante la *fase de transporte* son notorios y de triste actualidad los riesgos y posibles impactos en los que se incurre mediante el transporte de crudo por vía marítima. La otra opción es su transporte mediante oleoductos, cuya construcción, explotación y los consumos necesarios de los equipos de bombeo, escapes y otros eventos asociados provocan un impacto que ha de ser considerado en su ACV. Posteriormente durante la *fase de refinado y transformación* del crudo se incurre en emisión de contaminantes, especialmente en los procesos de destilación atmosférica y/o de vacío, en los que se

emiten COV, y otros subproductos propios de las distintas etapas del proceso de refinado, como el agua de residuo empleada en procesos de lavado (**Ruiz, 2003**).

Los impactos producidos por estos procesos es necesario imputarlos con criterio (según la literatura. Finalmente, dentro de los impactos aguas arriba, durante el transporte rodado a los centros de consumo se pueden producir derrames o evaporaciones normales de los productos, vertidos y fugas de depósitos que redundan en la emisión de contaminantes gaseosos o líquidos que pudieran acabar por incorporarse a corrientes de aguas subterráneas. Tras la combustión de gasolinas y gasoil, los impactos aguas abajo que se producen son principalmente la emisión de gases y partículas contaminantes. Al margen de sus impactos sobre la salud humana, estas mismas emisiones finales y algunas de las debidas e inducidas por el proceso de producción causan sobre el medio ambiente los siguientes efectos:

- Acumulación de gases de efecto invernadero. Los gases emitidos son principalmente CO₂, (el más importante de todos, se considera que su contribución al calentamiento está en torno al 80%) N₂O, CH₄, y en menor medida algunos COV, CO y NO_x que son precursores de gases de efecto invernadero al provocar reacciones químicas en la atmósfera que redundan en estos gases de efecto invernadero. Su importancia puede traducirse directamente en económica toda vez que se considere la aplicación de sanciones por incumplimiento de los compromisos de Kioto sobre reducción o contención de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Pérdida de visibilidad y calidad paisajística por nieblas, y partículas suspendidas en la atmósfera.
- Deterioro de patrimonio histórico por efecto de lluvias acidificadas ante la presencia de gases de nitrógeno y azufre, que corroen las estructuras y fachadas, que adicionalmente se ven ennegrecidas por el depósito de partículas.
- Disminución de rendimientos de cosechas y alteración del crecimiento vegetal, tanto por causa de obstrucción de la función fotosintética por la presencia de partículas en

suspensión, como por ataque de tejidos vegetales por la lluvia ácida o pérdida de calidad de los terrenos o corrientes acuáticas subterráneas.

- Deterioro de la capa de ozono por emisión de óxidos de nitrógeno y algunos hidrocarburos que combinados con derivados del cloro y bromo tienen un alto poder de alteración del equilibrio oxígeno - ozono en la capa estratosférica.
- Impactos sobre la fauna en cierta forma, análogas a los producidos sobre la población **(Ruiz, 2003)**.

1.3.3 Análisis de ciclo de vida (ACV) en la refinación de petróleo.

El sector petrolífero viene realizando diversas acciones para reducir los impactos ambientales, como por ejemplo la implantación del Sistema de Gestión Ambiental (SGA). El SGA requiere la identificación de los aspectos ambientales significativos, pero no provee un método específico para realizarlo. Algunos autores recomiendan el uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) por ser un método científico, riguroso y fácil de ser reproducido.

En Brasil el estudio del ACV se realiza por un programa computacional basado en lenguaje Delphi denominado refACV (análisis de ciclo de vida de proceso de refinación) dando como resultados en impacto ambientales como agotamiento de energía de 4650,990264 MJ, agotamiento de la materia prima 6,5418 E-13 kg/petróleo, reducción de ozono de 24 kg de CFC-11equivalente entre otros. Este análisis fue desarrollado para una refinería de Brasil en el año 2004 tomando el ACV como herramienta específica para las refinerías de petróleo en la búsqueda de la excelencia ambiental.

Dentro de las ramas de actividades industriales existentes actualmente, el sector petrolífero es uno de los más vistos por la sociedad y grupos ambientalistas. La ocurrencia de varios accidentes graves en tiempos pasados ayuda a entender el origen de este riguroso control. Problemas con grandes barcos petroleros, que pueden derramar millones de metros cúbicos de aceite en el mar; daños en la fauna y flora

próximas a refinerías son algunos ejemplos de hechos mostrados por imagen de la industria petrolífera. Algunos accidentes tienen origen en problemas puntuales, como corrosión, falta de mantenimiento, falta de material, así como otros impactos son generados de modo continuo, en función a las características del proceso de refinación. La solución para amenizar esos efectos maléficos, producidos continuamente, es tratar la polución y los residuos.

De esta forma, **(Zobel, 2001)** proponen el uso del método de ACV como forma de determinar los problemas significativos por tratarse de un método con rigor científico y posible de ser repetido.

Algunas posibles conveniencias del método contextualizando en el día a día en una refinería de petróleo serían:

1. Planear estrategias ambientales de desenvolvimiento
2. Dar soporte en decisiones para definir procedimientos de compra
3. Dar soporte en decisiones de ámbito político
4. Facilitar el montaje de una historia de niveles de emisión

Con lo anterior se buscaría auxiliar el control y gerenciamiento de los problemas ambientales generados durante las etapas de la refinación de petróleo, sirviendo de soporte a los departamentos de gestión ambiental de las refinerías **(Lie & Henschel, 2004)**.

En México se realizó el estudio de impactos ambientales de petrolíferos con enfoque en el ACV para la refinería Miguel Hidalgo, tomando en cuenta la evolución de las políticas ambientales, se dividió en dos enfoques: en los años 70 y 80 fue de **enfoque a la producción** en el cual se realizan dos aspectos el primero de *comando y control* que comprende de permisos, normas entre otros, y segundo de *instrumentos de mercado* que comprende reforma regulatoria, multi-media, prevención, impuestos y cargos, permisos comerciales y políticas de precios. Para los años 90 al 2000 se convierte en **enfoque a la producción y el consumo** tomándose en cuenta primero

enfoques híbridos que comprende del desarrollo sustentable, acuerdos voluntarios, autoregulación, educación e información y cooperación y segundo *cooperación y revelación de información* que tiene como aspectos administración hacia la demanda, responsabilidad social, participación social, alianzas empresariales e información a mercados, todo lo anterior se compara con la eficiencia y abre paso a la realización del ACV desde el pozo hasta la industria, tomando aplicaciones principales el desempeño ambiental económico, comparándolo entre productos procesos y tecnologías, ecodiseño, prevención de la contaminación y diseño de políticas ambientales. Para realizar el ACV el sistema en general lo dividieron en tres etapas, que son del pozo a la refinería (que es dividido para facilitar el estudio en cinco subsistemas), de la refinería al tanque (que se divide en tres subsistemas) y del tanque a la rueda (o industria), como resultado del ACV se llegó a la conclusión que su aplicación para el desarrollo del inventario de ciclo de vida para la refinería de tula condujo a la obtención de índices de emisiones en masa/BPCE a lo largo de todo el ciclo de extracción, producción y consumo de petrolíferos. Las Área de influencia de los productos de la refinería de Tula: combustóleo, diesel, turbosina, gasolinas y asfalto. Los Contaminantes incluidos fueron monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas menores a 10 micras (PM₁₀), gases de invernadero como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), obteniéndose así emisiones al aire en g/BPCE presentados por la refinería Miguel Hidalgo de CO₂: 39,334.53; CO:36.95, NO_x:72.40, SO₄:1,156.62, CH₄:1.78, PM₁₀: 33.34. En el ciclo de vida de petrolíferos, la contribución mas importante en masa para a las emisiones a la atmósfera de contaminantes criterio es debida al dióxido de azufre, seguida de las partículas. Las emisiones de CO, CO₂ Y NO_x son producidas principalmente por el usuario final del combustible. Las emisiones de metano más significativas ocurren entre el pozo y la refinería **(Sosa G., Magdaleno M., Melgarejo E., Gasca R., Vega R., Sánchez G & Rivero R.; 2008)**.

En países como el Reino Unido se ha aplicado el ACV para una refinería, realizado para la compañía Shell International Gas Limited, del cual se analizaron distintas categorías, comparando la eficiencia para cambiar el fuel-oíl por el gas natural e

implantar el tratamiento de hidrosulfuración, en la categoría de daños reporta una disminución de gases como el SO₂ de los combustibles, con una eficiencia del 70%. En la categoría de oxidantes fotoquímicos reportan un 33% más bajo en emisiones de VCOs, que es considerado significativo (*Shell International gas limited, 2003*).

En la literatura consultada no se reporta el uso de ACV en Colombia para realizar estudios ambientales en la refinación de petróleo, solo para los productos como ya en el mercado como aceites lubricantes para motores de dos tiempos a gasolina, lo cual motivo el desarrollo de este estudio.

CONCLUSIONES PARCIALES:

1. De acuerdo al estudio de la bibliografía se pudo constatar que de las herramientas de gestión ambiental que existe para conocer y demostrar el desempeño ambiental de una industria, el Análisis de Ciclo de Vida es el único que cuenta con Normas ISO y posibilita la cuantificación de los impactos ambientales asociados a diferentes categorías.
2. En la aplicación del ACV a la refinación de petróleo se debe tener en cuenta los aspectos relacionados con: el establecimiento de los límites del sistema, la unidad funcional, la asignación de cargas ambientales al proceso y los problemas en el revelamiento de datos.
3. La metodología del Análisis de Ciclo de Vida se ha utilizado en la industria de refinación de petróleo aplicada a sus productos finales, pero pocos países la realizan en el proceso productivo. En Latinoamérica solo reportan casos México y Brasil.
4. El uso de la metodología en la industria petrolera Colombiana es aun incipiente, aunque se reportan datos de estudios de Análisis de Ciclo de Vida en algunos productos derivados del petróleo como la gasolina hasta el momento no se reportan estudios de ACV en este proceso productivo.



Libertad y Orden

CAPITULO II:
**Análisis del
inventario de ciclo
de vida y análisis
económico de la
inversión**

Capítulo II: Análisis del inventario de ciclo de vida (AICV) y análisis económico de la inversión.

2.1 Introducción

Para evaluar el impacto ambiental se utiliza la herramienta de gestión ambiental del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), para ello se definen cada una de las fases de metodología presentándose en este capítulo el objetivo y el alcance del estudio y el análisis inventario del ciclo de vida. El estudio se realizará sobre la base de los requisitos establecidos en la norma ISO 14040:2006

2.2 Aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida

2.2.1 Definición de Objetivo y alcance

2.2.1.1 Objetivo

El objetivo de este estudio es determinar las cargas ambientales asociadas con un proceso de refinación de petróleo en Colombia, con capacidad 440m³/h mediante el uso del ACV en la etapa de diseño del proceso.

2.2.1.2 Alcance del estudio

Unidad funcional

La unidad funcional que se consideró fue la producción anual de una refinería de petróleo con capacidad para procesar 440 m³/h considerando un surtido de productos de destilación.

Descripción del sistema producto que se estudiará

El diagrama de bloques del proceso productivo se encuentra en la **(figura 3 y 3A)**

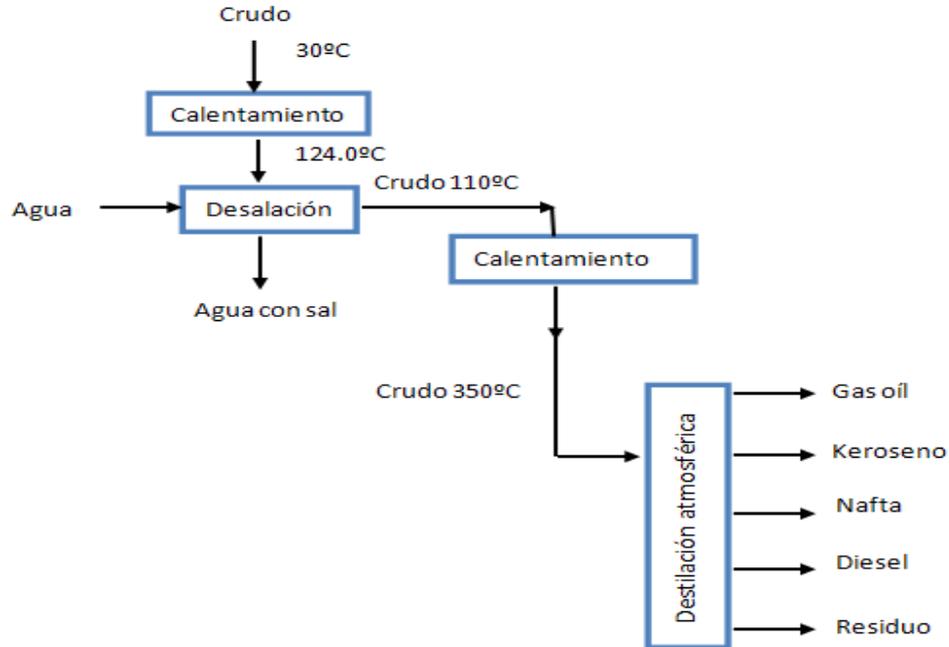


Figura 3A. Diagrama de bloques de la unidad de destilación atmosférica

Diagrama de flujo del proceso: Anexo 4 y 4A

A continuación se describe el proceso analizado:

Destilación atmosférica o fraccionada:

La sección esta destinada para el procesamiento del petróleo no estable (crudo). Como resultado del proceso tecnológico se obtienen fracciones, algunas de las cuales después de mezclarlas son un inyecta para otras secciones de la planta combinada o los componentes al mezclar los productos terminados.

Bombas

Normalmente las bombas se localizan tan cerca como sea posible y a nivel de piso de los recipientes de los que succionan. Generalmente la elevación será gobernada por el tipo de bomba seleccionada, y en relación del servicio y líquido bombeado. En la

medida en que sea posible deberá evitarse que las bombas estén localizadas bajo el nivel de piso, ya que esto involucra trabajo civil costoso (por estructuras de soporte involucradas) y problemas de drenaje.

Las bombas localizadas en puntos elevados generalmente causarán problemas de vibración en el diseño de estructuras.

En general el equipo mecánico deberá ser colocado de tal forma que su mantenimiento y operación no sea interferido por problemas de acceso (**Anaya, 1998**).

Cambiadores de calor

Los intercambiadores pueden apilarse, pero nunca deberán ser más de tres si se soportan mutuamente. Los intercambiadores conectados en serie o en paralelo pueden estar situados uno encima del otro hasta alturas de aproximadamente 4 m.

Los intercambiadores en batería a nivel de terreno suelen estar espaciados 0,9 m entre ellos.

La posición de un intercambiador de calor en plantas químicas y petroquímicas normalmente depende de la localización de las columnas de destilación. En la colocación de intercambiadores de calor, de deben tomar en consideración los siguientes puntos:

- Los intercambiadores deberán estar inmediatos adyacentes a otros equipos como los rehervidores y deberán estar localizados cerca de sus respectivas torres; los condensadores deberán estar cerca de sus tanques de reflujo, y a la vez, cercanos a las torres.

- Los intercambiadores deberán estar cercanos a otros equipos de proceso, por ejemplo, los intercambiadores en circuitos cerrados con bombas (circuitos de reflujo) en el caso de una salida de flujo a través de un intercambiador desde el fondo de un recipiente, con objeto de tener las líneas de succión a las bombas, de menor longitud.
- Los intercambiadores, enfriadores de producto, por ejemplo, deberán ser colocados entre el equipo de proceso y el límite de batería de la unidad, con objeto de minimizar el recorrido de tuberías a altas temperaturas. Un paso más en la distribución es la localización de aquellos intercambiadores que pueden ser apilables con objeto de simplificar arreglos de tubería y ahorro de espacio.

Las especificaciones de diseño, normalmente limitan la altura máxima de intercambiadores, que es de 1,5 m a la parte alta de la coraza, de forma que el equipo móvil pueda manejar convenientemente el haz de tubos en caso de ser necesaria su extracción (**Anaya, 1998**).

Desalador

El nombre lo dice, un desalador es un recipiente que quita la sal del petróleo crudo. La sal existe solamente en la fase acuosa, hay dos maneras de quitar la sal. La primera es quitar toda el agua, y la segunda es diluir el agua. Un desalador maneja ambas, utiliza una carga electrostática para hacer que la mayoría del agua salga, y el agua nueva se inyecta dentro del petróleo bruto para diluir la concentración de la sal.

Cuando el petróleo crudo se trae a la superficie por cualquier medio, frecuentemente contiene gas asociado y otros contaminantes indeseables. Estos contaminantes incluyen el agua producida (salmuera) y partículas sólidas insolubles tales como arena, sedimentos y por supuesto sales disueltas dentro del agua.

Antes de que cualquier planta de la refinación acepte este petróleo crudo para procesar, el gas, el agua producida (que contiene la sal) y otros sólidos insolubles deben ser removidos. El término “sedimento y agua”, se utiliza para definir este tipo de nivel del contaminante del petróleo crudo, generalmente en por ciento volumétrico (**Anaya, 1998**).

Hornos y equipos con fuego

La primera consideración en la distribución de equipo con fuego es la seguridad, y deberá realizarse un estudio completo de los códigos y estándares locales. La regla general es que el equipo con fuego deberá ser localizado por lo menos 15 m alejado de equipo de proceso peligroso o de equipo que pudiera ser una fuente de salpicado o fuga de gases.

Los equipos de proceso (tales como reactores, fraccionadoras y columnas de destilación) que se encuentren conectados a la salida de los hornos, se deberán localizar tan cerca como sea posible, de manera que las líneas de transferencia sean lo más cortas y sencillas posible; además es conveniente considerar una política de chimeneas comunes, tomando en cuenta, por seguridad, las distancias mínimas hacia otros equipos recomendados.

La distancia desde el horno a los equipos de proceso más cercano son: 6 a 10 m para hornos circulares; de 12 a 18 m para hornos tipo caja. Los *rack* de tuberías podrán ser localizados dentro de estas distancias de seguridad. Se deberá proveer un espacio libre entre horno y horno; estos espacios deberán ser dos veces su ancho (de centro a centro).

Deberán ser arreglados en una línea común con base en las chimeneas, siempre que sea posible, y las chimeneas deberán ser localizadas en el lado o en el extremo más alejado de la unidad (**Anaya, 1998**).

Torres, consideraciones de elevación

La relación de altura de la columna varía de 0,9 a 1,5 m para torres con diámetros de 0,6 a 5 m y temperatura de fondos de 100 a 400°F. A temperaturas mayores se puede incrementar esta altura de 0,3 a 0,6 m, para evitar la transmisión de altas temperaturas a la cimentación de concreto o estructura (**Anaya, 1998**).

Rack de tuberías

La distribución en planta determina el recorrido de tuberías y los arreglos típicos de *rack* de tuberías se ajustan para diferentes distribuciones de planta. Las plantas no muy grandes normalmente tienen un tipo de soportaría más sencilla. En plantas grandes, el *rack* de tuberías será más complicado cuando las materias primas, servicios auxiliares o productos terminados, entran o salen del límite de batería en los diferentes lados, por lo que deberá ser de tipo T.

La elevación se determina por los requerimientos más críticos de acuerdo a lo siguiente:

- Altura mínima necesaria para cruce de camino.
- Altura mínima necesaria sobre accesos a equipo localizado bajo el *rack*.
- Altura para interconexión de líneas que estén localizadas en el lecho de tuberías a equipo localizado a los lados del *rack*. La altura del *rack* no deberá ser mayor de lo necesario para minimizar la longitud de tuberías verticales.

La longitud del *rack* de tuberías es gobernada por el número y dimensiones del equipo, estructuras y edificios localizados a ambos lados del *rack*. Se requiere como promedio, alrededor de 3 m de longitud de *rack* por cada pieza de equipo (intercambiadores, tanques, torres compresores, etc.) para plantas petroquímicas.

Los soportes de tubería deben ser dimensionados para permitir expansiones futuras de la planta y deben ir en paralelo al sistema de caminos para conservar despejadas las

áreas de proceso. Si la soportaría atraviesa un área que más tarde tendrá cabida para servicios de proceso, se restringirá severamente el espacio disponible para el equipo de proceso.

El número de líneas a ser localizadas en el lecho puede ser estimado por el trazo de las líneas en una impresión del “plot-plan” con la ayuda de diagramas de flujo. Por el estimado del número de líneas en la sección más densa del *rack*, se puede obtener el ancho total de *rack* (**Anaya, 1998**).

Definición de las condiciones de frontera

Limites del sistema producto

En el alcance del estudio se consideran los principales productos que se elaboraran anualmente en una refinería de Colombia. Para la aplicación del ACV se utilizó la distribución de cargas ambientales de acuerdo a masa, debido a que no es posible en el proceso separar los consumos y emisiones de acuerdo a los productos elaborados.

La asignación de las cargas ambientales se realiza de acuerdo a Masa según lo establecido en el requisito del procedimientos de asignación de la Norma ISO 14041:2000.

Se consideran dentro de los límites del sistema las operaciones unitarias que se realizan en la planta, los procesos de tratamiento y los procesos de transporte del combustible.

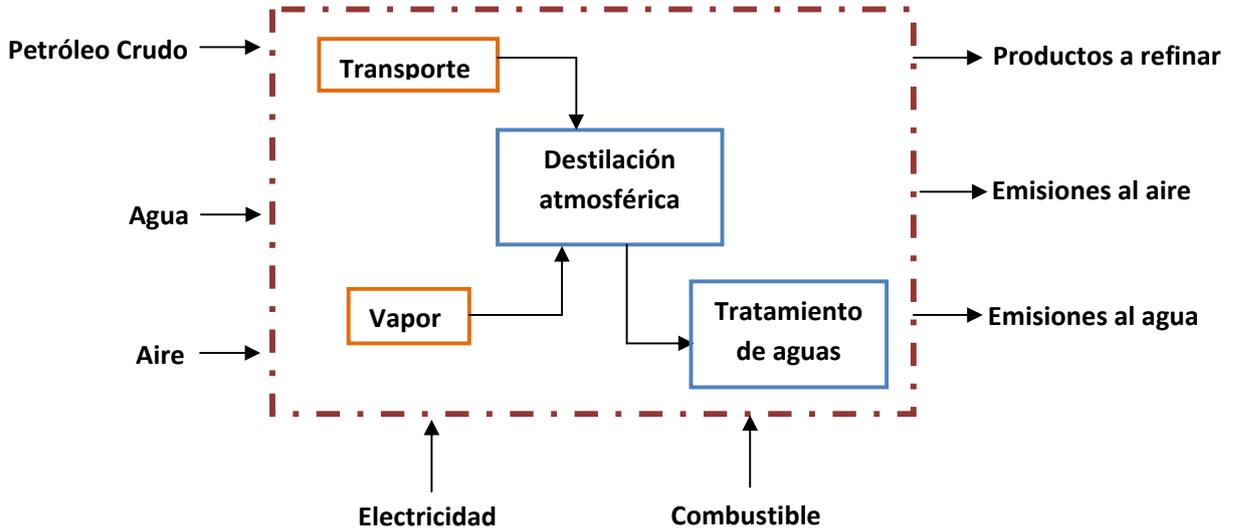


Figura 4. Límites del sistema

Tipos de impacto y la metodología de evaluación del impacto y la interpretación subsecuente que se usará.

Para el análisis del ACV se utilizará el programa Sima Pro 7.1 de Pre Consultant empleando el método del Eco-indicador 99 que tiene en cuenta 11 categorías de impacto y tres categorías de daños, para de esta forma demostrar cuales son los productos y operaciones de mayor influencia en el impacto del proceso.

2.2.2 Inventario de Ciclo de Vida

El análisis del inventario implica la recolección de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema producto. Estas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y descargas al aire, al agua y al suelo asociados con el sistema.

Para obtener los datos de inventario fue necesario realizar la simulación del proceso, utilizando como herramienta de simulación el software Hysys 3.2 con el mismo se

determinaron los balances de materiales y de energía procedentes de la sección de destilación primaria.

2.2.2.1 Balance de los flujos de materiales y energía fundamentales

En las tablas 2.1, 2.2, se ofrece un resumen de la materia prima y los productos que se producen en m³/h o en Kg/h de producción, así como el calor requerido en la bomba, el horno y torre de destilación en kJ/h y su respectiva potencia en kW lo cual sirvió para realizar la distribución de cargas ambientales al proceso. Los resultados totales correspondientes a la simulación se encuentran en los [Anexos 5, 6 y 7](#).

Tabla 2.1 Resultados de los balances de masa de acuerdo a la simulación

	Temp.	Presión	Flujo Volum.	Flujo Más.	
Unidades	°C	kPa	m ³ /h	Kg/h	Tn/año
Crudo	124	341,5	440	3.44E+05	3.00E+09
Crudo1	123.9	517.1	440	3.44E+05	3.00E+09
Crudo a la torre	350	448.2	440	3.44E+05	3.00E+09
Vapor Diesel	148.9	344.7	1.364	1361	1.19E+07
Vapor de Fondo	190.6	1034	3.409	3402	2.97E+07
Vapor Gas-oíl	148.9	344.7	1.136	1134	9.90E+06
Keroseno	400	205.8	8.613	6461	5.64E+07
Gas de salida	88.55	135.8	2.695*10 ⁻⁸	1,80E-05	1.57E-01
Nafta	88.55	135.8	153.4	1,29E+05	1.13E+09
Residuo	544.5	225.5	153.4	1,29E+05	1.13E+09
H ₂ O residual	88.55	135.8	5.635	5623	4.91E+07
Diesel	409.9	213.6	112.6	8,73E+04	7.62E+08
Gas-oíl	506.0	218.6	33.12	2,70E+04	2.36E+08

Desalación

	Unidad	Entra	Sale
Crudo para desalar	Tn/año	3.00E+09	
Crudo desalado	Tn/año		3.57E+05
Agua para desalar	Tn/año	8.66E+08	
Agua con sal	Tn/año		7.50E+08

Tabla 2.2 Resultados de balances de energía

	Flujo de Calor	Potencia
Unidades	kJ/h	kW
Qbomba	$1.163 \cdot 10^5$	32.31
Qhorno	$2.698 \cdot 10^8$	74 944.50
CondDuty	$1.410 \cdot 10^8$	
TrimDuty	$3.126 \cdot 10^8$	

2.2.2.2 Manejo de agua

El suministro de agua es diario y se recibirá a través de la empresa de acueducto y alcantarillado del municipio. La fuente de abasto es el río Sumapaz.

De acuerdo a esta situación el agua tiene varias utilidades, en la tabla 2.3 se ofrece el consumo de agua para cada utilidad.

Tabla 2.3 Requerimientos de agua para el proceso

	Kg/h	tn/año	m ³ /h	m ³ /año
Agua para generación de vapor	159600	1.39E+09	159.9	1 266 408
Agua para condensar	2 126 000.88	1.86E+10	2183	17 289 360
Agua para desalar	99 169.87	8.66E+08	99.37	787 010.4
Total de agua para la producción	2 384 770.76	2.08E+10	2442.27	19 342 778.4

2.2.2.3 Manejo de la energía

La energía consumida en la planta será suministrada por la empresa eléctrica del municipio.

El área dispone de un horno y tres calentadores, el horno cuenta con una capacidad de 3,00e9 Toneladas por año de crudo, con una eficiencia del 75%. El consumo de combustible en el horno de acuerdo al índice promedio total anual de 25079576,72 toneladas de Fuel-oíl. Existe una bomba centrífuga de crudo con capacidad de 440 m³/h, el consumo de electricidad entre el horno y la bomba se ha estimado es de 74976,81 kW.

Tabla 2.4: Cantidad de vapor total

	Kg/h	Tn/año
Vapor Diesel	1360.79107	
Vapor Gasoil	1133.99256	
Vapor de fondo	3401.97768	
Vapor Saturado	153 725. 963	
Vapor total	159 622.725	3.16E+12

2.2.2.4 Determinación de las emisiones de aire

Para obtener las emisiones de gases contaminantes se utilizaron los datos registrados sobre las concentraciones de NO_x, CO, SO₂, CH₄, CO₂, PM₁₀, N₂O, HCNM y HCT archivadas en el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Normalmente, los gases salientes en el proceso de refinación son ricos en H₂S a continuación se plantea un posible tratamiento para los mismos.

Planta de Recuperación de Azufre

En esta Planta se convierte el sulfuro de hidrógeno de los gases ácidos en azufre elemental mediante reacciones térmicas y catalíticas. El proceso que se sigue en la

Planta de Recuperación de Azufre es el descubierto por Clausius hace más de un siglo. Consiste en la combustión parcial de la corriente de gas rica en H₂S, y posterior reacción del dióxido de azufre resultante junto con el H₂S inquemado en presencia de un catalizador de alúmina activada para producir azufre elemental, que se recoge líquido en un depósito.

Posteriormente se enfría para su solidificación, se muele y se almacena para la venta.

Las Plantas de Recuperación de Azufre no son equipos de combustión, sino reactores químicos con el propósito de controlar las afecciones ambientales del proceso de refino. Interesa que el rendimiento de eliminación del H₂S de su alimentación, altamente concentrada, sea elevado, tal y como la normativa exige (**Refinería Balboa, 2008**).

Tabla 2.5: Concentración de Contaminantes en emisiones de aire de una refinería

Gases	T/mes	T/año
CO ₂	9563	114756
CO	1.837	22.044
NO _x	40.13	481.56
SO ₂	53.95	647.4
CH ₄	0.3673	4.4076
PM ₁₀	4.221	50.652
N ₂ O	0.1947	2.3364
HCNM	0.1029	1.2348
HCT	0.4702	5.6424

2.2.2.5 Residuales líquidos

Normalmente, las aguas residuales contienen hidrocarburos, materiales disueltos, sólidos en suspensión, fenoles, amónicos, sulfuros y otros compuestos. Dichas aguas proceden de: el vapor condensado, el agua de separación, la descarga procedente de

la purga de torres de refrigeración y calderas, el agua de lavado, las aguas procedentes del proceso de desalación del crudo, el agua de neutralización de residuos ácidos y alcalinos, y otras aguas relacionadas con los procesos.

El proceso de tratamiento de las aguas residuales consta de cuatro etapas principales:

1. Tratamiento primario. Separa los hidrocarburos y sólidos en suspensión
2. Tratamiento secundario: Elimina los hidrocarburos emulsionados y sólidos suspendidos de tamaño muy pequeño.
3. Tratamiento terciario: Elimina hidrocarburos disueltos, oxida el posible H_2S residual y en caso necesario, realiza la nitrificación/desnitrificación.
4. Tratamiento cuaternario: Esta fase de tratamiento se aplica a las aguas a reutilizar en los procesos.

A continuación se presentan detalladamente las cuatro etapas:

1. Tratamiento primario

Se ha estimado que en una cantidad entre el 0.5% y 4% del crudo procesado podría salir en el agua residual antes de recibir cualquier tratamiento. Por este motivo, el efluente generado tiene que pasar primero por un separador de agua/aceite (CPI, PPI o API), para la eliminación de sólidos y aceite libre, y un tanque de homogenización.

En este punto habitualmente se emiten ciertas cantidades de COV's. Los mecanismos para reducir dicha emisión desde los tanques de decantación para por aislar la superficie de la atmósfera mediante el empleo de cubiertas (fijas o móviles), la reducción del tiempo de permanencia en la superficie de los hidrocarburos separados (utilización de discos oleofílicos u otros sistemas automáticos de recogida), o la instalación de sellos de agua en alcantarillado y drenaje y cubiertas apruebas de gas en las cajas de unión del sistema.

2. Tratamientos secundarios

La etapa que sigue a la decantación primaria es la retirada, mediante flotación con aire, del aceite emulsionado y sólidos finamente dispersados. Para ello, con la ayuda de polielectrolitos, se forman flóculos. El lodo así formado es elevado a la superficie debido a que pequeñas burbujas de aire son también atrapadas por los flóculos de lodo. La fase aceitosa es desnatada y el agua enviada a biotratamiento.

3. Tratamiento terciario

Después de que el aceite es desnatado en el proceso de flotación, el agua se dirige a un biotratamiento. Las tecnologías usualmente empleadas son el tratamiento con lodos activos o filtro percolador. Las bacterias consumen casi todos los hidrocarburos y otras materias orgánicas disueltas. En caso de requerir eliminación profunda de nitrógeno, se realizará también una nitrificación-desnitrificación durante el biotratamiento. Las bacterias aeróbicas son capaces de convertir el nitrato en nitrógeno atmosférico que escapa como burbujas.

4. Tratamiento cuaternario

No suele llevarse a cabo a menos que la calidad requerida para el agua a reutilizar sea excepcional (**Refinería Balboa, 2008**).

El caudal de entrada de aguas residuales es 5627 Litros/h. en la tabla 2.6 se reportan las concentraciones representativas de agentes contaminantes en efluentes de una refinería.

Tabla 2.6: Resultados promedio anual de agua residual después del tratamiento

	Unidad	Cantidad	Carga anual (Tn/año)
Grasas y aceites	mg/l	5.086	249.85
DQO	mg/l	4.526	222.34
SST	mg/l	254	12 477.65
Sulfatos	mg/l	333	16 358.49
Cloruros	mg/l	174	8547.68
Sulfuros	mg/l	47	2308.86
Fluoruros	mg/l	3,9	191.59
Fenoles	mg/l	1	49.12
Amoniaco	mg/l	11.1	545.28
SAAM	mg/l	14.5	712.31
Alcalinidad	mg/l	166	8154.68
Dureza	mg/l	431	21 172.70
pH		7.23	
Conductividad	μS/cm	2.182	

2.2.2.6 Análisis del proceso de transporte

Se realizó un análisis de la cantidad de rutas para el acopio del crudo, se contabilizó el tipo de vehículo utilizado y el combustible consumido por cada carro.

Se obtienen como resultados los siguientes:

Total de Km. recorridos por día utilizando Diesel: 400

Total de Km. recorridos por año utilizando Diesel: 132000

Consumo de diesel: 3.00 E10 T

2.2.3 Conformación del inventario

Para la conformación del Inventario es necesario expresar todas las entradas y salidas en función de la unidad funcional. Los resultados aparecen en la tabla 2.7 y 2.8

Tabla 2.7 Entradas

Productos entrada	Unidad	Cantidad	Tn/año	Fuente
Crudo	Kg/h	3.44E+05	3.00E+09	ECOPETROL
Agua	Kg/h	2 384 770.76	2.08E+10	Hysys 3.2
Aire	Kg/h	165 561.21	1.44E+09	D. Kern.
Vapor	Kg/h	159 622.72	3.16E+12	Hysys 3.2
Electricidad	KW/año	5.33E+08		Hysys 3.2
Transporte	T*Km		3.00E+10	
Terreno	Hectáreas	96		-

Tabla 2.8 Salidas

Producto final	Unidad	Cantidad	Tn/año	Observaciones
Keroseno	Kg/h	6461	5.64 E+07	1.68 % de asignación
Nafta	Kg/h	1.29E+05	1.126E+09	34.06% de asignación
Residuo	Kg/h	1.29E+05	1.126E+09	34.06% de asignación
Diesel	Kg/h	8.73E+04	7.62E+08	23.05% de asignación
GasOil	Kg/h	2.70E+04	2.35E+08	7.13% de asignación
Total salidas			3,30E+09	100
Emisiones de Agua				
Aceites	mg/l	5.086	249.85	ICP
DQO	mg/l	4.526	222.34	ICP
SST	mg/l	254	12477.65	ICP
Sulfatos	mg/l	333	16358.49	ICP
Cloruros	mg/l	174	8547.68	ICP
Sulfuros	mg/l	47	2308.86	ICP
Fluoruros	mg/l	3.9	191.59	ICP
Fenoles	mg/l	1	49.12	ICP
Amoniaco	mg/l	11.1	545.28	ICP
SAAM	mg/l	14.5	712.31	ICP

Emisiones al aire				
CO ₂	T/mes	9563	114756	PETROBRAS
CO	T/mes	1.837	22.044	PETROBRAS
NO _x	T/mes	40.13	481.56	PETROBRAS
SO ₂	T/mes	53.95	647.4	PETROBRAS
CH ₄	T/mes	0.3673	4.4076	PETROBRAS
PM ₁₀	T/mes	4.221	50.652	PETROBRAS
N ₂ O	T/mes	0.1947	2.3364	PETROBRAS
HCNM	T/mes	0.1029	1.2348	PETROBRAS
HCT	T/mes	0.4702	5.6424	PETROBRAS

Para la introducción de los datos en el programa Sima Pro planteo el proceso para cada producto de acuerdo a la asignación de cargas ambientales considerada, incluyendo todos los flujos comunes a los mismos.

2.3 Análisis económico de la sección de destilación atmosférica

Costo total de inversión

Costo de Inversión = Inversión fija + Inversión de trabajo

Inversión fija = costo directo + costos indirectos

Costos del equipamiento:

Costo actual = costo original * índice actual / índice original

Índice original 109.1 (Peter, 1967)

Índice Actual 525.4 (2008)

Costo de equipamiento

Equipo	Cantidad	Costo original \$USD	Costo actual \$USD
Bombas centrifugas	1	20000	96 315,30
Intercambiador de calor	3	76100	1 099 439,23
Desalador	1	45000	216 709,44
Horno	1	33700	162 291,29
Torre de fraccionamiento	1	12900	62 123,37
Total			1 636 878,63

Inversión fija

Instalación de equipos = 35% del costo del equipamiento = 478349,96 \$USD

Instrumentación y control = 6% del costo del equipamiento = 82002,85 \$USD

Tuberías = 66% del costo del equipamiento = 902031,36 \$ USD

Instalaciones eléctricas = 7% del costo del equipamiento = 95669,99

Costo de edificación = (10-70) % costo del equipamiento = 273342,83

Costo de servicio y movimiento de tierra = (40-90) % costo del equipamiento = 546685,67

Costo del terreno = (4-8) % costo del equipamiento = 54668,56

Requerimientos

Generación de vapor = 3% de inversión fija = 138347,91

Suministro de agua = 1% de la inversión fija = 46115,97

Almacenamiento de la materia prima = 2% de la inversión fija = 92231,94

Distribución de electricidad = 0,4% de la inversión fija = 18446,38

Almacenamiento de productos finales = 1% de la inversión fija = 46115,97

Costos indirectos

Supervisión y energía = (5 – 15) % costo de adquisición = 146238,41

Gastos de construcción = (7- 20) % costo de adquisición = 204733,78

Gastos de puesta en marcha = 10 % de la inversión fija = 461159,73

Costo total de inversión (CTI) = costo fijo de inversión (CFI) + costo de trabajo (CT)

Costo de trabajo (CT) = (10-20) % costo total de inversión

Costo fijo de inversión (CFI) = costo directos (CD) + costos indirectos (CID)

Costos directos (CD) = costos de adquisición + costo de edificación + costo de servicio y movimiento de terreno + costo de terreno

Costos de adquisición = costo de los equipos + costo de la instalación + costo de instrumentación + costo de tuberías + costo de instalaciones eléctricas = 2924768,35 \$USD

CD = 3799465,44\$USD

Costos indirectos (CID) = ingeniería y supervisión + gastos indirectos de construcción + gasto de puesta en marcha

CID = 350972, 19 + 0, 10 CFI

Costo fijo de inversión CFI = 4611597, 33 \$USD

CT = 813811, 29 \$USD

Costo total de inversión (CTI) = 5 425 408,62 \$USD

Costo total de producción

Costo total de producción (CTP) = costo de fabricación (CF) + Gastos generales (GG)

Costo de fabricación (CF) = costos directos (CD) + costos indirectos (CI) + cargos fijos (CFJ)

Costos directos (CD) = costo de materia prima (MP) + costo de mano de obra (MO) + supervisión (SP) + requerimientos (RQ) + mantenimiento y reparación (MM) + suministro (SM) + gastos laboratorio (LB)

Costo de mano de obra (MO) = (10 – 20) % costo total de producción

Supervisión (SP) = (10 – 25) % costo total de producción

Mantenimiento y reparación (MM) = 2% costo de los equipos

Gastos de laboratorio (LB) = (10 – 20) % costo de mano de obra

Costos indirectos (CID) = (5 – 15) % costo total de producción

Cargos fijos (CFJ) = depreciación (DP) + seguros (SG)

Depreciación (DP) = 10% costo total de inversión (CTI) + (2 – 3) % gastos indirectos de construcción

Seguros (SG) = 1% costo total de inversión

Gastos generales (GG) = administración (AD) + distribución y venta (DV) + investigación y desarrollo (ID) + intereses (IN)

Administración (AD) = (2 – 5) % costo total de producción / periodo de vida

Distribución y venta (DV) = (2 – 20) % costo total de producción

Investigación y desarrollo (ID) = (2 - 5) % costo total de producción

Intereses (IN) = (0 – 7) % costo total de producción

Resultados del costo total de producción

Resultados	Designación	Costo en \$USD/año
Costos de fabricación	CF	1 475 891,12
Costos directos	CD	656 606,32
Costo de mano de obra	MO = 10% CTP	218 395,19
Supervisión	SP = 20% MO	43 679,03
Requerimientos	RQ	341 258,17
Mantenimiento y reparación	MM = 2% costo equipos	27 334,28
Suministros	SM = 15%MM	4100,14
Gastos de laboratorio	LB = 10% MO	21 839,51
Costos indirectos	CI = 10%CTP	218 395,19
Cargos fijos	CFJ	600 889,61
Depreciación	DP= 10%CTI + 2% GIC	546 635,53
Seguros	SG = 1% CTI	54 254,08
Gastos generales	GG	708 060,8
Administración	AD = 5%CTP	109 197,59
Distribución y venta	DV = 10% CTP	218 395,19
Investigación y desarrollo	ID = 5% CTP	109 197,59
Intereses	IN = 5% CTI	271 270,43
Costo total de producción		2 183 951,98

Nota: El costo de la materia prima no se pone por cuenta de que es un producto natural y después de la extracción entra directo a la refinación por tuberías.

Análisis de sensibilidad de costos

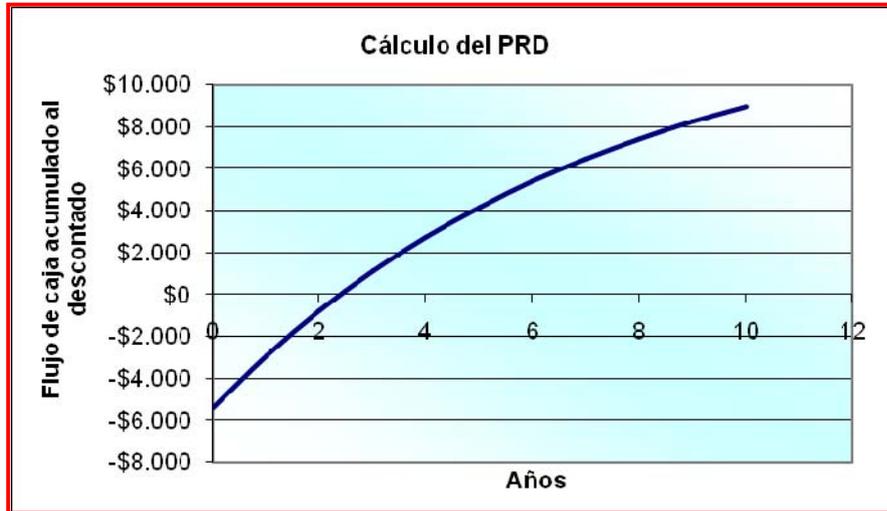
Ingresos

Considerando externalidades

- Daños evitados a la fauna y flora por presencia de la presencia de residuos orgánicos y otros compuestos.

Total: **\$3.513.897,27 \$USD**

VAN, TIR Y PRD



VAN	\$7 769 783,63
TIR	52%

Analizando los resultados obtenidos verificamos la factibilidad del proyecto dado por el valor del valor actual neto que es de \$ 7769783,63 lo que evidencia que aumentando la producción se aumentará la eficiencia y la tasa interna de rendimiento que tiene un valor del 52 %, demostrándose así que la implementación de la planta es viable desde el punto de vista económico y su inversión se recupera aproximadamente en dos años.

CONCLUSIONES PARCIALES

1. En la fase de definición de objetivo y alcance Dentro de los límites del sistema se incluyen los procesos de transporte, generación de vapor y tratamiento de residuos líquidos y gaseosos.
2. Se logro evaluar el impacto ambiental de una petroquímica en Colombia a partir de un diseño considerando la sección de destilación atmosférica y como unidad funcional la entrada en toneladas de petróleo crudo a una refinería.
3. Para la aplicación de la metodología se considero la asignación de cargas al proceso de refinación, esto fue necesario por las características del proceso y la calidad de datos disponibles presentados por el simulador.
4. Con respecto al análisis económico se logra tener un costo de inversión total de 5425408,62 \$USD /año , un costo de producción total de producción de 2183951,98 \$USD/año, y una factibilidad del proyecto dado por el valor actual neto de \$ 7769783,63 lo que evidencia que aumentando la producción aumentara la eficiencia, contando con una tasa interna de rendimiento de 52% y un tiempo de recuperación de la inversión de aproximadamente 2 años la planta es viable desde el punto de vista económico



Libertad y Orden

CAPITULO III:
**Evaluación del
impacto de ciclo
de vida**

Capítulo III: Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)

3.1 Introducción

A partir de los datos del inventario se utiliza el software Sima Pro 7.1 empleando el método del Eco-indicador 99 para realizar la evaluación del impacto ambiental del proceso de refinación de petróleo, se tiene en cuenta todo el Ciclo de Vida del proceso y las fronteras aspectos expuestos en el capítulo 2.

La **(figura 5)** muestra la red del proceso para uno de los cinco productos considerados (Diesel), las flechas rojas indican los impactos ambientales perjudiciales para el medio ambiente. Mientras más gruesas sean las líneas, mayor es el impacto, se puede observar que el mayor impacto es debido a la extracción del crudo, otros impactos de menor medida se corresponden a la transportación, electricidad, y generación de vapor por cada kg de producto.

Los arboles de los demás productos de la refinería se encuentran en los **Anexo 8, 9, 10 y 11**, presentando características muy similares.

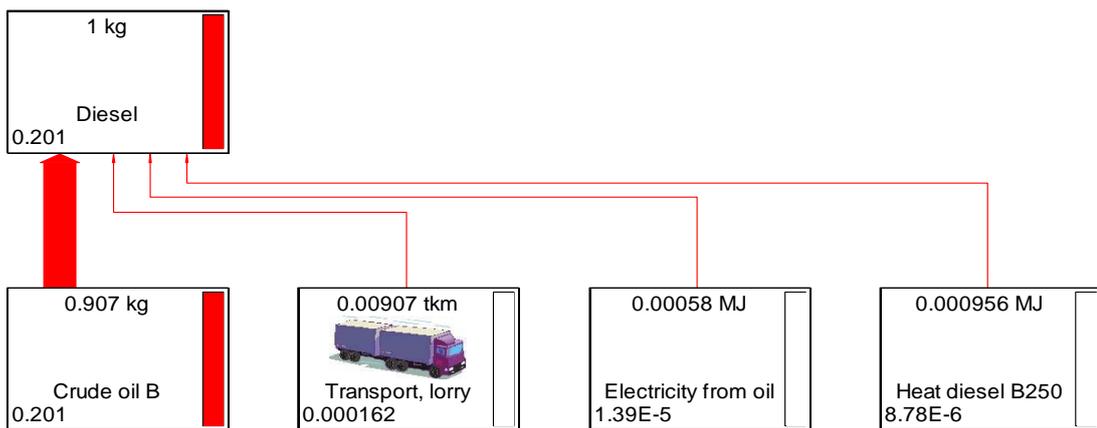


Figura 5: Árbol del proceso para uno de los productos de la refinería.

3.2 Análisis para los de productos que salen de la refinería.

Diesel

En la (figura 6) muestra la influencia del diesel en cada categoría de impacto, el crudo como materia prima principal influye en un 99% en las categorías de impacto de respiración de inorgánicos, respiración de orgánicos, cambio climático, acidificación y eutroficación y combustibles fósiles. Seguido del transporte que influye con un 99% en las categorías de radiación, uso de suelo, minerales, con un 92.5% en carcinogénesis, con 55.5% en capa de ozono y con un 87.5% en ecotoxicidad, y en electricidad con 5.5% en carcinogénesis, 12.5% en ecotoxicidad y 29.5% en capa de ozono. Seguido por el proceso de producción de vapor calentamiento de diesel con un 15% capa de ozono, 2% en carcinogénesis, y un 1% en las categorías respiración de inorgánicos, respiración de orgánicos, radiación, cambio climático, acidificación y eutroficación, uso de suelo, minerales, combustible fósil.

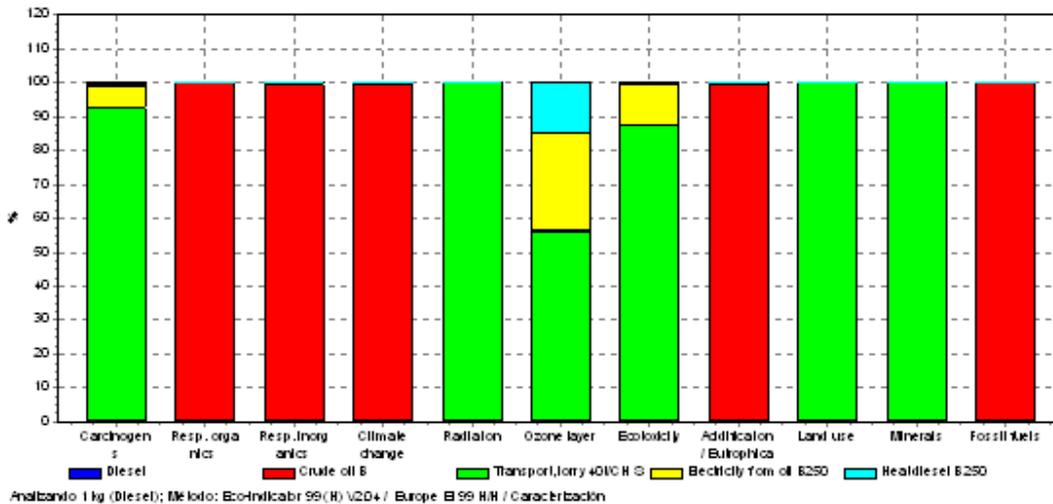


Figura 6. Análisis de diesel cada categoría de impacto

En la (figura 7) donde se muestran los valores ponderados del impacto ambiental provocado por cada uno de los procesos considerados en la refinación se observa que la extracción del crudo tiene un mayor impacto en la categoría e combustibles fósiles,

con 190 (mili puntos mPt), seguido de respiración de inorgánicos con 7.5 mPt, las demás categorías poseen impacto poco significativo reportando valores en 1mPt, es el caso de minerales, ecotoxicidad y respiración de inorgánicos.

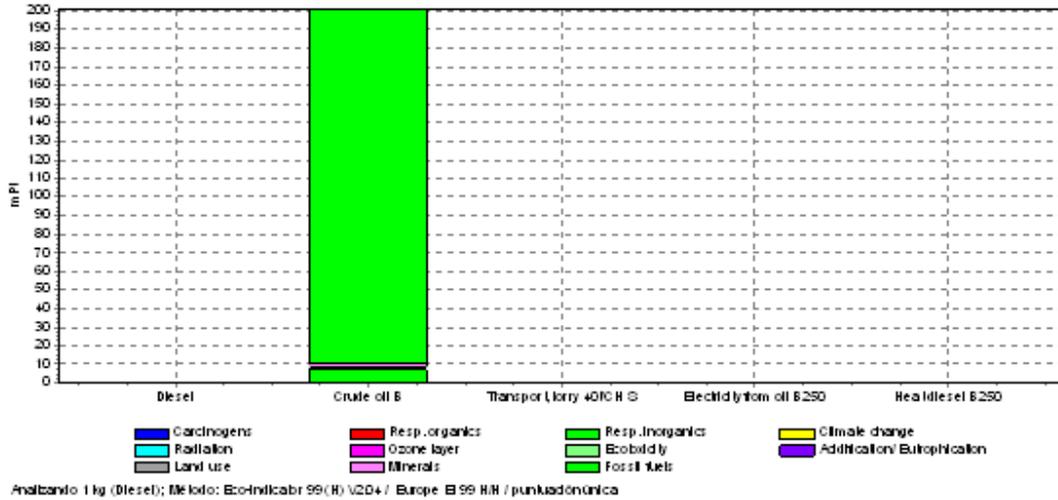


Figura 7. Análisis de las categorías que más impactan en la producción de 1kg diesel.

En la (figura 8) se observa un análisis de la ponderación para un 1Kg de diesel, por categorías, el crudo representa para categoría de combustibles fósiles en mPt de 191, principalmente por que es la materia prima para el proceso de obtención de diesel. Seguido va la respiración de inorgánicos debido a la generación de gases de combustión con 7.5 mPt y los otros procesos reportan puntuaciones poco significativas en las demás categorías, es el caso de cambio climático, acidificación y eutroficación.

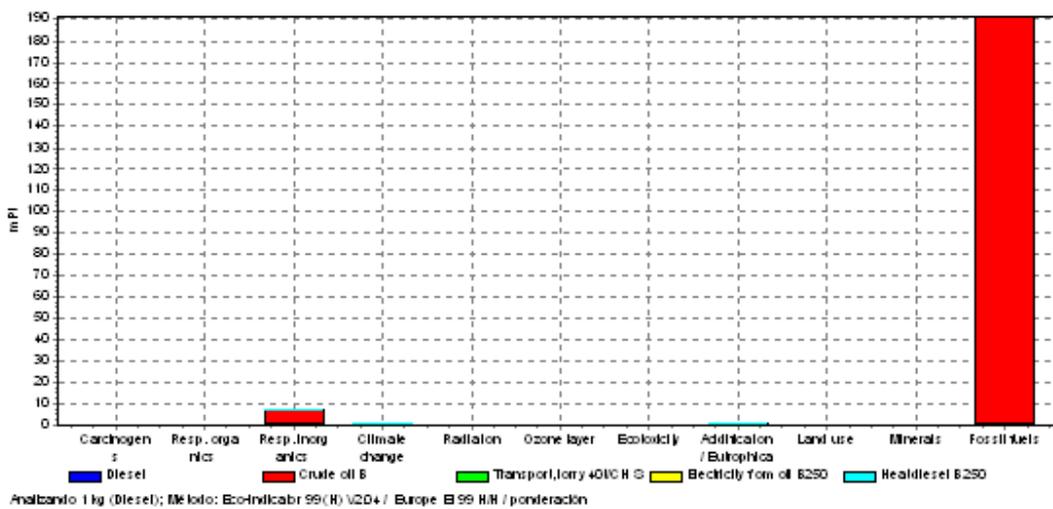


Figura 8. Ponderación para 1 kg de diesel producido.

En el caso de los demás productos como la nafta, el gas-oíl, keroseno y residuo el mayor impacto se tienen la categoría de combustibles fósiles por la extracción de crudo por ser la materia prima para su respectiva obtención, y su transportación, estos resultados se dan por 1 kg de cada producto producido por la refinería. Las figuras se ven en los **Anexos 8, 9,10 y 11**.

Comparación de procesos. Puntuación única

De los respectivos productos que salen de la refinación en la unidad de destilación primaria, el diesel, gas oíl, nafta y el keroseno son los que mayor impacto tienen en las categorías de combustibles fósiles y respiración de inorgánicos, con una puntuación expresada en mPt, para el diesel de 195 mPt, gas-oíl de 195 mPt, keroseno con 190 mPt y la nafta con 191 mPt, todas estas puntuaciones para la categoría de combustible fósil, ya que el crudo es la materia prima principal y la transportación. Seguida de la respiración de inorgánicos que en el proceso representa menos de 10 mPt debido a los gases que se generan por la combustión. Para las demás categorías reportan una puntuación poco significativa.

En la **(figura 9)** se muestra una comparación de los productos con respecto a las categorías de impacto del Eco-indicador 99.

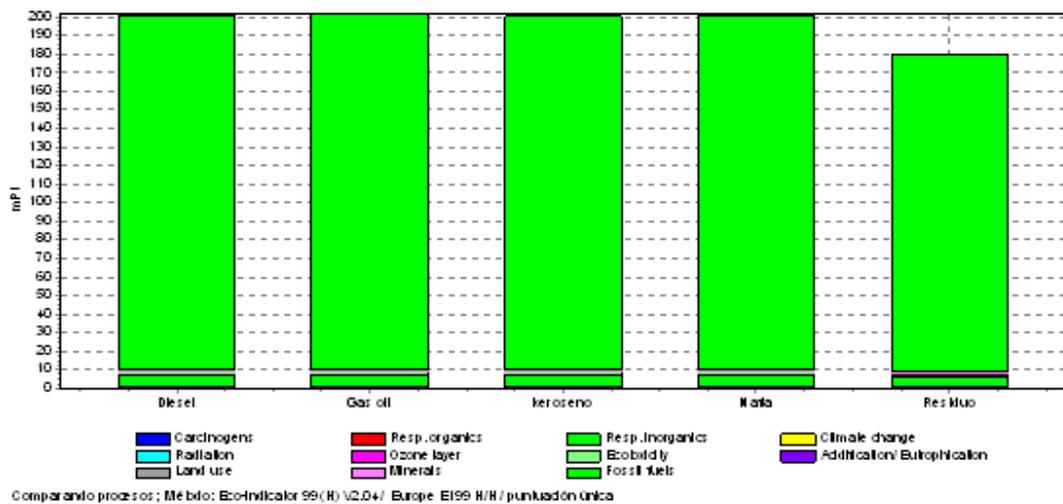


Figura 9. Comparación de productos con respecto a las categorías de impacto.

Comparación para la producción de 1kg de cada producto

En la (figura 10) se observa la comparación para la producción de 1 kg de cada producto, influenciado por los modelos utilizados para la ponderación en la metodología del Eco-indicador 99, donde se corrobora que en la categoría de combustibles fósiles los que más contribuyen a esta es el diesel, el gas-oíl, el keroseno, la nafta y el residuo, así como los 4 productos tienen influencia en la categoría de respiración de inorgánicos pero con una menor puntuación no pasando de los 10 mPt para cada producto, y en otras categorías como el cambio climático y acidificación y eutroficación se reportan puntuaciones poco significativas.

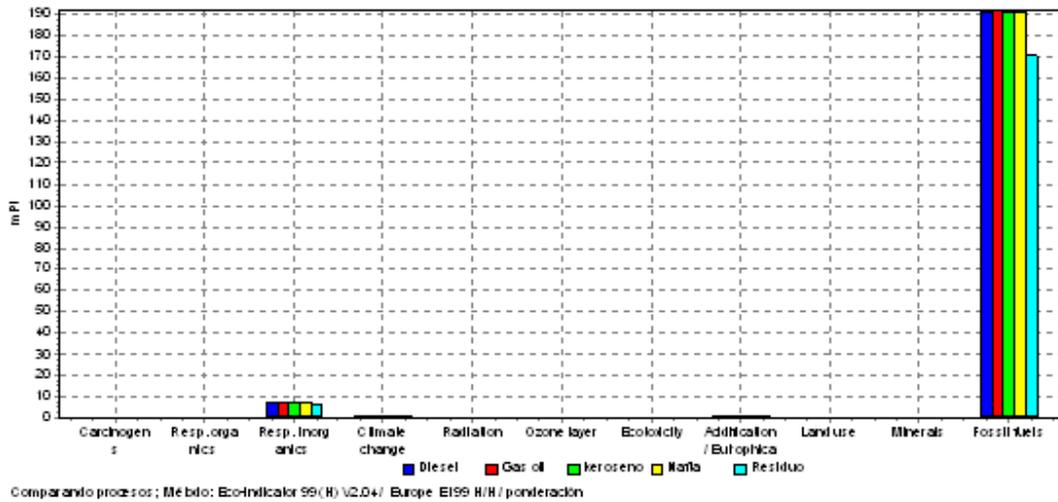


Figura 10. Perfil ambiental de acuerdo a las categorías de impacto del Eco-indicador 99

3.3 Análisis de la producción anual de la refinería en Colombia.

En la (figura 11) se muestra la red del proceso y la contribución total de todo el proceso a cada categoría de impacto considerando la producción anual. Se observa por el grosor de las flechas que la extracción de crudo es el proceso más impactante, reflejándose en la producción de nafta, diesel y residuo que tienen una mayor contribución al impacto ambiental de la producción de la planta.

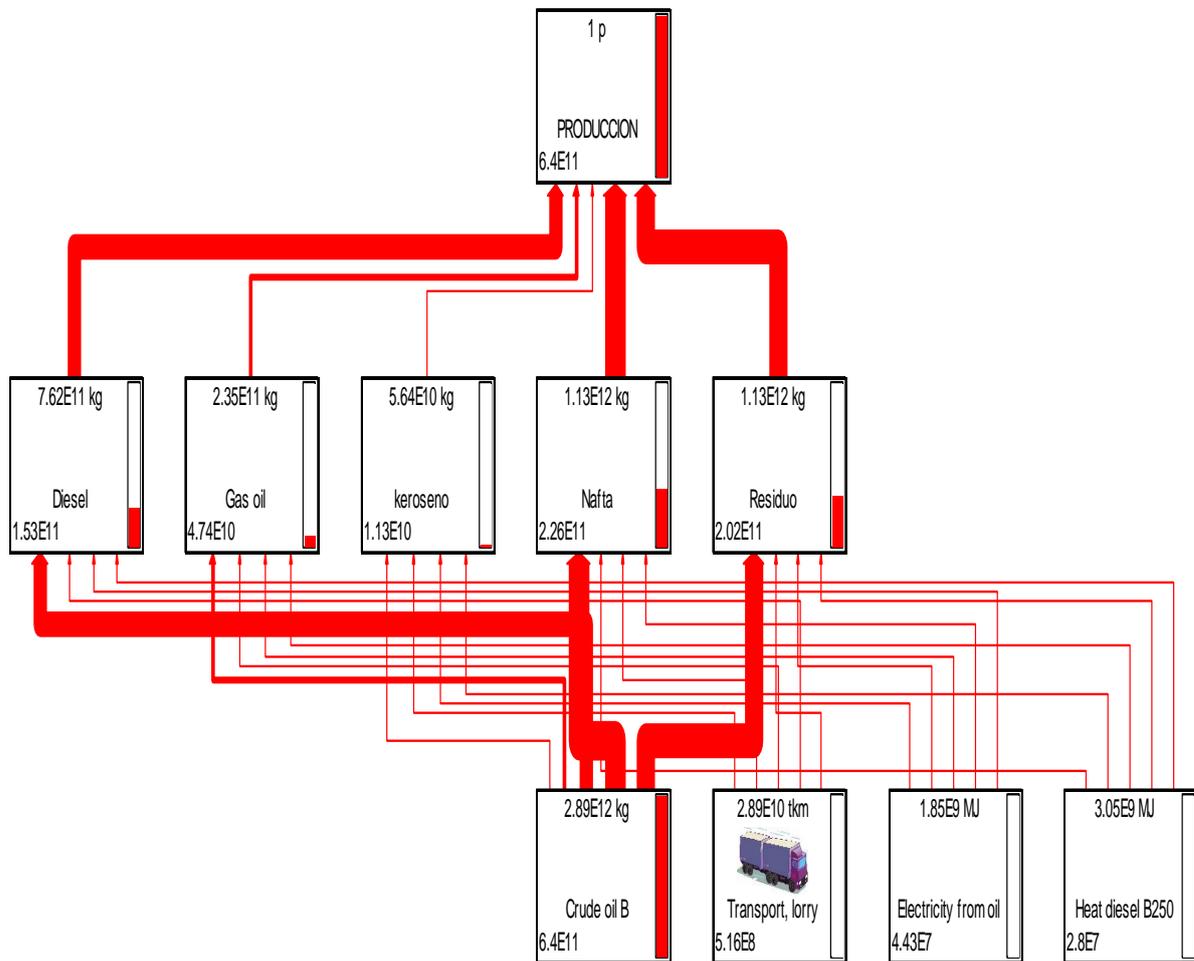


Figura 11: Árbol de la producción anual de la refinería en Colombia

3.3.1 Caracterización

3.3.1.1 Caracterización del proceso de producción de la refinería

A continuación se presenta la contribución del proceso a cada una de las categorías de impacto establecidas en la metodología del Eco-indicador 99.

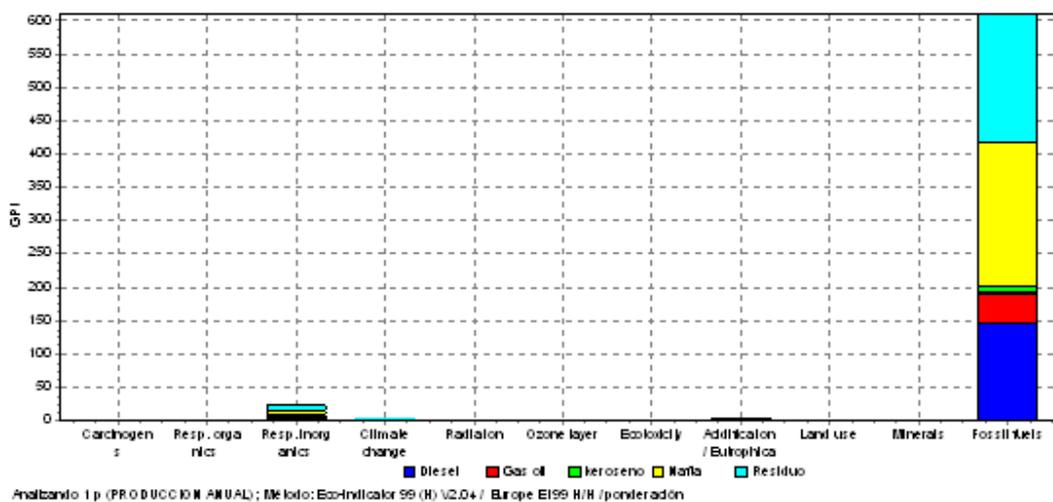


Figura 12. Perfil ambiental de la producción anual de la refinería. Categoría impacto

Las categorías de impacto más afectadas son los combustibles fósiles 625 GPt, seguidos de la respiración de inorgánicos con 25 GPt, y en menor medida el cambio climático y acidificación y eutrofización.

Un análisis del proceso asociado con las categorías de impacto más relevantes se realiza a continuación:

Carcinogénesis

En esta categoría de impacto las sustancias que más influyen son el cadmio, hierro, benceno, arsénico, HAP's (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y dioxinas entre otras, sin embargo por la importancia que tiene para la salud humana su reducción es importante el análisis. En la (figura 13) se muestra el análisis de la contribución del proceso a esta categoría de impacto, expresado en Años de Vida ajustado a discapacidad (DALY) donde se observa que los procesos que más contribuyen son la

transportación del crudo, y con menor contribución la electricidad y la generación de vapor.

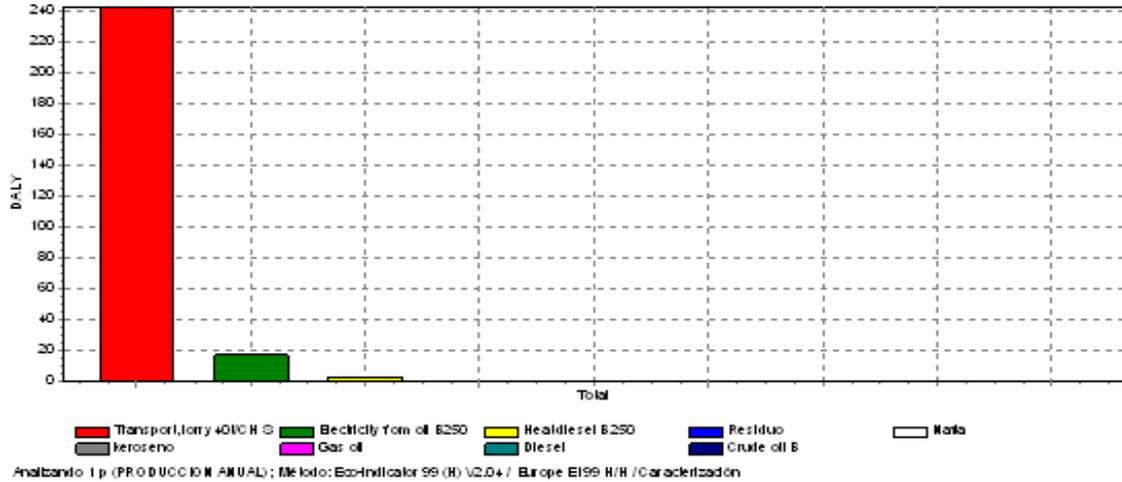


Figura 13. Análisis de la contribución del proceso a la categoría de impacto. Carcinogénesis

Respiración de compuestos inorgánicos

Dentro de las sustancias que más afectan a esta categoría podemos encontrar gases como los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas, sulfato y amonio, etc.

Los resultados muestran que el proceso que mayor influencia tiene, es la extracción de crudo y la emisión de gases debido a los procesos de combustión.

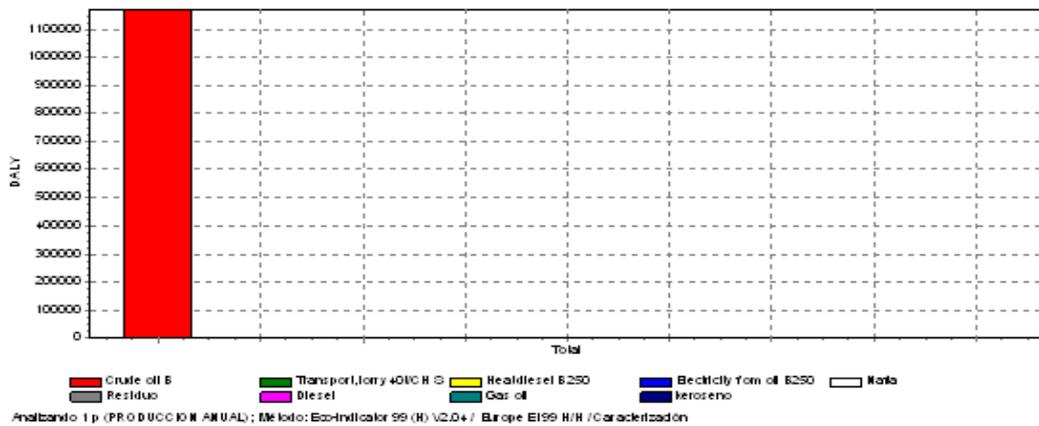


Figura 14. Análisis de la contribución del proceso a la categoría de impacto. Respiración de compuestos inorgánicos

Respiración de compuestos orgánicos

Dentro de las sustancias que afectan a esta categoría son como hidrocarburos totales, entre ellos HAP's (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y los hidrocarburos antrópicos.

En la (figura 15) se observa que la extracción crudo es el que mayor incidencia tiene en esta categoría, producido por los gases que genera.

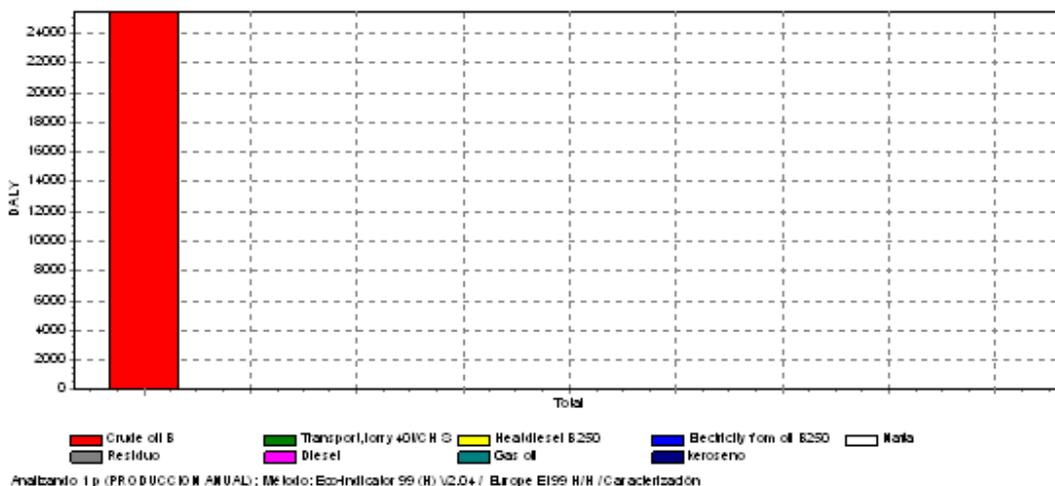


Figura 15. Análisis de la contribución de cada proceso a la categoría de impacto. Respiración de compuestos inorgánicos

Cambio climático

Esta categoría se ve afectada por la extracción del crudo, debido a todos los compuestos que son emitidos a la atmosfera en el proceso y durante su combustión en la etapa de refinación, generando gases como el CH₄, N₂O y CO₂, que también son generados por su transportación.

El análisis de la (figura 16) refleja que la extracción de crudo es la que mayor impacto tiene en esta categoría.

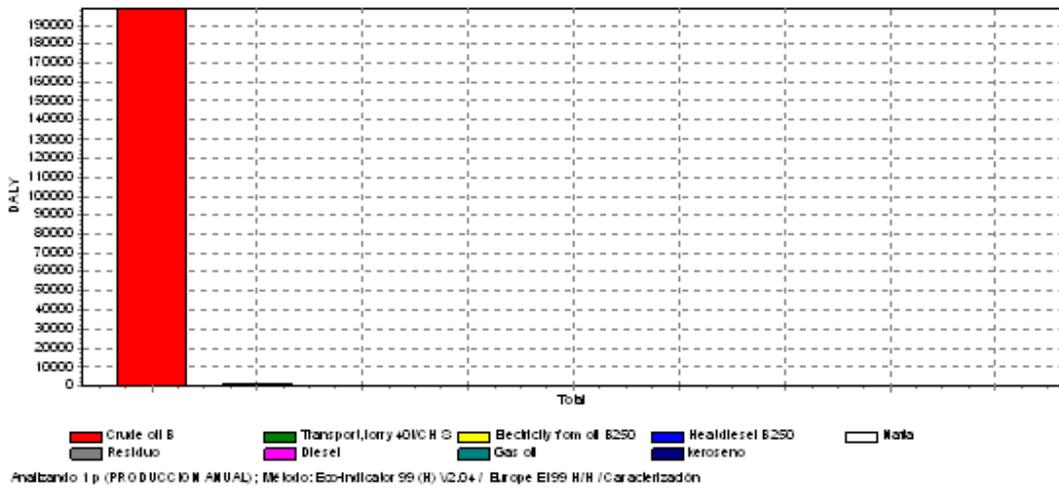


Figura 16. Contribución del proceso a la categoría de impacto. Cambio climático

Capa de ozono

Existen gases que son generados como los fluorocabúricos o fluorocarbonos, CO2 producidos por la combustión y los óxidos nitrosos. Estos gases producen la destrucción de la capa de ozono, generando efectos en la salud humana y el calentamiento global en la superficie terrestre. Por su vital importancia, es necesario analizar esta categoría.

En la (figura 17) los procesos que más influyen son, el transporte de crudo, la electricidad, y el consumo de vapor.

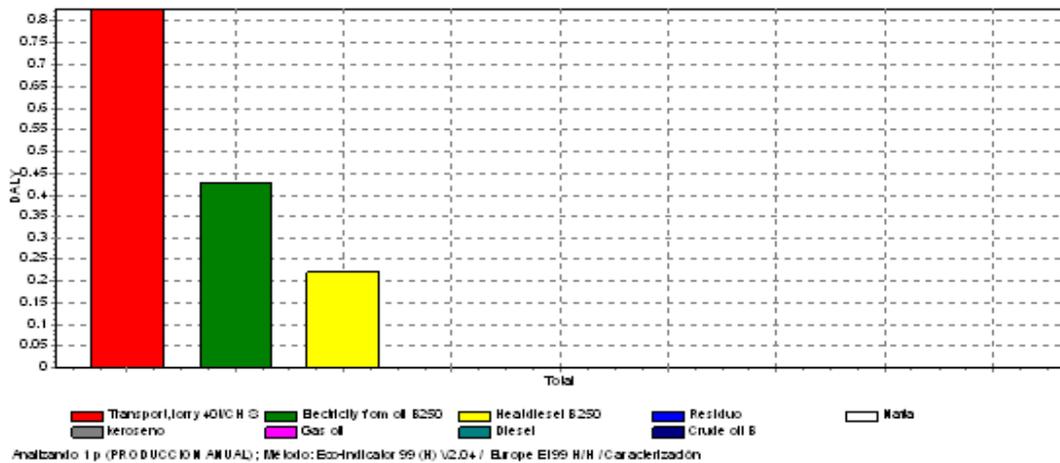


Figura 17. Contribución del proceso a la categoría de impacto. Capa de ozono

Ecotoxicidad

En general todos los gases emitidos por el proceso son tóxicos para el ecosistema terrestre y acuático, por esta razón es necesario analizar esta categoría.

En la (figura 18) se observa la contribución del proceso para el ecosistema, el proceso que más influencia tiene es el transporte de crudo por la generación de gases como el CO₂ y CH₄ que emiten los vehículos. La segunda mayor contribución la hace la energía, los restantes procesos tienen impactos con menores valores como es el caso del consumo de vapor.

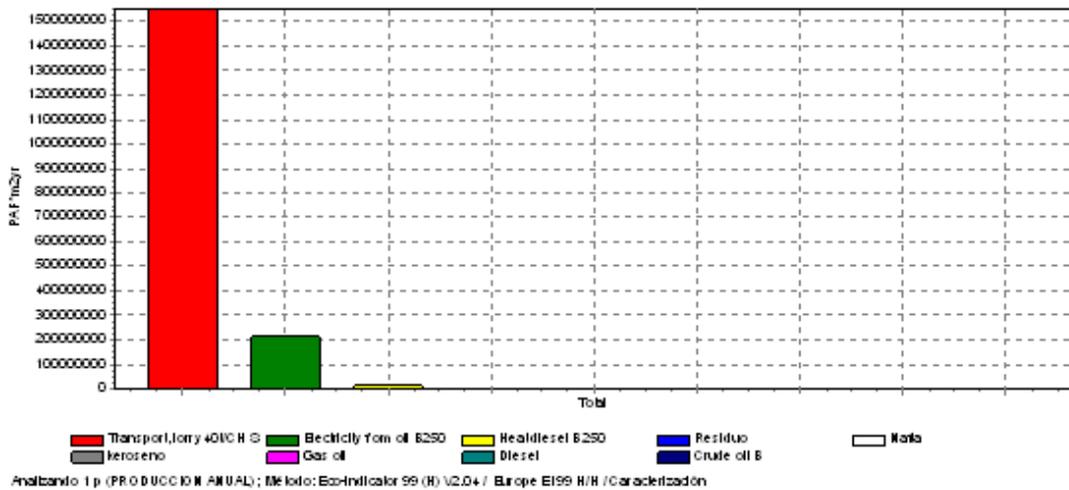


Figura 18. Contribución del proceso a la categoría impacto. Ecotoxicidad.

Combustible fósil

El análisis de la (figura 19) demuestra que en mayor medida el impacto esta dado por el proceso la extracción del crudo, por estar incorporado en el mismo todos los usos de combustible utilizado en las labores de calentamiento, generación de electricidad, producción de sus derivados como: gas oil, nafta, residuo, diesel. Incluyendo la transportación.

Este análisis se da en MJ cuya representación es la energía que se necesita en el futuro para extraer esos recursos.

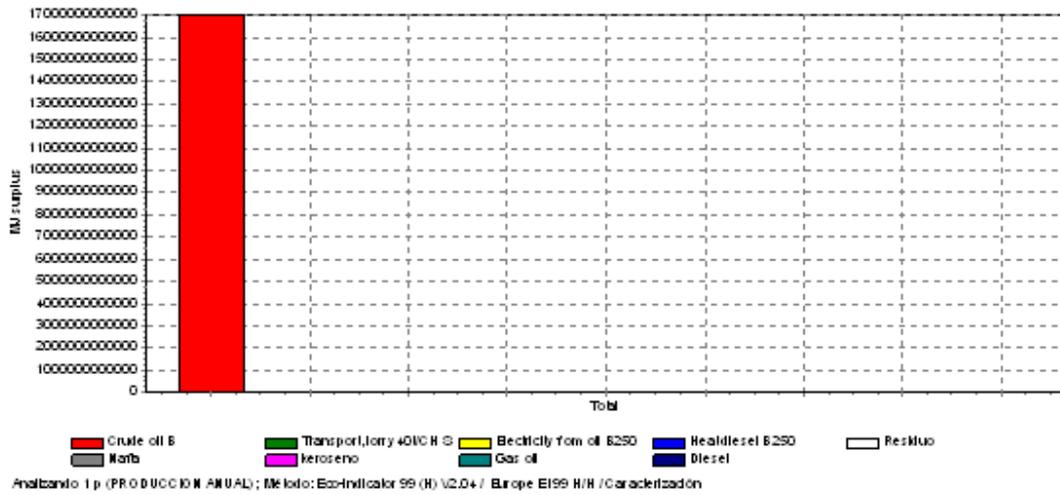


Figura 19. Contribución del proceso en la categoría de impacto. Combustible fósil

En la (figura 20) se puede apreciar la contribución de cada uno de los productos elaborados al impacto total generado por el proceso de producción de la refinería en Colombia expresado en categorías de daño.

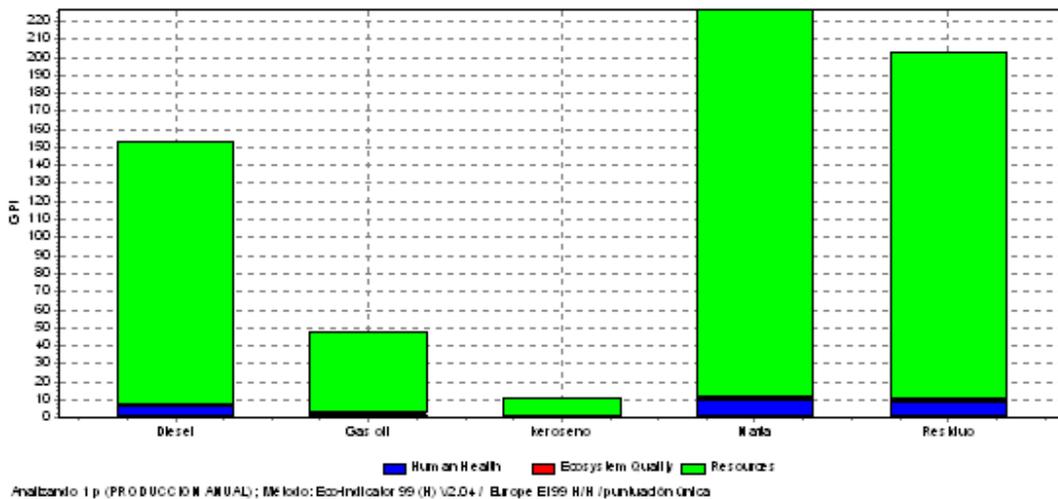


Figura 20. Impacto total anual generado por cada uno de los productos elaborados en la refinería

Como se aprecia la nafta con (213,5 GigaPuntos (GPt)) es la que mayor impacto provoca ya que depende del tipo de crudo que se este procesando, del flujo de salida y de su composición, el residuo contribuye con (194,5 GPt) siendo la segunda mayor contribución, el diesel con (147 GPt) es la tercera mayor contribución. Los restantes

productos tienen impactos poco significativos, debido a que sus flujos de producción son menores comparados con los anteriores.

Se aprecia en todos los productos que las mayores afectaciones están concentradas en los recursos debido fundamentalmente a la transportación del crudo, al terreno y la energía consumida, esto se debe al modelo usado por el Eco-indicador 99 sin embargo en la categoría de salud humana el diesel, el gasoil y el residuo, se reportan puntuaciones en el orden de los 10 GPt, como en el caso de la nafta.

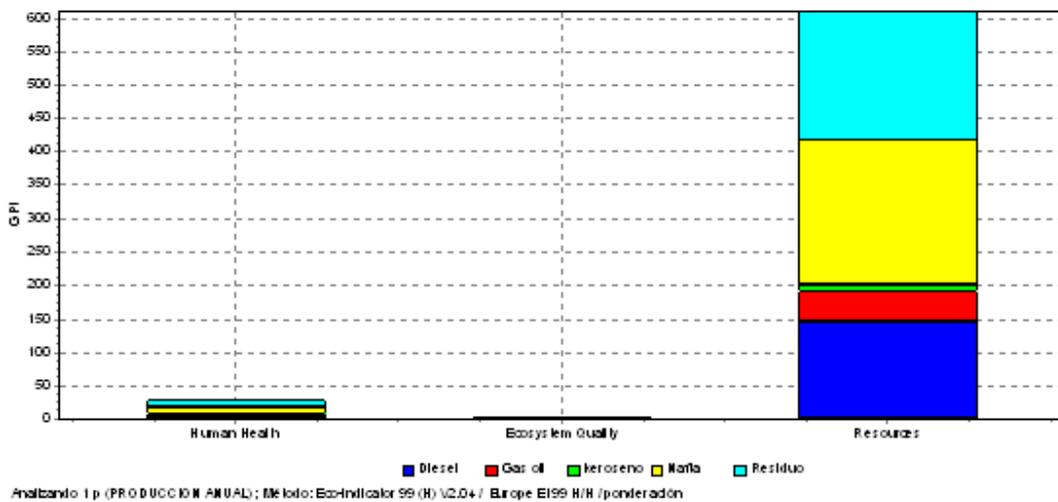


Figura 21. Perfil ambiental de la producción anual de la refinería. Categoría daño

3.3.1.2 Impacto total que se produce en una refinería en un año de trabajo

En la (figura 22) se observa el impacto total que produce en una refinería en un año de trabajo por categoría de impacto, la categoría que más se ve afectada es la de combustible fósil, debido a la extracción del crudo, así como también es quemado fundamentalmente para la producción de energía, para su uso como combustible en el transporte, otra de las categorías que incide es la de respiración de inorgánicos por los gases generados en la combustión como el dióxido de azufre, entre otros y la Ecotoxicidad aunque es muy importante reporta un porcentaje pequeño comparado con la de combustibles fósiles.

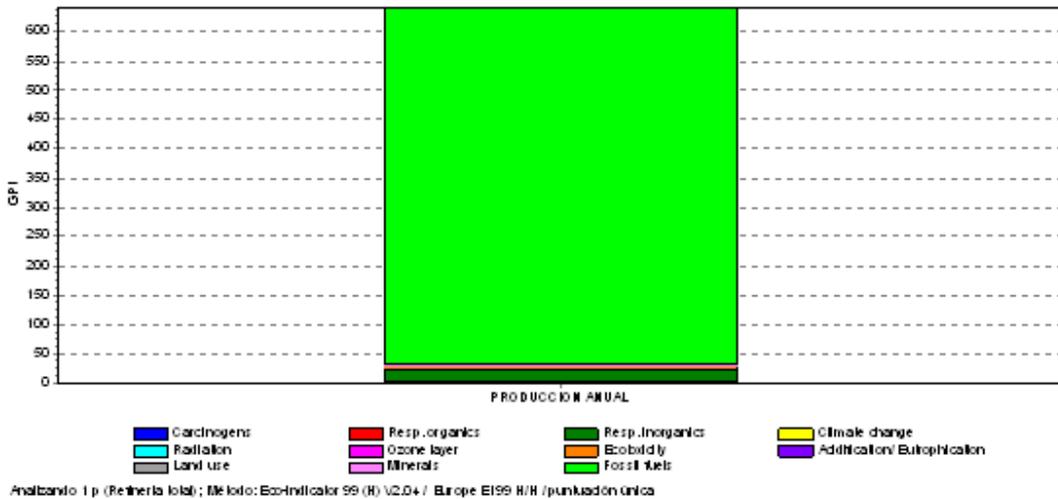


Figura 22. Impacto total que produce una refinería en un año de trabajo.

CONCLUSIONES PARCIALES

1. Se obtuvo el perfil ambiental de un proceso de refinación de petróleo en su etapa de diseño, la producción de diesel, nafta, gas oíl, keroseno y residuo el proceso que más impacta es la extracción del crudo y el transporte del mismo reportándose en un 99% en las categorías de respiración de compuestos inorgánicos, respiración de compuestos orgánicos, cambio climático, acidificación y eutroficación, combustibles fósiles, uso de suelos, minerales y radiación.
2. Los productos como el diesel, nafta, keroseno y gasoil, son los que mayor impacto tienen en las categorías de combustible fósil y de respiración de compuestos inorgánicos.
3. De las tres categorías de daño del Eco-indicador 99 la más afectada es la de recursos reportando una puntuación de 610 GPt del impacto total del proceso.
4. Aunque los impactos ocasionados a la salud humana y el ecosistema son mínimos si se comparan con los impactos a los recursos, estos representan valores considerables en el orden de magnitud por lo que deben ser tomados en consideración para el establecimiento de medidas de mitigación.



Libertad y Orden

CONCLUSIONES

Conclusiones Generales

1. Mediante el Análisis de Ciclo de Vida se obtuvo el Inventario de Ciclo de Vida y el perfil ambiental para la producción anual en la refinería de Colombia de acuerdo a las categorías de impacto y daño del Eco-indicador 99, mediante el uso del software Sima pro 7.1, con lo que se determinó que la extracción de crudo y la transportación del mismo son los que tienen mayor contribución al impacto total del proceso.
2. Los porcentajes de contribución del proceso fundamentalmente se encuentran en la categoría de combustible fósil y de respiración de compuestos inorgánicos, fundamentalmente por la extracción de crudo y su transportación.
3. El impacto total determinado de 610 GPt se considera de gran magnitud, siendo el ocasionado a los recursos el más relevante debido principalmente a la extracción del crudo por ser la materia prima para la producción del diesel, nafta, gas-oíl, keroseno y residuo.
4. Con el análisis de impacto ambiental se proponen medidas como la implantación de una planta de hidrotreatmento para tratar los gases con alto contenido de azufre, así mismo se plantea cambiar el combustible utilizado en la caldera de fuel-oíl, por gas natural, para así disminuir la contaminación de gases emitidos a la atmósfera.



Libertad y Orden

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

1. Continuar investigando el tema para completar los inventarios en la demás secciones de la refinería.
2. Hacer llegar a los respectivos departamentos de Ecopetrol los resultados obtenidos en este estudio para que se tomen las decisiones pertinentes en las siguientes etapas del proceso de diseño.



Libertad y Orden

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

1. ABAD F., S. J., HERNANDEZ S., URIBE A. (2005) Petlyuk distillation column Simulation by using a nonequilibrium stage model. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Guanajuato - México, Universidad de Guanajuato.
 2. AENOR (1998) ISO 14040:97 gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. principios y estructura.
 3. ANAYA, A. (1998) Implantación de equipos en plantas petroquímicas. *Instituto Mexicano del Petróleo*.
 4. BARE, J. C., HOFSTETTER, P., PENNINGTON, D. AND UDO DE HAES, H. A. (2000) Life Cycle Impact Assessment Workshop Summary: Midpoints vs. Endpoints – The Sacrifices and Benefits. *International journal of life cycle assessment*, 5(6), 319-326.
 5. BONILLA, J. (2004) La política de producción más limpia en Colombia: fortalezas y debilidades. Bogotá - Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
 6. COLTRO, L. (2007) Avaliação do Ciclo de Vida - ACV. *Centro de Tecnologia de Embalagem-CETEA/ITAL*. Campinas - Brasil.
 7. CONTRERAS, W., CLOQUELL, V. & OWEN, M. E. (2007) Alcances y limitaciones del uso del método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación de impactos ambientales en la industria forestal. *AITIM Boletín de información técnica* 249.
 8. DOMÍNGUEZ, E. R., CONTRERAS, A. M., SANTOS, R., SUPPEN, N. & GONZÁLEZ, M. (2008) Perspectivas de Ciclo de Vida en los nuevos desarrollos petroleros en Cuba. Santa Clara - Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas - Cuba, Centro de Análisis de Ciclo de Vida y desarrollo sustentable de México.
 9. DOMINGUEZ, H., PEÑA, L. & MULET, M. (2002) Simulación en tiempo real de una columna de destilación para la prueba de controladores programables *Tecnología Química. Universidad de Oriente*, XXII, No 2, 27-31.
- 

10. _____ (2001) *EL PETROLEO Y SU MUNDO*. séptima ed. Bogotá D.C.
 11. ESPINOSA, R. (2001) *Gestión energética en la industria química*, Santa Clara - Cuba, Editorial Feijóo.
 12. ESTUPIÑAN, J., PEDRAZA, J., ZAMORA, A., PÉREZ, A. & RODRÍGUEZ, J. (2001) *Balances de masa y energía. Métodos clásicos y técnicas no convencionales* Santa Clara - Cuba, Editorial Feijóo.
 13. FERREIRA, C. (2005) Método para a escolha de processos considerando os impactos ambientais: uma aplicação para processos de decapagem. Porto Alegre- Brasil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
 14. FERREIRA, M. A. (2001) Estudio da Cadeia Produtiva do Polietileno Tereftalato (PET) na região Metropolitana de Salvador como Subsidio para a Análise do Ciclo de Vida. *Monografía do Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologías Ambientais no Processo Produtivo. Escola Politécnica–Universidade Federal da Bahia, Salvador.*
 15. FIKSEL, J. (Ed.) (1997) *Ingeniería de diseño medioambiental.DFE.*, Madrid, España.
 16. FULLANA, P. & PUIG, R. (Eds.) (1997) *Análisis del Ciclo de Vida*, Barcelona.
 17. FUNDACION, F. A. (2003) *Análisis del Ciclo de Vida (ACV)*.
 18. FUQUÉNE, C. E. & CORDÓBA, N. (2007) Selection of materials trough LCA for pipes´threader unions. Bogotá.
 19. GÓMEZ, J. & ROA, T. (1999) Oil watch. Curso técnico de la industria petrolera *Manual técnico petrolero. Bogotá - Colombia.*
 20. HERRERA, I. Modelación matemática de sistemas terrestres. México, Instituto de Geofísica, UNAM. <http://www.mmc.igeofcu.unam.mx/iherrera/>.
 21. HOOF, B. V. (Ed.) (2000) *Caso de análisis de ciclo de vida del azúcar, Introducción en producción más limpia*, Colombia.
 22. HOOF, B. V. (2007) La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá - Colombia*, 26.
-

23. ICONTEC (2003) Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. NTC -ISO 14040 Bogotá - Colombia
 24. ICONTEC (2008) Etiquetas ambientales tipo I: sello ambiental Colombiano. Criterio para aceites lubricantes para motores de dos tiempos a gasolina Bogotá - Colombia, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
 25. ISOIRD, J. (2007) E2B Energy Efficient Buildings. *PTEC conference. Proposal for a Joint Technology Initiative*. Madrid- España.
 26. KINDINGER & UGAYA (2002) *II Encontro dos programas de recursos humanos em petróleo e gas natural do Paraná ANP/CEFET-PR/UFPR*.
 27. LECHÓN, Y., CABAL, H., LAGO, C., RÚA, C. D. L., SÁEZ, R. & FERNÁNDEZ, M. (2005) Análisis del Ciclo de Vida de combustibles alternativos para el transporte. Ministerio del Medio Ambiente ed. España.
 28. LIE, C. & HENSCHER, J. (2004) Metodología para identificação de aspectos ambientais significativos nos procesos de refino de petróleo. *XXIV Encontro Nacional de Eng. de Produção*. Florianopolis, SC, Brasil.
 29. _____ (2005) Manual de Medio Ambiente y Comercio. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Ginebra - Suiza, Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible
 30. MELGAREJO, F., RUIZ, R. P., MAGDALENO, M., GASCA, R., SOSA, I., VEGA, R., SÁNCHEZ, R. & RIVERO, R. (2008) Integración del Inventario para Análisis de Ciclo de Vida en la Producción de Petrolíferos de la Refinería Miguel Hidalgo. *La gestión de ciclo de vida en la industria del petróleo en Latinoamérica y costos ambientales*. México.
 31. MENDOZA, D. & PEDRAZA, J. (2002) Obtención de aceites de intercambio calórico a partir de crudos nacionales *Tecnología Química. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, XXII, No 1*.
 32. MILANA M. STOJIC, S. L. N., DARKO M. KRSTIC, SINISA MAUHAR (2004) Simulation of atmospheric crude unit "badger" using Aspen Plus. *Petroleum & Coal*. University of Novi Sad.
- 

33. MOJICA, M. (2004) Caracterización y evaluación del crudo. Instituto Colombiano del Petróleo (ICP). Bucaramanga - Piedecuesta (Santander) - Colombia, www.icp.ecopetrol.com.co.
 34. MORALES O., R. A., KAM J., JOSÉ P. MADRID (1992) La refinación Del petróleo crudo en panamá. Un Recurso Valioso para la Industria Energética y el Desarrollo Nacional. IN DEPARTAMENTO DE PROYECTOS ESPECIALES DE LA REFINERÍA PANAMÁ, S. A. (Ed.). Colón, Panamá.
 35. NARVÁEZ, P. C. (2008) Petróleo, biocombustibles y alimentos *Saber Económico*. Bogotá - Colombia, Universidad Antonio Nariño.
 36. NORRIS, G. (2003) Impact characterization in the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts methods for acidification, eutrophication, and ozone formation. *Journal of Industrial Ecology*, 6, 3-4.
 37. _____ (2009) Plan de gestión ambiental. *Universidad del Cauca*. Popayán, Colombia.
 38. PANICHELLI, L. (2006) (ACV) de la producción de biodiesel (B100) en Argentina.
 39. RAFAEL, F. Propuesta de sistema para purificar gas acompañante de petróleo y recuperar azufre Habana - Cuba, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE-CUJAE).
 40. RAMIREZ, E. & GALÁN, L. (2002) El ecodiseño como herramienta básica de gestión industrial.
 41. RIBA, C. (2006) Principios de ecodiseño: como proteger nuestro entorno. *Encuentros Ambientales 2006*. Instituto para el Desarrollo Sostenible (IDS) - Universidad del Norte - Barranquilla - Colombia.
 42. RODRÍGUEZ, C. (2003) Resolución 0447 de 2003, Criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso industrial y domestico. IN MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. D. T. (Ed.). Bogotá - Colombia.
 43. RODRÍGUEZ, L. & CASTAÑEDA, M. (2001) Estudios de los fenómenos de cristalización de parafinas en el comportamiento fluido dinámico de crudos
-

- parafínicos - fase1. Bucaramanga - Santander - Colombia, Instituto Colombiano de Petróleos (ECOPETROL).
44. ROJAS, N. (2004) Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá - Colombia*, 20, 58-98.
45. ROMERO, B. I. (2003) El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Tendencias tecnológicas 91. Boletín IIE*.
46. RUIZ, P. (2003) Impacto medioambiental de los combustibles su estudio y papel de los biocombustibles. . *Anales de mecánica y electricidad*.
47. SOSA, G., MAGDALENO, M., MELGAREJO, E. P., GASCA, J., VEGA, E., SÁNCHEZ, G. & RIVERO, R. (2008) Impactos ambientales de petrolíferos con enfoque en el Análisis de Ciclo de Vida. *II Taller sobre implicaciones en política pública de nuevos hallazgos científicos sobre contaminación atmosférica*. Zapopan - Jalisco - México.
48. SUPPEN, N. (2009) Ecodiseño y Ecoetiquetado un enfoque de Ciclo de Vida. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas - Santa Clara - Cuba.
49. TORRES, R. & CASTRO, J. (2002) *Análisis y simulación de procesos de refinación de petróleo*.
50. TROIANO, J. C. & TRAMA, L. (2002) Análisis del Ciclo de Vida según las normas de la subserie IRAM-ISO 14040. *Revista Construir* Departamento de Energía y Asuntos Ambientales, Instituto Argentino de Normalización.
51. UDO DE HAES, H. A., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M., KREWITT, W. AND MUELLER-WENK, R. (1999) Best Available Practice regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment. Background Document for the Second Working Group on Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). *International journal of life cycle assessment*, 4(2), 66-74.
52. UDO DE HAES, H. A., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M., KREWITT, W. AND MUELLER-WENK, R. (1999) Best Available Practice regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment. Background Document for the Second Working Group on Impact
-

- Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). *International journal of life cycle assessment*, 4(3), 167-174.
53. DO DE HAES, H. A. A. L., E. (2001) The conceptual structure of Life Cycle Impact Assessment. Final draft for the Second Working Group on Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). Brussels.
54. UNEP (2003) Evaluation environmental impacts in life cycle assessment. IN PROGRAMME, U. N. E. (Ed.). Francia.
55. UNEP DIVISION OF TECHNOLOGY, I. A. E. (1999) Towards the Global Use of Life Cycle Assessment. IN PUBLICATIONS, U. N. (Ed.). Paris.
56. VASCONCELLOS, H. (2005) A Análise de Ciclo de Vida aplicada a pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil. Rio de Janeiro - Brasil, Centro de Tecnología Mineral
57. ZOBEL, T. (2001) Identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology. *Journal of Cleaner Production*, 381-396.
58. <http://www.un.org/esa/sustdev/csd/review.htm>. Naciones Unidas (Comisión para el Desarrollo Sostenible).
59. (1992) <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21sptoc.htm>. Agenda 21. Cumbre de Rio. Brasil.
60. (2001) <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28027.htm>. Sexto programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de medio ambiente.
61. (2002) <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible. Johannesburgo.
62. PROTOCOLO, K. (1997) <http://www.ecoloxistesasturies.org/Temas/Cambioclimatico/textocompletoKioto.htm>.
63. _____ (2003) Update of a Life Cycle Approach to Assess the Environmental Inputs and Outputs and Associated Environmental Impacts of Production and Use of Distillates from a Complex Refinery and SMDS Route. *Price Water House Coopers*. Shell International Gas Limited.
64. _____ (2008) Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura. Refinería Balboa.

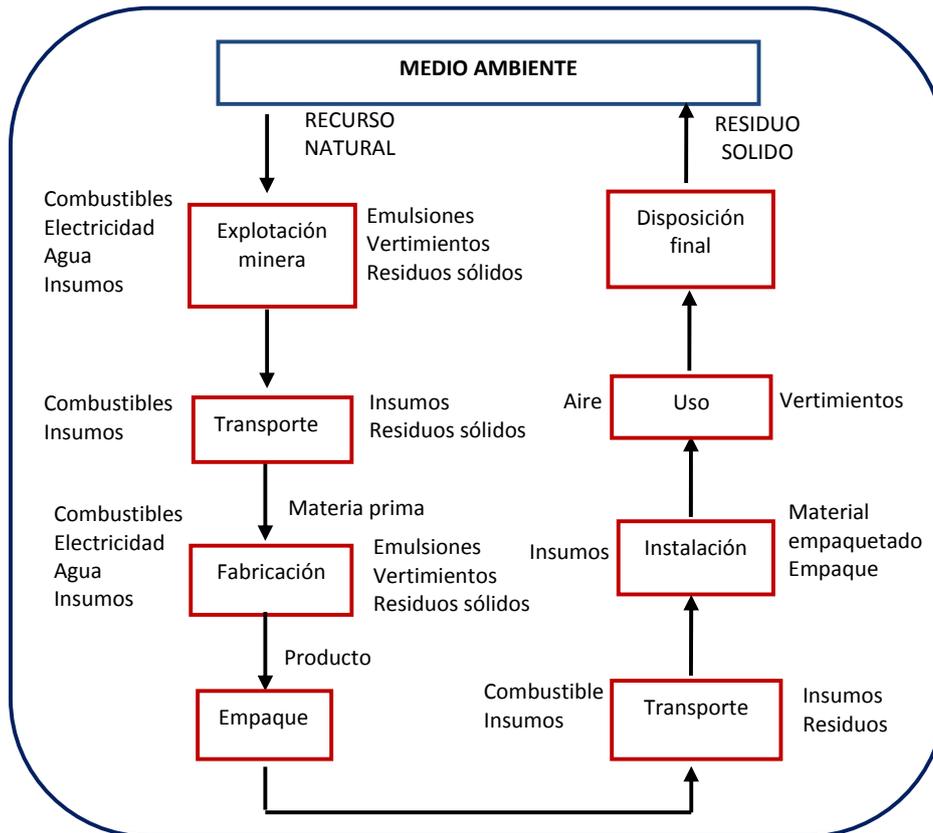


Libertad y Orden

ANEXOS

Anexo1. Análisis de ciclo de vida (ACV)

Fuente: CNPLM, 2001. Centro Nacional de Producción Más Limpia. Seminario sobre perspectivas del sector industrial en los mercados verdes; una oportunidad para la industria nacional. Medellín, Colombia.

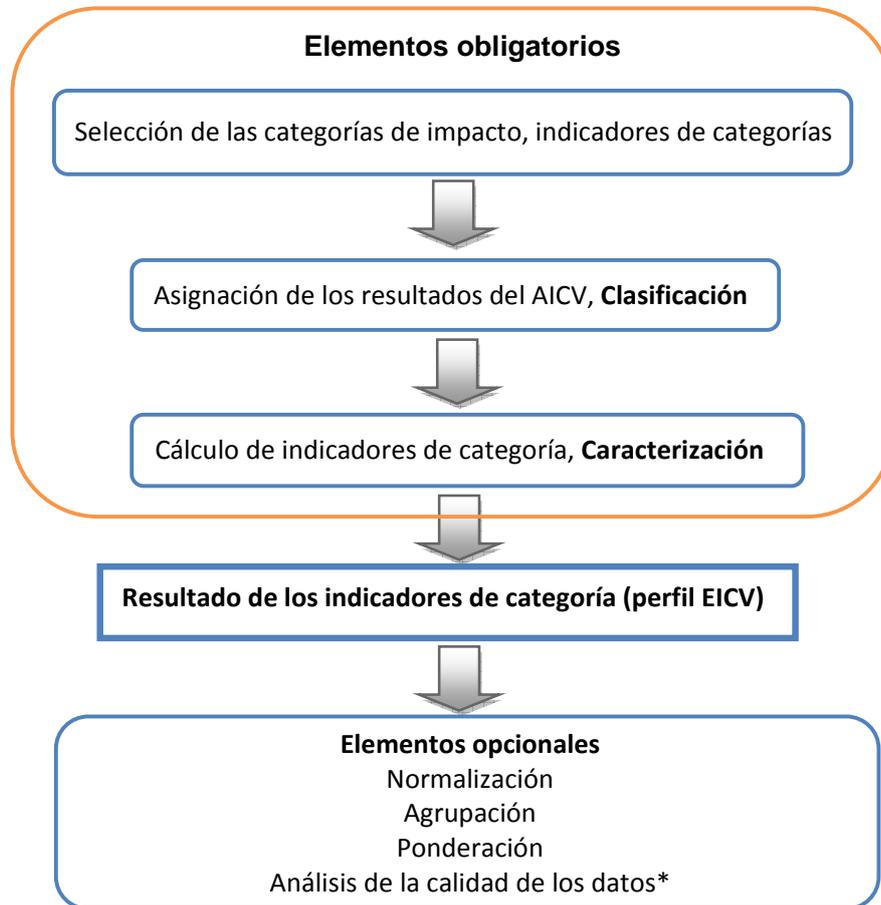


Anexo 2. Algunas etiquetas ecológicas que utilizan el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para establecer sus criterios.



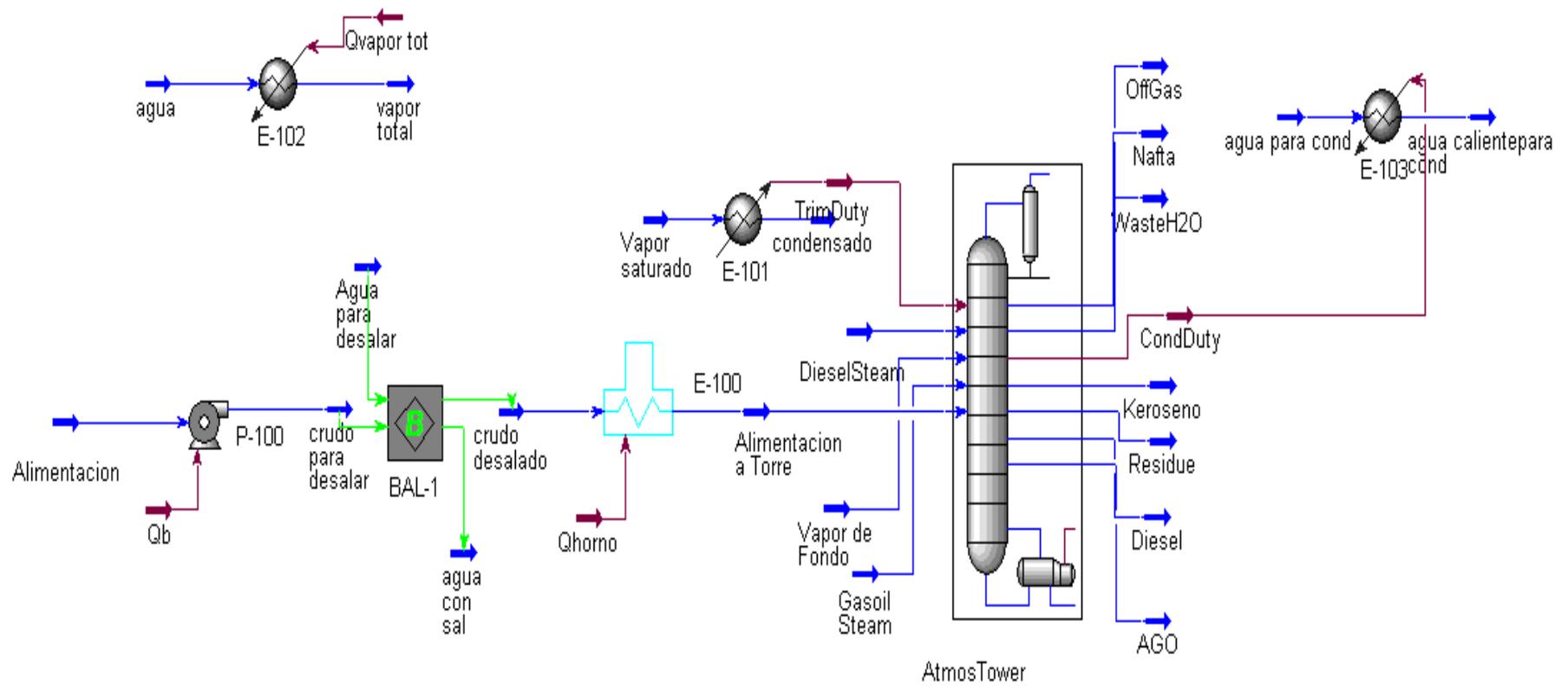
Anexo 3. Elementos considerados como obligatorios y opcionales de la EIA.

Fuente: Norma ISO 14042:2000

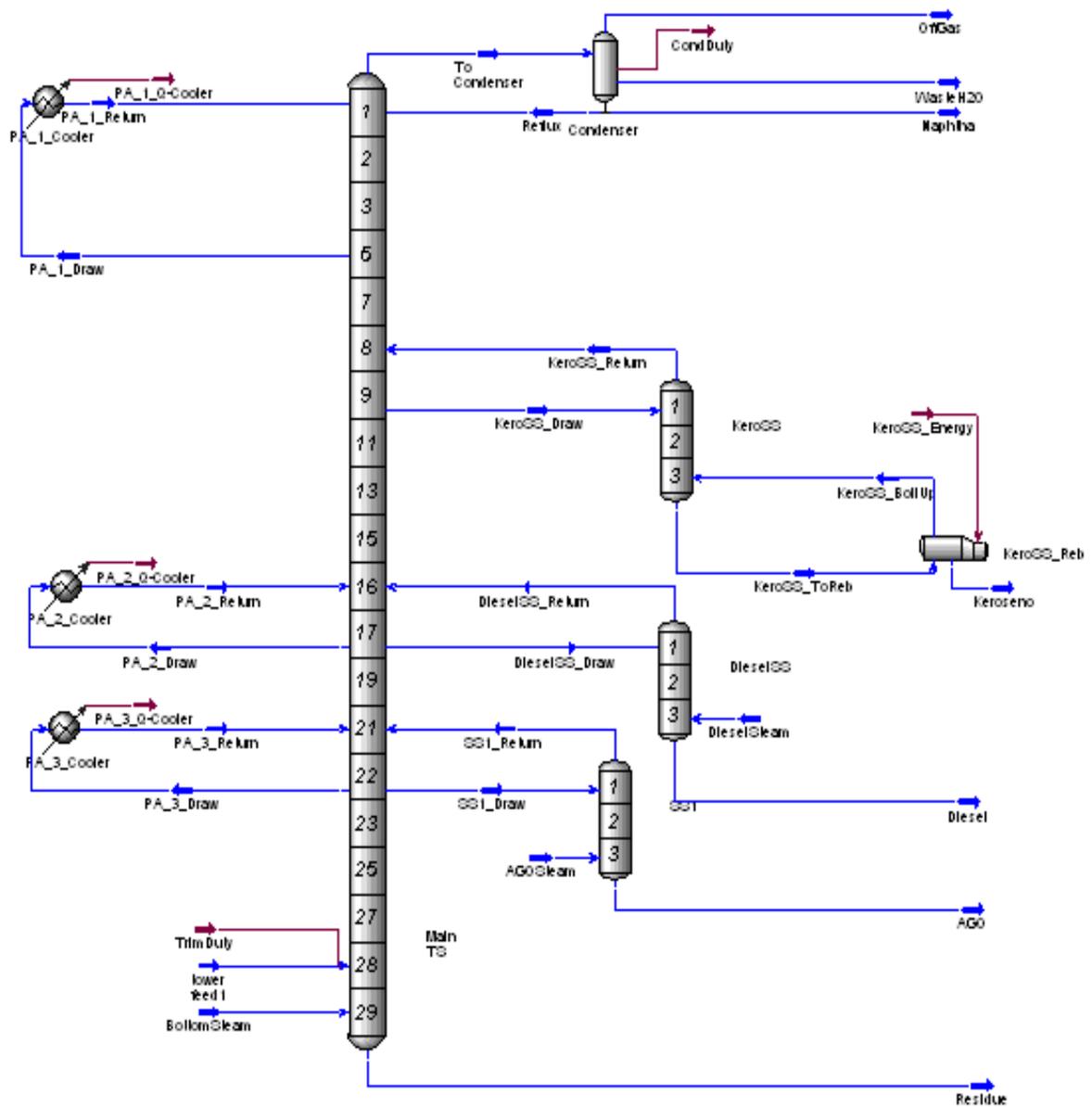


*Obligatorio en análisis comparativos

Anexo 4. Diagrama de Flujo de la sección de Destilación atmosférica



Anexo 4A. Diagrama de flujo de la torre atmosférica



Continuación

HYSYS FINAL2 - HYSYS

File Edit Simulation Flowsheet Workbook Tools Window Help

Name	Comp Mass Frac (NBP[0]1177*)	Comp Mass Frac (NBP[0]1251*)	Comp Mass Frac (NBP[0]1370*)
Vapor de Fondo	0.0000	0.0000	0.0000
Vapor Diesel	0.0000	0.0000	0.0000
Vapor Gasoil	0.0000	0.0000	0.0000
OffGas	0.0000	0.0000	0.0000
Nafta	0.0000	0.0000	0.0000
Agua Residual	0.0000	0.0000	0.0000
Residuo	0.0779	0.2442	0.5136
Diesel	0.0044	0.0002	0.0000
Gas Oil	0.2345	0.2846	0.0091
Keroseno	0.0000	0.0000	0.0000
Alimentacion a Torre	0.0489	0.1143	0.1940
crudo	0.0489	0.1143	0.1940
crudo1	0.0489	0.1143	0.1940
Vapor saturado	0.0000	0.0000	0.0000
condensado	0.0000	0.0000	0.0000
agua	0.0000	0.0000	0.0000
vapor total	0.0000	0.0000	0.0000
agua para cond	0.0000	0.0000	0.0000
agua caliente para cond	0.0000	0.0000	0.0000

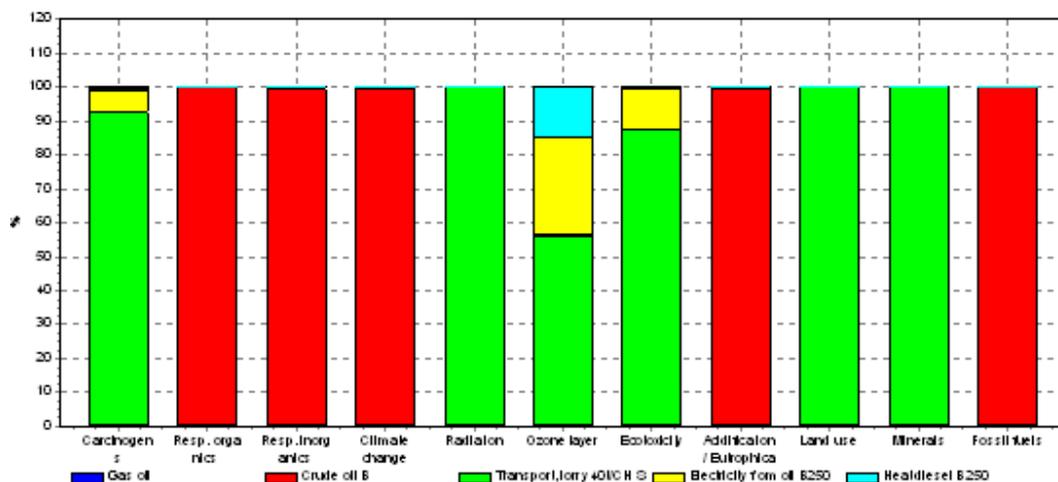
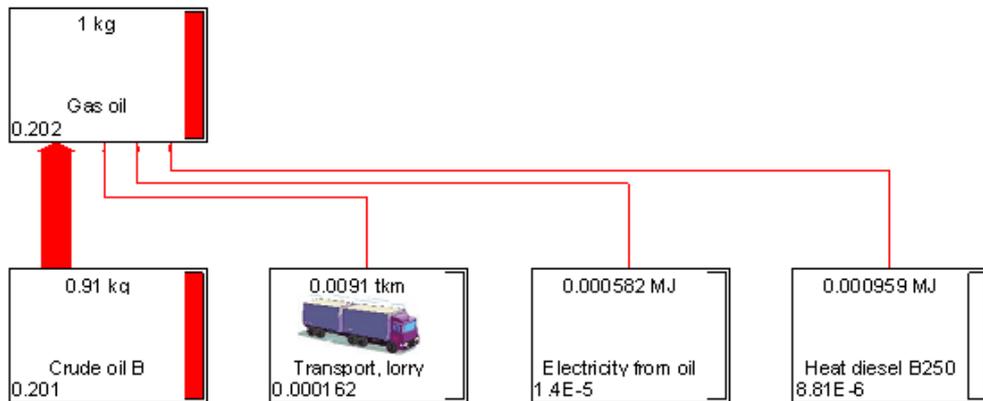
Anexo 7. Operaciones Unitarias simuladas por el Hysys 3.2

HYSYS FINAL2 - HYSYS 3.2 - [Workbook - Case (Main)]

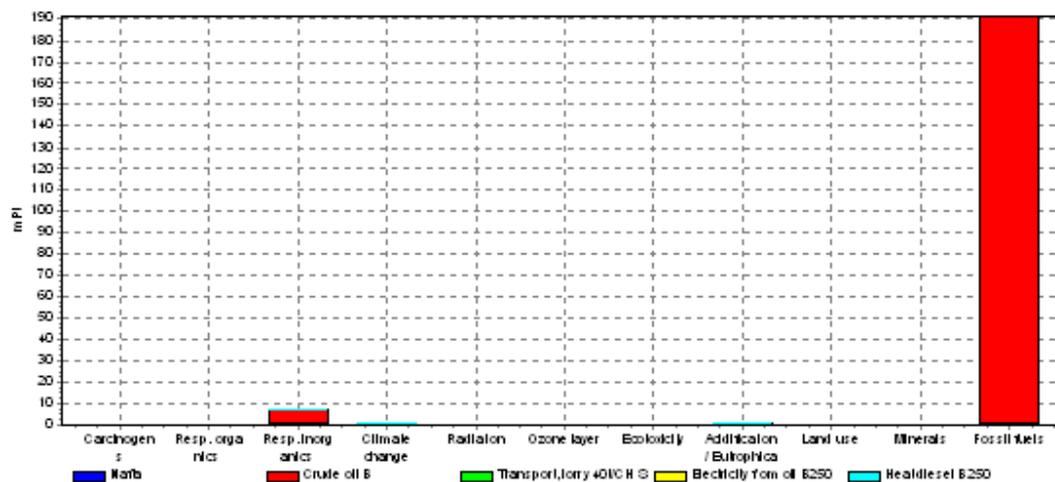
File Edit Simulation Flowsheet Workbook Tools Window Help

Name	Object Type	Inlet	Outlet	Ignored	Calc. Level
E-100	Heater	crudo1 Qhorno	Alimentacion a Torre	<input type="checkbox"/>	500
E-102	Heater	agua Q vapor tot	vapor total	<input type="checkbox"/>	500
E-103	Heater	agua para cond CondDuty	agua caliente para cond	<input type="checkbox"/>	500
AtmosTower	Column Sub-Flowsheet	Vapor de Fondo Alimentacion a Torre Vapor Diesel Vapor Gasoil TrimDuty	Residuo OffGas Nafta Agua Residual Keroseno Diesel Gas Oil CondDuty	<input type="checkbox"/>	2500
P-100	Pump	crudo Qb	crudo1	<input type="checkbox"/>	500
E-101	Cooler	Vapor saturado	condensado TrimDuty	<input type="checkbox"/>	500
SPRDSHT-1	Spreadsheet	<empty>	<empty>	<input type="checkbox"/>	500

Anexo 8. Árbol, gráficos de ponderación y de caracterización para el Gas-oíl utilizando el software Sima Pro 7.1 empleando el método de Eco-indicador 99

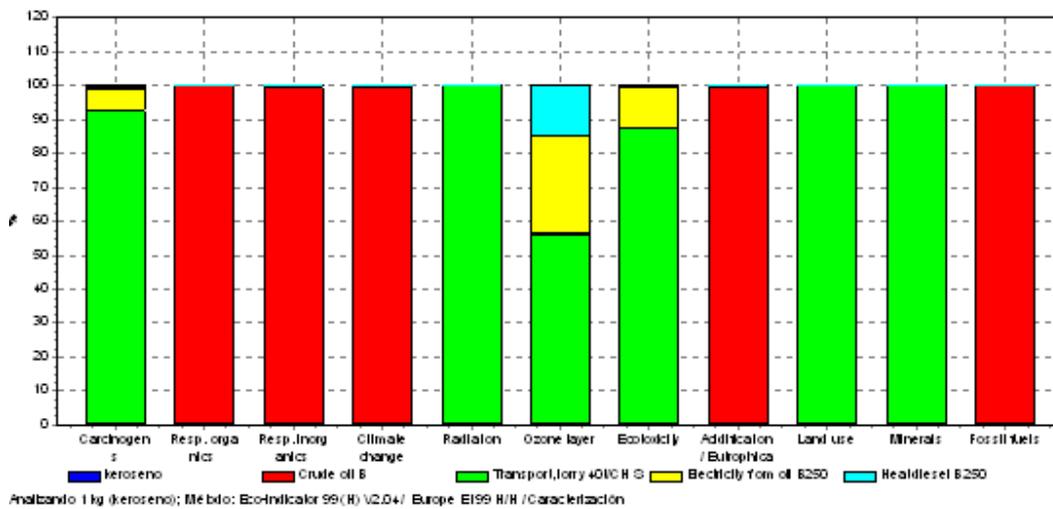
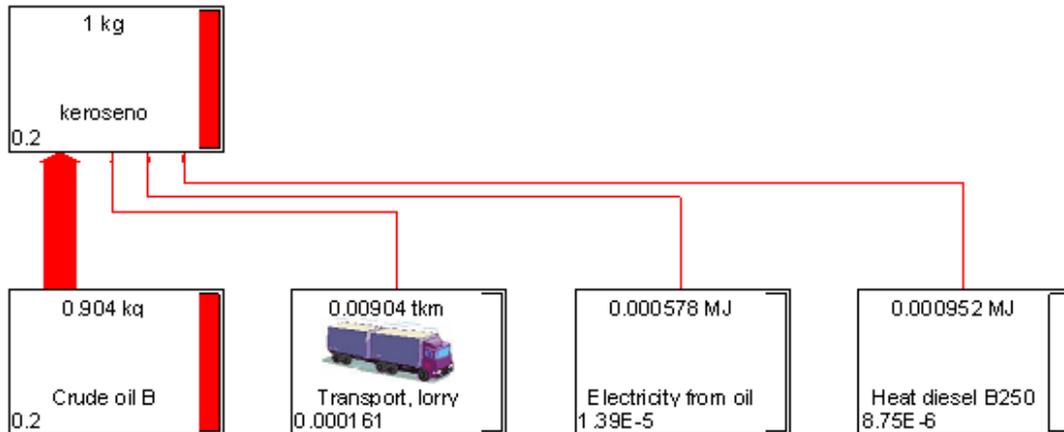


Análisis de 1 kg (Gas oil); Método: Eco-Indicador 99 (R) V2.0+ / Europe B 99 R/R / C caracterización

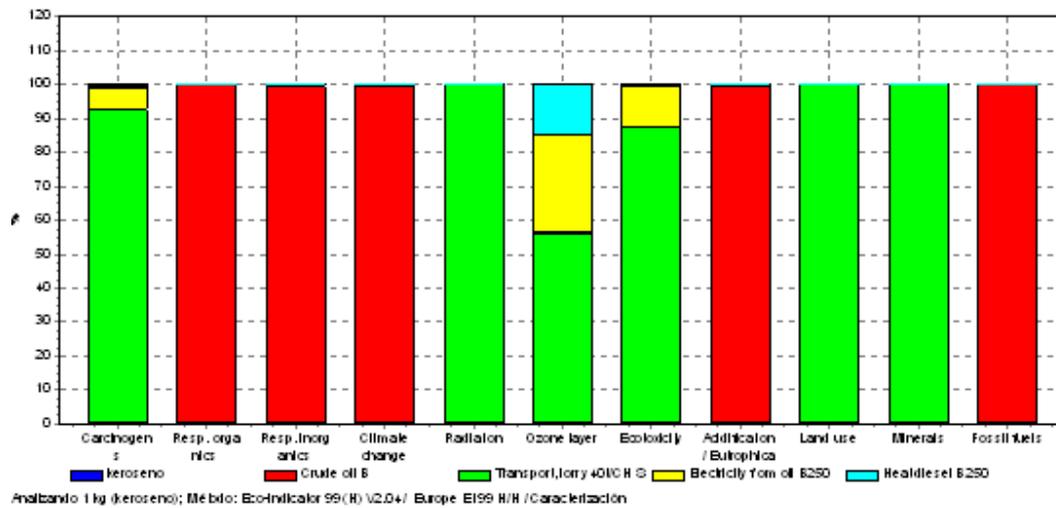
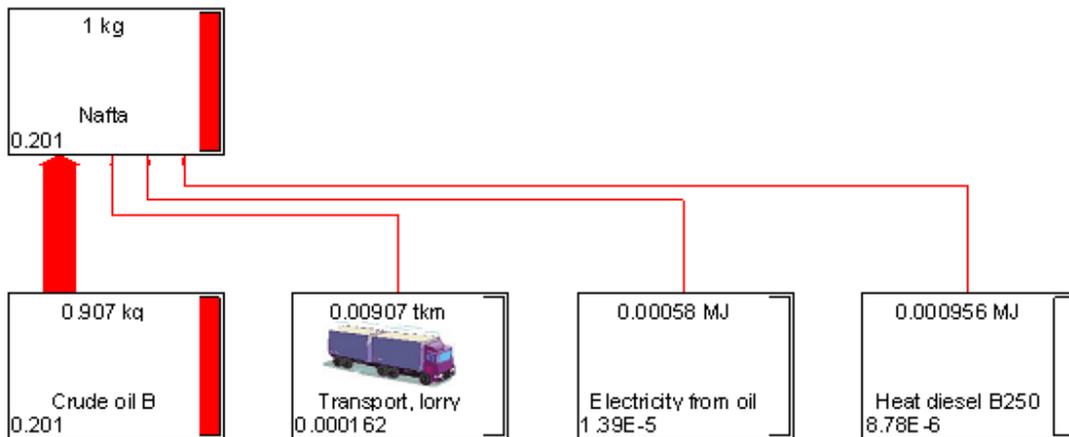


Análisis de 1 kg (Marb); Método: Eco-Indicador 99 (R) V2.0+ / Europe B 99 R/R / ponderación

Anexo 9. Árbol y grafico de caracterización para el keroseno utilizando el software Sima Pro 7.1 empleando el método de Eco-indicador 99



Anexo 10. Árbol y grafico de caracterización para la nafta utilizando el software Sima Pro 7.1 empleando el método de Eco-indicador 99



Anexo 11. Árbol y grafico de caracterización para el residuo utilizando el software Sima Pro 7.1 empleando el método de Eco-indicador 99

