



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS "CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

*Título:*

*Propuesta de metodología para evaluar variantes de tratamientos para eliminar la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación en la refinería "Camilo Cienfuegos".*

*Autor:*

*Raúl Torres Novo*

*Tutores:*

*MSc. Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas*

*Dr. Eduardo López Bastida.*

*Curso: 2013 - 2014*

*Cienfuegos 2014*

## DEDICATORIA

*A mis padres por su entrega y educación.*

*A mis hermanas, que comienzan un largo camino de estudios y sé que esto las impulsará.*

*A mis abuelas que me apoyan mucho y creen en mí.*

*A todos, los amo*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A mis padres, por confiar tanto en mí y dejarme tomar mis propias decisiones, por darme el cariño que necesito y guiarme en el camino correcto.*

*A mi familia en general que me apoyan mucho.*

*A mis tutores MSc. Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas y el Dr. Eduardo López Bastida.*

*A mi amigo Jorge Félix que siempre ha estado a mi lado.*

*A todos los que han hecho posible este trabajo.*

*Al ALBA, a la Revolución por darme esta oportunidad.*

*A todos Muchas Gracias*

## *Resumen*

La investigación titulada **Propuesta de metodología para evaluar variantes de tratamientos para eliminar la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación en la refinería "Camilo Cienfuegos"** tiene como objetivo proponer metodología basada en economía ecológica para evaluar los impactos de la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación en dicha entidad, aplicando los procedimientos de Análisis del Ciclo de Vida, Huella Ecológica y Huella Hídrica para la identificación y evaluación de mejoras

El trabajo comprende un primer capítulo donde se elaboró un marco teórico de forma introductoria para la investigación, en el cual se entrelazan de forma dinámica conceptos, aplicaciones y ventajas. Un segundo capítulo donde se describe el objeto del estudio en este caso al proceso de refinación de petróleo en la refinería Camilo Cienfuegos y se proponen escenarios vinculados a la eliminación de azufre que contamina el agua del proceso, se refleja además en este una serie de metodologías usadas para el cálculo de indicadores ecológicos para la obtención y procesamiento de datos. En el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de dichas metodologías y finalmente se presenta una propuesta de mejoras en fin de obtener un ahorro del agua de proceso y la limpieza de la misma de compuestos del azufre que la contaminan durante todo el flujo tecnológico.

Por último las conclusiones que validan la hipótesis del trabajo y las recomendaciones que conducen a la generalización de los resultados alcanzados.

Palabras clave: azufre, refinación de petróleo, contaminación del agua.

## *Summary*

The investigation titled methodology Proposal to evaluate variants of treatments to eliminate the contamination of the water for sulfur in the refinement processes in the refinery "Camilo Cienfuegos" has as objective to propose methodology based on ecological economy to evaluate the impacts of the contamination of the water for sulfur in the refinement processes in this entity, applying the procedures of Analysis of the Cycle of Life, Ecological Footprint and Water Footprint for the identification and evaluation of improvements

The work understands a first chapter where a theoretical mark in an introductory way was elaborated for the investigation, in this are intertwined of form dynamic concepts, applications and advantages. A second chapter where the object of the study is described in this case to the process of refinement of petroleum in the refinery Camilo Cienfuegos and they intend scenarios linked to the elimination of sulfur that it contaminates the water of the process, also reflected in this a series of methodologies used for the calculation of ecological indicators for the obtaining and prosecution of data. In the third chapter, the results are presented obtained starting from the application of this methodology and finally a proposal of improvements is presented in short of obtaining a saving of the process water and the cleaning of the same one of made up of the sulfur that contaminates it during all the technological flow.

Lastly, the conclusions that validate the hypothesis of the work and the recommendations that leads to the generalization of the reached results.

Keywords: sulfur, oil refining, water pollution.

# Índice.

## Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I “MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN”</b> .....	5
1.1 Problemática del agua en el mundo y en Cuba. ....	5
1.1.1- Principales industrias consumidoras de agua en Cuba.....	8
1.1.2- El agua y su uso sustentable:.....	9
1.2 El uso del agua en la refinación de petróleo.....	10
1.3.1 Análisis del ciclo de vida. ....	15
1.3.2- Huella ecológica.....	24
1.3.3- Huella ecológica corporativa o empresarial. ....	27
1.3.4- Huella Hídrica.....	30
1.3.5- Huella Hídrica Corporativa.....	30
<b>CAPÍTULO II “PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS”</b> .....	32
2.1- Descripción del objeto de estudio. ....	32
2.2- Metodologías utilizadas. ....	37
2.2.1- Metodología de análisis de ciclo de vida. ....	38
2.2.2 Descripción de la metodología de cálculo de la huella ecológica corporativa. ....	50
2.2.3- Descripción de la metodología huella hídrica.....	53
<b>CAPÍTULO III “ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS”</b> .....	57
3.1- Resultados del análisis del ciclo de vida.....	57
3.1- Huella Ecológica Corporativa del proceso de refinación.....	62
3.3- Resultados del cálculo de la huella hídrica de 1m <sup>3</sup> de agua en procesos de Refinación.....	68
<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	76
<b>ANEXOS</b>	

## INTRODUCCIÓN

El agua en la tierra está cuantificada en aproximadamente 1 400 millones de km<sup>3</sup>, pero de ellos, el 97 % es agua salada y solamente 10 millones de km<sup>3</sup> son de agua dulce, disponibles entre subterránea y superficial (**bvsde.ops-oms.org, 2007**). La cantidad de agua en el planeta tierra es finita. El número de habitantes está creciendo rápidamente y la utilización del agua crece aún en mayor medida.

En la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos, en las actuales condiciones de producción, existe un elevado consumo de agua, que además influye en los altos costos de producción, en los costos de portadores energéticos y en el impacto medioambiental. Sin embargo, no se logran los índices de consumo de agua establecidos para este tipo de producción y no se conocen indicadores de eco-eficiencia que permitan un mejor uso. (**Vidal, 2005**) (**Lobelles G.O, 2012**)

La Refinería de Petróleos de Cienfuegos se encuentra aplicado el sistema de Perfeccionamiento Empresarial, lo cual exige la mejora continua de sus procesos, para lo que es necesario implantar los Sistemas de Gestión de Calidad, (**NC-ISO 9000, 2008**), Medio Ambiente, (**NC-ISO 14001, 2000**), Seguridad y Salud en el Trabajo, (**NC-ISO 18001**) y Energía, (**NC-ISO 50001**), como requisitos exigidos para mantenerse dentro de este sistema y que tienen como objetivos manejar con mayor eficacia y eficiencia los recursos naturales y energéticos que posee la entidad. En tal sentido se trabaja en aras de **proponer una metodología para evaluar variantes de tratamientos para eliminar la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación en la refinería "Camilo Cienfuegos"**, que permita lograr un uso sustentable del agua, para revertir los elevados consumos y consigo disminuir los altos costos de portadores energéticos y su impacto ambiental.

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

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

La política nacional del agua (**INRH, 2012**), establece, promueve y canaliza cuatro prioridades estratégicas:

- El uso racional y productivo del agua disponible.
- El uso eficiente de la infraestructura construida.
- La gestión de riesgos asociados a la calidad del agua.
- La gestión de riesgos asociados a eventos del clima.

Así como veintidós principios básicos que responden a esas estrategias, cabe señalar que esta propuesta de metodología responde a quince de esos principios.

Todas las personas jurídicas y naturales están obligadas a pagar por los servicios de provisión de agua y de acueducto y alcantarillado, como principio el Estado no los subsidiará, en este sentido las tarifas serán diferenciadas según la capacidad de pago de los usuarios atendiendo a su rentabilidad, se penalizarán las ineficiencias y estimulará el ahorro. Se pagarán tributos por recibir derechos de uso del agua y por el vertido de efluentes, además de remediar los daños ocasionados. Las utilidades por estos servicios serán mínimas.

Las buenas prácticas de conservar y reusar el agua brindan oportunidades para su ahorro; el reciclado del agua a partir de la modificación de procesos industriales, la disminución de los altos consumos de agua potable, el reúso de aguas residuales proveniente de centros urbanos e industriales en otras actividades, el aumento de eficiencia en las áreas agrícolas bajo riego; constituyen líneas de acción concurrentes en pos del uso racional y sustentable del recurso.

Será prioridad en una primera etapa la actualización de la normativa para regular los permisos de vertimiento conforme a la carga admisible por cada cuerpo receptor. En este contexto se destaca la aplicación de instrumentos jurídicos y económicos (Contribución especial por las empresas radicadas en las 10 cuencas de interés nacional) para desalentar la contaminación y estimular la inversión en tecnologías limpias que eviten o mitiguen la contaminación (INRH, 2012).

### **Situación problemática.**

La refinería de petróleo de Cienfuegos se encuentra situada en el centro sur de la isla de Cuba, es una entidad que se dedica a la refinación y obtención de diferentes combustibles con un alto valor agregado, con parámetros de calidad reconocidos según la normas internacionales y con un tratamiento adecuado de sus residuales con el objetivo de mitigar los impactos medioambientales, no obstante aún persisten problemas como:(Lobelles G.O, 2012)

- Sobreconsumos de energía eléctrica y otros portadores energéticos.
- Los sobreconsumos de agua.
- Las elevadas cargas contaminantes vertidas a la atmósfera y al medio ambiente a pesar del tratamiento de sus residuales.
- Elevados costos de la energía y el agua.

Según la situación problémica antes expuesta se plantea.

### **Problema científico.**

¿Cómo determinar mediante indicadores de economía ecológica los impactos que producen la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación y sus diferentes variantes de tratamiento en la refinería "Camilo Cienfuegos"?

### **Hipótesis.**

Con la aplicación de las herramientas de la economía ecológica se podrá diagnosticar el sistema de agua en la refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos" y trazar un plan de mejoras que permitan la sostenibilidad del proceso de refinación.

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer metodología basada en economía ecológica para evaluar los impactos de la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación de la refinería "Camilo Cienfuegos".

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una revisión bibliográfica de la problemática del agua en el mundo, su uso irracional y los principales indicadores de economía ecológica que permitirían su uso sustentable en procesos industriales.
- Proponer una Metodología que nos permita evaluar los diferentes tratamientos que se le da al agua para eliminar el azufre en los procesos de refinación de petróleo.
- Aplicar dicha Metodología en la refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos".

## **CAPÍTULO I “MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN”.**

En el presente marco teórico, se muestra una panorámica de la situación actual del recurso agua en el Mundo y en Cuba, desde la nueva visión propuesta por Aguilera (**Aguilera, 2003.**), donde se contempla el recurso no solo desde el punto de vista de su cantidad, sino también de su calidad. Esto conlleva a usar racionalmente el agua en la industria, incluyendo, por supuesto, su impacto medioambiental, para lo cual se hace una revisión de los aspectos fundamentales de la economía ecológica. Esta revisión aporta la base metodológica necesaria con vista a proponer una metodología para evaluar variantes de tratamientos para evitar la contaminación del agua por azufre en los procesos de refinación en la refinería “Camilo Cienfuegos”.

### **1.1 Problemática del agua en el mundo y en Cuba.**

El agua constituye el 70 % del planeta y se encuentra dispersa en los océanos, ríos, lagos y casquetes polares. Del total de agua que existe en el mundo, sólo se puede utilizar 0,35 % para consumo humano. Los problemas relacionados con este importante recurso natural han sido reconocidos como las amenazas más serias e inmediatas a la humanidad. El diario Hoy (**diariohoy.net, 2006**), plantea que analistas políticos aventuran que las guerras del futuro serán por el control de este vital elemento.

Se estima que en el mundo existen unos 1 386 millones de km<sup>3</sup> de agua, de los cuales 35 millones (2,53 %) son de agua dulce, y 1 351 son aguas salinas (97,47 %). De los 35 millones de km<sup>3</sup> de agua dulce; 24,5 millones de km<sup>3</sup> se encuentran en estado sólido en los casquetes polares, 10,5 millones de km<sup>3</sup> corresponden a aguas subterráneas y 0,1 millones de km<sup>3</sup> corresponden a aguas superficiales (**naolinco/igeofcu.unam.mx, 2005**).

La gran cantidad de agua dulce de las capas polares, glaciares y acuíferos profundos no es utilizable. El agua dulce que puede ser usada procede esencialmente de la escorrentía superficial del agua de lluvia, generada en el ciclo hidrológico, donde el agua se recicla continuamente por la evaporación causada por la energía solar.

La dotación renovable de agua dulce en el mundo se estima en 38,83 km<sup>3</sup> al año, cifra que representa una dotación cercana a los 7,4 m<sup>3</sup> por habitante al año. Estos 38,83 km<sup>3</sup> forman

escurrimientos y únicamente quedan cerca de 14 km<sup>3</sup> por año como fuente de abastecimiento relativamente estable. (FAO.org, 2002)

La cantidad de agua superficial varía en dependencia del continente, de esta forma las cantidades de aguas superficiales renovables en Asia son 6 veces más altas que las de Antártida.(CINU, 2003)

Los países y territorios del mundo más pobres en agua son: Kuwait (10 m<sup>3</sup> anuales por habitante), la faja de Gaza (52 m<sup>3</sup>), los Emiratos Árabes Unidos (58 m<sup>3</sup>), las islas Bahamas (66 m<sup>3</sup>), Qatar (94 m<sup>3</sup>), las islas Maldivas (103 m<sup>3</sup>), la Jamahiriya Árabe Libia (113 m<sup>3</sup>), Arabia Saudita (118 m<sup>3</sup>), Malta (129 m<sup>3</sup>), y Singapur (149 m<sup>3</sup>).

Si se exceptúan Groenlandia y Alaska, los 10 territorios y países que más agua poseen son: la Guyana francesa (812,12 m<sup>3</sup> anuales por habitante), Islandia (609,31 m<sup>3</sup>), Guyana (316.689 m<sup>3</sup>), Suriname (292,566 m<sup>3</sup>), Congo (275,679 m<sup>3</sup>), Papua Nueva Guinea (166,56 m<sup>3</sup>), Gabón (133,33 m<sup>3</sup>), las Islas Salomón (100 m<sup>3</sup>), Canadá (94,35 m<sup>3</sup>) y Nueva Zelanda (86,55 m<sup>3</sup>).

En el análisis de estas informaciones se aprecian algunas diferencias respecto a los volúmenes, aunque es cierto que provienen de diferentes fuentes pero además contemplan un período desde el año 2002 hasta el año 2006.

Por informe de Naciones Unidas en (ODM, 2000), en la peor de las hipótesis, a mediados del presente siglo 7 millones de personas sufrirán de escasez de agua en 60 países y en el mejor de los casos, serán 2 millones en 48 países. Se calcula que un 20 % del incremento de la escasez mundial de agua obedecerá al cambio climático. La calidad del agua empeorará con la elevación de su temperatura y el aumento de los índices de contaminación.

Si la contaminación sigue el mismo ritmo de crecimiento que la población, en el año 2050 el mundo habrá perdido efectivamente 18 km<sup>3</sup> de agua dulce, o sea, una cantidad casi nueve veces mayor que la utilizada actualmente cada año por los países para el regadío, que representa el 70 % del total de las extracciones de agua y constituye, con gran diferencia, el principal consumo de recursos hídricos.

En el informe, se clasifican 122 países en función de la calidad de sus aguas, así como de su capacidad y grado de compromiso contraído para mejorar la situación existente. Los diez

primeros países de la clasificación son: Finlandia, Canadá, Nueva Zelandia, Reino Unido, Japón, Noruega, la Federación de Rusia, República de Corea, Suecia y Francia.

Con 3 856 millones de hectáreas y 830,7 millones de habitantes, América concentra la mayor cantidad de agua disponible del mundo, 200 km<sup>3</sup>, de los que sin embargo, sólo 42,780 km<sup>3</sup> anuales se consideran renovables. Es decir, posee algo más del 31,3 % de la superficie terrestre, el 13,7 % de la población global, y casi el 47 % de la disponibilidad mundial de recursos hídricos renovables. Todo, gracias a que tiene en su haber algunas de las mayores cuencas fluviales del planeta, como el sistema amazónico, el más grande del mundo. Los grandes lagos situados en la frontera entre Canadá y los Estados Unidos constituyen, también, el mayor conjunto lacustre del planeta.

Sin embargo durante los últimos 100 años, debido al crecimiento poblacional, la gran demanda del sector agrícola y el desarrollo de los procesos industriales, los requerimientos de agua aumentaron seis veces; según algunos, más de lo que los ecosistemas pueden soportar. Por citar sólo un ejemplo, en el último medio siglo, en México (**Valdés, 2006**), disminuyó a más de la mitad el agua disponible para el consumo humano, según datos de la Comisión del Agua de ese país.

La energía hidráulica, que es la fuente energética renovable más importante y de uso más ampliamente extendido, suministró en 2001 el 19 % del total de la producción de electricidad. Los países industrializados explotan aproximadamente el 70 % de su potencial de energía eléctrica, mientras que los países en desarrollo sólo aprovechan el 15 %. Canadá es el mayor productor de este tipo de energía, seguido por los Estados Unidos y Brasil. En América Latina, India y China, hay todavía abundantes recursos hidroeléctricos sin explotar. Con el desarrollo de ese potencial hidrológico, se pueden reducir las emisiones de gases de invernadero en un 13 % aproximadamente (**waterportal-americas.org, 2003**).

Según la (**ONE, 2006**), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba (INRH) reporta que los recursos hídricos cubanos se estiman aproximadamente en 38 km<sup>3</sup>, compuestos por 83 % de aguas superficiales y 17 % de aguas subterráneas. De estos, el potencial aprovechable se ha calculado en 24 km<sup>3</sup> (75 % en aguas superficiales y 25 % en aguas subterráneas).

### **1.1.1- Principales industrias consumidoras de agua en Cuba.**

La calidad y cantidad del agua depende de los procesos industriales a los que se incorpore. Existen algunos procesos con muy bajo requerimiento de calidad y volumen como por ejemplo los que la utilizan para la limpieza de materias primas, procesos de cocción, etc. y otros con gran consumo en que el agua hace parte del proceso. Dentro de las industrias más consumidoras aparecen:

- Industria azucarera; industria del petróleo; industria textilera; industria de alimentos y bebidas; industria de cemento; industria del acero; industria papelera.
- Estas industrias altamente consumidoras son a su vez las de mayor contaminación ambiental por ese concepto. Por consiguiente, una correcta gestión de ese recurso supondría:
- Tomar medidas para la conservación de este recurso tan importante para la vida.
- Reciclar y reutilizar el agua dentro de las propias producciones, y cuando finalmente sean dispuestas como efluente, no deben causar impacto negativo sobre el medio ambiente de acuerdo al cumplimiento de los aspectos legislativos vigentes.
- Controlar las aguas, tanto residuales como para su uso en la industria y los servicios, desde los puntos de vista de sus cantidades y de sus cualidades.
- Particularizar cada utilización del agua para decidir la calidad que se requiere y su volumen.
- Vincular el agua a los consumos de energía, ya que de un aumento de su consumo, o un mal tratamiento o utilización de esta, es responsable de un aumento considerable de los gastos energéticos de las empresas.
- Identificar los puntos que signifiquen ahorros inmediatos con pequeñas inversiones.
- Localizar posibles ahorros de mayor cuantía que requieran inversiones y evaluar su rentabilidad.
- Crear una cultura y educación empresarial sobre la necesidad del uso racional del agua y evitar su contaminación con residuales de diferentes tipos.

Para cumplir con estos requerimientos las empresas deben trazarse metas o estrategias que posibiliten un uso racional de tan preciado líquido.

### **1.1.2- El agua y su uso sustentable:**

Los nuevos conceptos sobre el desarrollo sostenible y sustentable establecen relaciones fundamentales entre la energía, el agua y el medio ambiente (**Brundtland, 1987**). Si básicamente, la sustentabilidad, lo que propone es satisfacer las necesidades de la actual generación pero sin que por esto se vean sacrificadas las capacidades futuras de las siguientes generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Entonces cobra mayor significado la gestión integral de los recursos antes señalados, por cuanto estos tres elementos, tienen una relación indisoluble para cualquier proceso industrial. Por lo tanto el agua no solo debe ser vista como elemento natural, en cuyo uso, tratamiento y distribución se consume gran cantidad de energía, sino como portador energético por excelencia desde la fase de vapor, entonces puede constituir un factor limitante en el desenvolvimiento económico de las actividades industriales. (**bvsde.ops-oms.org, 2009**).

Bibliografías consultadas reflejan que el 25 % del agua es consumida en diferentes procesos industriales (**Unesco.org, 2008; Planeta Vivo, 2012**) que no sólo tienen un impacto marcado en el consumo de agua fresca sino que además contaminan severamente las diferentes fuentes de abasto con los vertimientos de sus residuales.

A diario, se vierten dos millones de toneladas de desechos en ríos, lagos y arroyos. Un litro de agua residual contamina unos ocho litros de agua dulce. Se estima que hay unos 12,000 km<sup>3</sup> de agua contaminada en el mundo entero, es decir, una cantidad superior a la que contienen en total las diez cuencas fluviales más grandes del mundo en cualquier época del año.

Un informe de Naciones Unidas (**UNESCO.org, 2008**) destaca que la calidad del agua está disminuyendo en muchas regiones del mundo. Las cifras muestran que se está deteriorando rápidamente la diversidad de los ecosistemas y las especies vegetales y animales de agua dulce, con frecuencia, a un ritmo más acelerado que en el caso de los ecosistemas terrestres y marinos. El informe resalta que, para funcionar como es debido, el ciclo hidrológico del que depende la vida en la tierra necesita un medio ambiente saludable.

Todas las señales indican que la crisis se está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva en la gestión de los recursos hídricos, esencialmente inadecuados actualmente. El efecto de esta crisis cae fundamentalmente

sobre la vida cotidiana de las poblaciones pobres, que sufren el peso de las enfermedades relacionadas con el agua. **(Hernández, 2009)**.

En realidad, se trata fundamentalmente de un problema de actitud y de comportamiento, en su mayoría identificables y localizables. Actualmente se poseen los conocimientos y la pericia necesaria para abordarlos y se han elaborado excelentes herramientas conceptuales, tales como la equidad y la noción de sustentabilidad. Sin embargo, la inercia de los líderes y la ausencia de una conciencia clara sobre la magnitud del problema por parte de la población mundial, resultan en un vacío de medidas correctivas oportunas y necesarias y en una incapacidad para infundir a los conceptos de trabajo una resonancia más concreta. Al mismo tiempo, una mejor gestión permitirá hacer frente a la creciente escasez de agua per cápita en muchas partes del mundo en desarrollo. Resolver la crisis del agua es, sin embargo, sólo uno de los diversos desafíos con los que la humanidad se enfrenta en este tercer milenio. Aun así, de todas las crisis, ya sean de orden social o relativo a los recursos naturales con las que se enfrentan los seres humanos, la crisis del agua es la que se encuentra en el corazón mismo de la supervivencia del planeta.

## **1.2 El uso del agua en la refinación de petróleo**

El agua es un componente vital para muchas operaciones industriales, y se utiliza en una amplia gama de procesos. Despojamiento, extracción líquido –líquido, sistemas de enfriamiento y operaciones de lavado son ejemplos de ellos, que están presentes en las refinerías y plantas químicas, donde se utiliza intensivamente el agua. **(Carrión, P. y López, 2003)(cheresources.com, 2010), (González S. E.et al, 2008)**

Si bien los consumos industriales en la refinación son elevados, a su vez se debe destacar que tradicionalmente los costos del agua no son motivos impulsores para que los directivos de las empresas incluyan al agua dentro de sus prioridades, pues dichos costos son insignificantes respecto a los costos de la materia prima, principalmente el petróleo crudo. Así por ejemplo, en Cuba según el diagnóstico de “Política Nacional del Agua” se estima que el agua que se pierde y puede recuperarse cada año (más de 2 500 millones de metros cúbicos), cuesta 730 millones de pesos a un precio de 0,292 pesos/m<sup>3</sup> y se estiman sobre

consumos energéticos por más de 300 GWh (equivalentes a unas 108 mil toneladas de diesel).

En el caso particular de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” apenas en el año 2012 el precio del agua oscilaba los 0,34 CUC/ m<sup>3</sup>, pero a partir del año 2013 se cotiza a 1,55 CUC/ m<sup>3</sup>. Sin embargo, este marcado incremento no sobre pasa 3 % de los costos totales de la empresa. Visto de este modo, entonces se precisa de estrategias para uso racional del agua en las empresas de producción y servicios.

Como ejemplo **PEMEX, 2012** reporta para 2012 un consumo de 4,3 litros de agua/ litro de gasolina producido. Sin embargo este índice de consumo no permite evaluar eficiencia de las unidades de proceso, pues se trata más de un índice económico que de uno tecnológico. Hay que tener en cuenta que la gasolina se produce con la mezcla de fracciones obtenidas de varios procesos. Cabe señalar que la refinación de petróleo más bien es un sistema donde convergen varios procesos unitarios, por consiguiente los indicadores de eficiencia o de eco-eficiencia deben calcularse para cada proceso unitario por separado. En la **tabla 1.1** se muestran los consumos de agua por procesos.

**Tabla 1. 1** Índices de consumo de agua por procesos de refinación de petróleo.  
Fuente:(**Lobelles G.O, 2012**)

Procesos de refinación	Consumo de vapor de agua	Consumo agua enfriamiento	Agua tratada (de alimentar calderas)
Desalación del crudo ( <b>GaryandHandwerk., 2006</b> )	----	3 a 10% de agua/t de crudo	----
Destilación atmosférica ( <b>GPSA. 2004</b> )( <b>Lluch Urpí, José. 2008</b> )	25 a 30 kg /t de crudo	4,0 m <sup>3</sup> /t de crudo	----
Reformación catalítica Semi-regenerativo ( <b>Hernández.P.A. 2003</b> )	----	3,0 m <sup>3</sup> /t de carga	0,02 m <sup>3</sup> /t de carga

Reformación catalítica Regeneración continua (Hernández.P.A. 2003)	----	5,5 m <sup>3</sup> /t de carga	0,03 m <sup>3</sup> /t de carga
Hidrosulfurización de diesel(Lluch Urpí, José. 2008)	60 a 150 kg/t de carga	1,3 a 3 m <sup>3</sup> /t de carga	----
Destilación a vacío (Hernández.P.A. 2003)	Vapor 20 atm= 158 t/año  Vapor 4,5 atm= 49 t/año	196 km <sup>3</sup> /año	166 t/año
Craqueo Catalítico Fluidizado (Hernández.P.A. 2003)	Vapor 10atm = 0,04 t/t de carga	4,5 m <sup>3</sup> /t de carga	0,11 t/t de carga

En la tabla se muestra que el agua juega un papel fundamental dentro de los procesos de refinación de petróleo, pues se aplica en cada uno de ellos en diferentes estados de agregación, así como en cantidades disímiles, según el proceso que corresponda. Sin embargo bajo este enfoque solo se valora el agua por su cantidad.

### 1.3- Indicadores de Economía Ecológica.

Principios y conceptos fundamentales.

#### Concepto

La economía y la ecología se influyeron mutua y frecuentemente a lo largo de sus desarrollos. La Economía Ecológica es un intento de rescatar el análisis de los problemas de manera integrada, como lo fue en los orígenes de la Economía, con el objetivo de comprender y dar soluciones a los problemas más complejos del mundo actual (García., 2011).

#### Desarrollo evolutivo

Surgió durante los años 80 entre un grupo de estudiantes que se dieron cuenta de que las mejoras en la política, la gestión medioambiental y la protección del bienestar de generaciones futuras dependerían de unir estos campos de pensamiento. La Economía

Ecológica no es una teoría basada en presunciones y teorías compartidas. Representa un compromiso entre economistas, ecologistas y otros científicos, para aprender mutuamente, para explorar juntos nuevas pautas de pensamiento, y para facilitar la derivación y la realización de las nuevas políticas económicas y medioambientales (**García., 2011**).

### Visión

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

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

Por otra parte, la pretensión de empujar la economía de las sociedades humanas hacia bases más sostenibles ha sido asumido tratando de extender ahora su objetivo de reflexión y de valoración hacia aquellas partes del proceso físico de producción y gasto que no eran tenidas en cuenta a través de un sistema de gestión que además de ser económico pretende ser sostenible. De ahí que la economía ecológica pueda definirse como “la ciencia de la gestión de la sostenibilidad”. La **Tabla 1.2** muestra las potencialidades de esta visión moderna por sobre la economía ambiental.

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

**Tabla 1. 2.** Diferencias conceptuales y metodológicas entre la economía ecológica y la economía ambiental. **Fuente:** Tomado de (Jeroen C. J. M, 2000).

<b>Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.</b>	<b>Economía Ecológica.</b>
Utiliza una escala óptima.	Utiliza los conceptos de localización óptima y externalidades
Su prioridad es la sostenibilidad	Su prioridad es la eficiencia
Necesidades completas y distribución equitativa	Bienestar óptimo y "eficiencia paretiana"
Desarrollo sostenible, Global y relaciones Norte-Sur	Crecimiento Sostenible
Es pesimista con relación al crecimiento y las Preferencias Individuales	Es optimista con relación al crecimiento y a las opciones "ganar - ganar"
Co-evolución impredecible	Optimización determinística y bienestar intertemporal.
Maneja una concepción del tiempo histórico irreversible	Maneja una concepción del tiempo cronológico, lineal y reversible.
Ciencia completa, integral y descriptiva	Ciencia mono disciplinaria, parcial y analítica
Es concreta y específica	Es abstracta y general
Utiliza indicadores Físicos y biológicos	Utiliza indicadores monetarios
Utiliza el análisis de sistemas	Utiliza la teoría de las externalidades y la valoración económica.
Utiliza la evaluación multidimensional	Utiliza el análisis costo-beneficio y costo-efectividad
Integra modelos con relaciones causa-efecto.	Aplica modelos de equilibrio general incluyendo

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

### **1.3.1 Análisis del ciclo de vida.**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) , de acuerdo a la Norma (**NC-ISO 14 040: 1999**), es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

#### Otras definiciones.

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

- ✓ **Iglesias, 2005**: Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.
- ✓ **Chacón, 2008**: El ACV, en teoría, es un método analítico que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.
- ✓ **Rieradevall, 2009**: El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción,

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

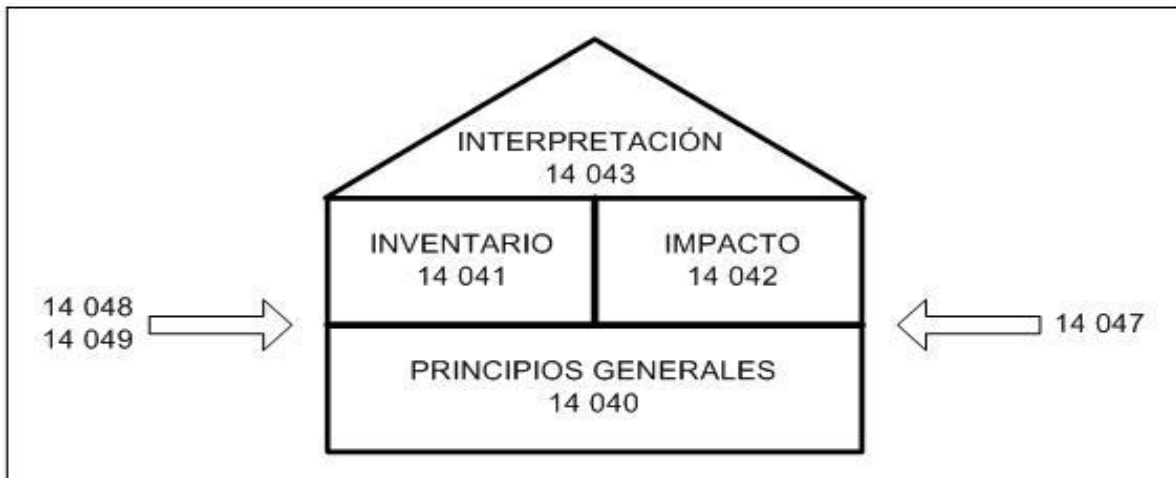
Puede apreciarse que existe concordancia entre los diferentes autores en que el ACV es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales de un producto, así como sus impactos, usando como herramienta un inventario de entradas y salidas, para evaluar los impactos potenciales que tiene este producto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

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

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

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

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que están representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043 (ver **Figura 1.1**).



**Figura 1.1** Estructura del ACV. Fuente: (Romero R., 2004)

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

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

El Análisis del Ciclo de Vida comprende cuatro etapas: (Iglesias, 2005)

1. Definición y alcance de los objetivos

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

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

El ACV de un producto es una serie de procesos y sistemas conectados por su finalidad común de creación del producto. El análisis del inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son

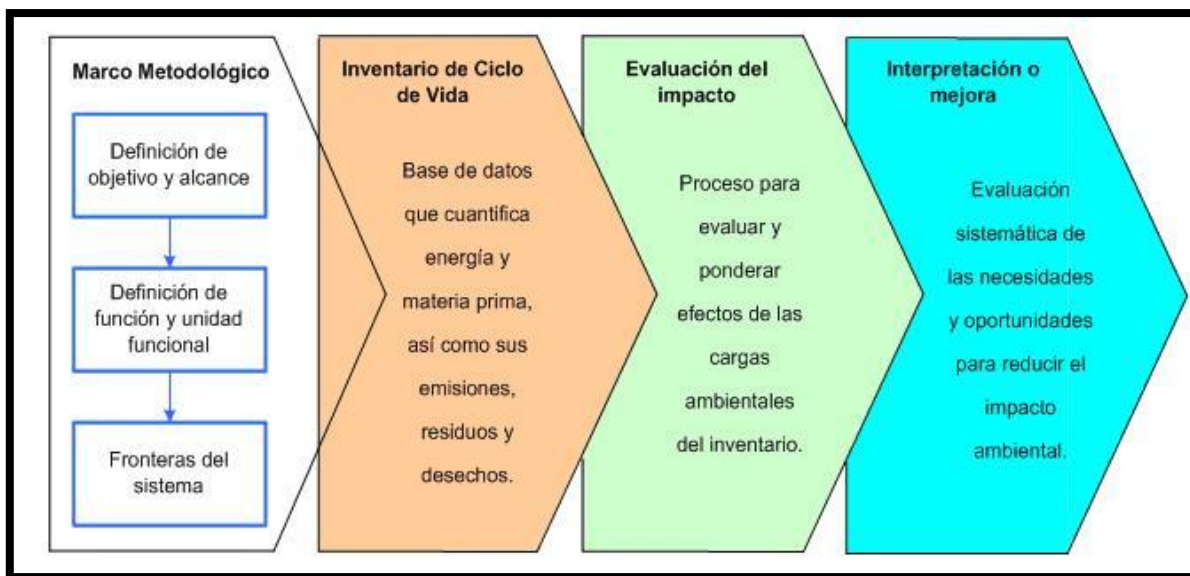
extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.

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

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

4. La interpretación de resultados

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



**Figura 1.2.** Etapas del análisis del ciclo de vida. **Fuente:(Suppen, 2007)**

El ACV no sigue una metodología fija, no hay una única manera de realizar una evaluación de este tipo. Al contrario, tiene varias alternativas, y por lo tanto se debe estar familiarizado con los métodos científicos de investigación y con la evaluación del sentido común de las cuestiones complejas antes de realizar este tipo de estudio.

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, como se esquematiza en la figura siguiente; por lo que a medida

que se obtienen resultados, se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo cual exige el recálculo. Este hecho, más la gran cantidad de datos históricos que se deben poseer para realizar un ACV, demuestra la necesidad de contar con un instrumento informático.

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

### Importancia de la herramienta de ACV

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

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

- ✓ Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo cantidades de energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.
- ✓ Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El ACV puede aplicarse según (**García., 2011**) en:

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

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

- La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV pueden ser subjetivas. Por ejemplo al establecer los límites del sistema, al seleccionar las fuentes de datos y las categorías de impacto a analizar, etc.
- Los modelos utilizados para el análisis de inventario o para evaluar los impactos ambientales están limitados por las hipótesis y pueden no estar disponibles para todos los impactos potenciales o aplicaciones.
- Los resultados de un ACV orientados a ámbitos globales o regionales pueden no ser apropiados para aplicaciones locales, es decir, las condiciones locales pueden no estar adecuadamente representadas por las condiciones globales o regionales.

- La precisión de los estudios de ACV puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos.
- La ausencia de dimensiones espaciales y temporales en los datos del inventario utilizado para la valoración del impacto introduce incertidumbre en los resultados de dicho impacto.

A pesar de que el Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que se está desarrollando rápidamente, aún requiere de mucho trabajo para alcanzar el consenso y superar las limitaciones que ahora presenta, las cuales se relacionan principalmente con la incertidumbre y la subjetividad, tales como:

- En los datos. Porque hay mucha variación entre las diferentes bases de datos, lo cual puede deberse a errores, a diferentes procedimientos de reparto o a diferentes niveles de tecnología, existentes en el mismo momento en el mismo país (**Finnveden, 2000**).
- En la metodología usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto. Esto se debe a que diferentes elecciones metodológicas serán más o menos compatibles con los diferentes marcos y culturas, permitiendo diferentes elecciones de métodos y herramientas por diferentes personas. (**Finnveden, 2000**).
- En la descripción del sistema. Porque los resultados dependen de los aspectos claves que rodean al sistema y que son fuente de incertidumbre (**Finnveden, 2000**), por ejemplo: la cantidad de combustible utilizado por transporte privado para llevar materiales a centros de acopio de residuos.
- En los datos usados como referencia para la normalización. Ya que no siempre existen inventarios de emisiones ni metas establecidas para las áreas y períodos de referencia.

Por otra parte, se reconoce (**Finnveden, 1996, Finnveden et al., 2000**) que la valoración involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente ya que al asignar importancias (pesos) a las categorías de impacto el valor asignado se ve influido por el grado de conocimiento de un problema específico, por la influencia de los medios de comunicación en el criterio de las personas e incluso el “miedo” a no dar una ponderación correcta hace que la persona cuestionada se base en opiniones de otros expertos. Diversos autores (**Hofstetter, 1998, Sonnemann et al., M. Shuhmacher and**

**Castells, 2003)** coinciden en la importancia de la perspectiva socio-cultural para analizar los métodos y resultados del ACV.

### **Soporte informático aplicado a la herramienta.**

Debido a la gran cantidad de datos que hay que manejar para realizar un ACV, es muy recomendable poder disponer de una herramienta informática que permita afrontar de forma eficiente un estudio de un ACV. Para esto actualmente existe un buen número de esos programas informáticos en el mercado que permiten realizar estudios de ACV con distinto grado de detalle.

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

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

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

Una vez descrito el apoyo informático del entorno para un ACV la herramienta a utilizar en la investigación será SimaPro, (**Goedkoop, M. & Oele, M, 2008**) paquete informático cuyas últimas versiones de este programa se han actualizado con las nuevas bases de datos (BUWAL 250), e incluyen además nuevos eco indicadores. Se puede realizar un ACV completo con múltiples métodos para la evaluación de impactos. La base de datos de SimaPro es una de las que más variedad presenta. Los datos están completamente referenciados con su fuente, incluso con descripciones cualitativas.

### **1.3.2- Huella ecológica.**

La Huella Ecológica (HE) es un indicador de sostenibilidad de índice único, desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, que mide todos los impactos que produce una población, expresados en hectáreas de ecosistemas o “naturaleza”. Utilizada habitualmente para regiones o países, en anteriores trabajos hemos constatado que dicho indicador podía utilizarse también en las empresas y en cualquier tipo de organización (**García., 2011**).

#### **Definiciones.**

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

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

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

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

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

- La cantidad de hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.
- Hectáreas necesarias para proporcionar el alimento vegetal necesario.
- Superficie necesaria para pastos que alimenten al ganado.
- Superficie marina necesaria para producir el pescado.
- Hectáreas de bosque necesarias para asumir el CO<sub>2</sub> que provoca nuestro consumo energético y para la producción de madera, papel y leña.

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

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

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

los tomadores de decisiones, siempre y cuando tengan en cuenta los problemas suscitados por las interrogantes referentes a la sustentabilidad.

### **Importancia de la aplicación de esta herramienta.**

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

- **General:** Incluye una amplia variedad de impactos humanos y usos de recursos naturales.
- **Confiable:** Utiliza datos oficiales.
- **Concisa y detallada:** Presenta los resultados en una cifra sencilla, con la posibilidad de subdividir el resultado total en sus componentes.
- **Conservadora:** Excluye los datos especulativos con la finalidad de no exagerar la situación ecológica presente.
- **Flexible:** Permite analizar huellas desde el nivel individual hasta el nivel mundial, para aplicaciones económicas, políticas y sociales.

### Ventajas:

- La presentación es simple y reducida. En lugar de otros indicadores medioambientales que utilizan unidades de medida difíciles de percibir como toneladas, microgramos en un metro cúbico, etc., la huella ecológica se contabiliza en hectáreas de terreno. Una hectárea equivale, aproximadamente, a la superficie de un campo de fútbol.
- Cuando comparamos la tierra ecológicamente productiva que ocupamos con la que nos corresponde, se ponen de manifiesto las desigualdades existentes.
- La huella ecológica evidencia la dependencia de la naturaleza y los inconvenientes del actual concepto de desarrollo.

- La huella ecológica refleja la influencia de cada individuo en los problemas medioambientales.
- La huella ecológica aporta información relevante desde el punto de vista del desarrollo sostenible, tal como el uso de la tierra. Así se pone de manifiesto que los ciudadanos dependen de los productos rurales.
- La huella es un indicador que, poco o muy complicado de calcular, resume en un solo dato la intensidad del impacto que la ciudad provoca, fuera de sus límites administrativos.

Desventajas:

- La huella ecológica es una herramienta que resume una gran variedad de impactos (consumo de energía no renovable, sobreexplotación de los recursos naturales, etc.). Por otro lado, se descuidan otros impactos más difíciles de cuantificar, pero no menos importantes: las emisiones atmosféricas (sólo se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub>), el mantenimiento de los ciclos del agua, la disminución de la capa de ozono o la contaminación de los suelos.
- No es suficiente el 12 % considerado como el espacio necesario para preservar el resto de las especies animales. Por lo tanto, la huella subestima el impacto del hombre sobre el entorno.
- Los recursos naturales no renovables no son tenidos en cuenta, excepto la energía fósil.
- Se asume que la agricultura y la silvicultura se desarrollan de forma sostenible.
- Se utilizan conceptos complicados de entender como kg. de lana/ha de terreno, área para la asimilación de CO<sub>2</sub>.
- La huella ecológica requiere un conjunto muy completo de datos, que no siempre están disponibles.

**1.3.3- Huella ecológica corporativa o empresarial.**

La huella ecológica corporativa permite establecer objetivos claros y concretos de sostenibilidad ambiental; permite la integración de indicadores, ciclo de vida y eco-

etiquetado, en una única herramienta; y aporta un nuevo método de decisión política para luchar, de forma más justa, contra el cambio climático. (Doménech Quesada, 2009)

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

La gestión ambiental en el ámbito de la empresa ha avanzado en los últimos años, surgiendo diferentes sistemas que tratan de incorporar cuestiones ambientales a la dirección y la organización. Los denominados *European Eco-Management and Audit Scheme* (EMAS), *International Standard ISO 14000 Series* o el marco de análisis de la *Global Report Initiative* (GRI) y su guía para la elaboración de memorias de sustentabilidad suponen avances de este sentido. Sin embargo, cuentan con el hándicap de que tienden a centrarse en impactos individuales sin que, por el momento, haya emergido un mecanismo que, empleando un enfoque holístico, sintetice la situación ambiental de las organizaciones y pueda ser empleada para comunicarse con los accionistas, con grupos de interés y con la sociedad en general.

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

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

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

Con este fin, para este indicador se señalan las siguientes virtudes:

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

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

Es más, diferentes metodologías que se vienen aplicando para el cálculo de la huella ecológica corporativa permiten expresarla no solo en términos de hectáreas (o Gha) sino en términos de emisiones, principalmente de CO<sub>2</sub> surgiendo lo que algunos autores denominan Huella del carbono.

### **Huella del Carbono.**

La Huella del Carbono se puede definir como “la demanda de biocapacidad necesaria para secuestrar, mediante fotosíntesis las emisiones de CO<sub>2</sub> que proceden de la utilización de combustibles fósiles” (**GFN, 2007**). El empleo de este indicador a las empresas comienza el año 2006, aunque en el año 2004 Doménech ya calculaba la Huella del Carbono Corporativo pero sin ponerle ese nombre.

Este enfoque implica tener en cuenta la capacidad de absorber CO<sub>2</sub> por los distintos tipos de superficie. Aunque en este trabajo se calculará la huella del carbono proporcionándose el resultado en toneladas de CO<sub>2</sub> que se producen por la actividad empresarial objeto estudio.

Esta adaptación en la que se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas por la organización, son notablemente atractivas para la empresa, sobre todo considerando las exigencias que deben afrontar en el marco del Protocolo de Kioto.

Su expresión en toneladas de CO<sub>2</sub> por toneladas de producto permite el cálculo de la huella de carbono de los productos comercializados, agregando dichas huellas generadas por las empresas participantes en cada una de las fases de su ciclo de vida, interacción combinada de las metodologías que establece indicadores ambientales con mayor robustez.

#### **1.3.4- Huella Hídrica.**

El entendimiento del indicador Huella Hídrica abarca la conceptualización más amplia del consumo de agua en un país o nación (**García., 2011**).

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

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

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

#### **1.3.5- Huella Hídrica Corporativa.**

La Huella Hídrica de la Producción es una medida del agua utilizada en diferentes países, así como un indicador de la demanda humana de los recursos hídricos (**Chapagain, A.K. y Hoekstra, A.Y., 2008**).

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

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

➤ El agua es esencial para la existencia de algunos procesos y está íntimamente relacionada con múltiples aspectos de la supervivencia económica de los mismos, así como a necesidades y actividades del ser humano. El uso de la huella hídrica como indicador permite:

- Reflejar el consumo real de agua.
- Desarrollar estrategias dirigidas a reducir la intensidad del consumo de agua.
- Realizar evaluaciones más exactas del impacto sobre el medio ambiente.
- Definir políticas que permitan reorientar las pautas de consumo hacia bienes y servicios que impliquen un menor consumo de agua.
- Como indicador agregado, muestra la demanda de agua total de un país, una medida aproximada del impacto del consumo humano en el medioambiente acuático.
- Caracterizar el uso de agua en relación con patrones y volúmenes de consumo de la población.

## **CAPÍTULO II “PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS”.**

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

Se exponen cada una de las fases y etapas de las metodologías a desarrollar en el objeto de estudio.

### **2.1- Descripción del objeto de estudio.**

La elección de la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos como objeto de estudio se basa en que se trata de una entidad que genera grandes residuos y consume gran cantidad de materias primas, materiales y recursos humanos, aunque esto no significa que solo se puede aplicar dicha metodología a empresas grandes, sino también a pequeñas. Un segundo elemento que se debe considerar es que está dispuesta a tener un sistema de gestión ambiental (SGA) según Masanet (**Masanet, 2000**) ya que el sistema de información ambiental generado por el SGA es imprescindible para obtener resultados altamente confiables.

La refinería de petróleo Camilo Cienfuegos, ubicada en la finca Carolina de la ciudad de Cienfuegos, es una de las grandes inversiones que se iniciaron en la década del 80 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética. Su etapa de proyección, micro localización y movimiento de tierra comenzó en el período comprendido de 1977 a 1983. Posteriormente, su construcción y montaje se llevó a cabo en el período de 1983 hasta 1990. En enero de 1991, se realizan las primeras pruebas con carga y se obtuvieron las primeras producciones. A finales de 1993 se concluyó el oleoducto que la enlaza directamente con la termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes. Después de un largo período de inactividad, el 10 de abril del 2006 se constituye la empresa PDV-CUPET, S.A. refinería —Camilo Cienfuegos||. Contrato capital de los accionistas: 51 % Comercial Cupet SA y 49 % PDVSA Cuba SA. La denominación de la empresa ha cambiado a raíz de la creación de la empresa CUVENPETROL SA, la cual tiene como misión dirigir todos los proyectos de inversión que se desarrollan en el país en el marco del ALBA (Alternativa

Bolivariana para las América). La denominación oficial de esta empresa actualmente es: empresa CUVENPETROL S.A. unidad de negocios refinería de Cienfuegos.

# MACROLOCALIZACION

**CUBA**  
**Provincia:**  
Cienfuegos  
**Municipio:**  
Cienfuegos  
**Ciudad:**  
Cienfuegos

**Ubicada en:**  
**Finca Carolina**  
**Zona Industrial No. 2**



The map shows the outline of Cuba with Cienfuegos province highlighted in white. A zoomed-in map of Cienfuegos province is shown in grey, with municipalities labeled: Aguada, Roda, Laias, Abreu, Palmira, Cruces, and Cumanayagua. A red-shaded area within the Palmira municipality indicates the location of the refinery, marked with an orange dot.



The aerial view shows a large industrial complex with numerous buildings, pipes, and storage tanks. The tall chimney is a prominent feature, with the number '1027' visible on its side. The refinery is situated in an open area with some greenery in the foreground.

Las principales secciones de la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos son:

- Sección 100 (Destilación atmosférica).
- Sección 200 (Reformación catalítica).
- Sección 300 (Hidrofinación de diesel).
- Sección 400 (Fraccionamiento de gases).
- Sección 600 (Caldera recuperadora).
- Planta MEROX.
- Sección de MAP (movimiento de crudos y productos)
- Sección de Procesos auxiliares
- Sección de PTR (planta de tratamiento de residuales)

**La sección 100** es la sección principal de la planta combinada N°1 de la refinería de Cienfuegos, pues en ella ocurre el proceso primario y determinante en cualquier refinería, la destilación atmosférica y que se realiza en dos etapas: la desalación eléctrica y la destilación atmosférica.

#### **Sección 200. Reformación catalítica.**

Proveniente de la sección 100, la fracción 70-180 °c es alimentada a la etapa de hidrofinación de nafta primero y reformación de nafta después con el objetivo de obtener gasolina de 83 y 90 octanos para la comercialización, además como producto de tope de la torre T-202 se obtiene GLP (gas licuado de petróleo). En este caso por el tambor de reflujo de tope D-201, se drena agua residual con sulfhídrico. Aquí el consumo de agua es menor que en la sección 100.

#### **Sección 300 (Hidrofinación de diesel).**

Proveniente de la sección 100, la fracción 180-350 °C es alimentada a la hidrofinadora de diesel, torres T-301 y T-302 donde ocurre primero un proceso de absorción con una solución de amina y después un proceso de desorción para eliminar del diesel el sulfuro de hidrógeno. Requisito indispensable para la comercialización del producto diesel. En esta sección existe consumo de agua y emisión de residuales.

### **Sección 400 (Fraccionamiento de gases).**

Proveniente de la sección 100, la fracción Pie-70 °C inestable y la nafta liviana inestable de la sección 200 son alimentadas a la torre T-401 con el objetivo de fraccionar los gases para obtener GLP. Por el tope de la torre salen los gases hasta los enfriadores por aire y de allí al tambor de reflujo D-401, desde este tambor se alimenta el reflujo para mantener la temperatura del tope y el exceso se envía como GLP al patio de tanques.

### **Sección 600 (Caldera recuperadora).**

Esta sección tiene como objetivo producir vapor de agua para el proceso de destilación, aprovechando el calor residual de los gases de escape de los hornos del proceso. Para ello requiere del consumo de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de agua en la sección de generación de vapor o procesos auxiliares. Como consecuencia de las purgas de este proceso se generan residuales y no son aprovechados los condensados, con la correspondiente pérdida de químicos y energía.

### **Planta MEROX.**

En esta planta es procesado el keroseno para la producción de combustible para aviación, el cual requiere la utilización de un proceso en etapas continuas de tratamiento con el objetivo de satisfacer en particular las especificaciones de acidez, contenido de mercaptano y de otros parámetros entre los cuales está la presencia de agua libre y de los sólidos en suspensión

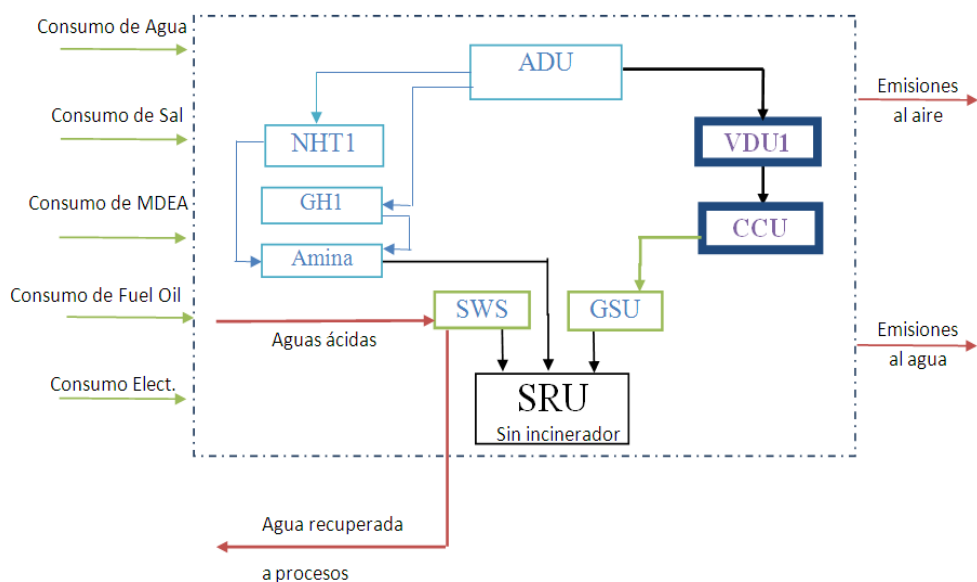
### **Sección de procesos auxiliares.**

En esta sección se centra el mayor consumidor individual de la refinería, tanto de energía como de agua. Para su proceso el volumen de agua a consumir es muy elevado y está separado por procesos, pues primero existe una planta de tratamiento de agua para alimentar las calderas, con su correspondiente consumo de químicos y energía. Se debe destacar que esta planta prepara el agua para suministrar a la caldera recuperadora para la producción de vapor y además para la preparación de otras soluciones que son usadas en el proceso de refinación, tales como sosa cáustica, solución de aminas, desemulsionantes, preparación de inhibidores de la corrosión, etc.

## Sección de PTR (planta de tratamiento de residuales).

En esta sección se recibe toda el agua que entra a la refinería, así como la que recircula por los dos sistemas de enfriamiento. Además es la encargada de atender y tratar todos los residuales generados en los diferentes procesos de la refinería. Tiene algún consumo de agua desde su fase de vapor, aunque no es significativo. Sobre esta planta recaen los mayores gastos medioambientales.

Para la implementación del Análisis de Ciclo de Vida del agua en los procesos de refinación se definieron 6 escenarios diferentes dado por las variantes mostradas en la **figura.2.1**.



**Figura.2.1** Diagrama de variantes definidos por procesos. Fuente: Elaboración propia.

Legenda y simbología:	
<u>ADU</u> : Unidad Destilación Atmosférica.	
<u>NHT1</u> : Unidad Hidrofinación de Nafta.	
<u>GH1</u> : Unidad Hidrofinación de Diesel.	
<u>VDU1</u> : Unidad Destilación al Vacío.	
<u>CCU</u> : Unidad Craqueo Catalítico.	
<u>SWS</u> : Unidad Despojadora aguas ácidas	
<u>GSU</u> : Unidad Regeneradora de amina.	
<u>SRU</u> : Unidad Recuperadora de azufre.	
Variante 1:	
Variante 2:	+
Variante 3:	+  +  Anexo N.º 4
Variante 4:	+  +  +

Como se puede observar solo se muestran 4 variantes las restantes serian:

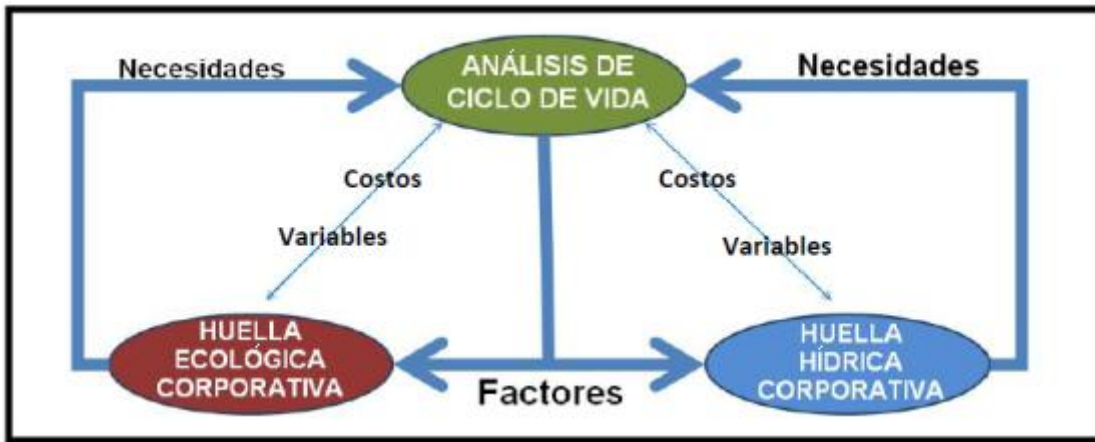
Variante 5: Esta comprende todas las plantas anteriores más un incinerador como tratamiento de gas de cola para la SRU.

Variante 6: En esta se mantienen todas las anteriores solo se sustituye el incinerador por un reactor de reducción para tratar los gases de cola del SRU. El H<sub>2</sub>S producido en el reactor de reducción se recircula nuevamente al GSU y después se alimenta al SRU, además debido a que se forman nuevas aguas acidas estas se recirculan a la SWS y de ahí se alimenta nuevamente al SRU, con la recirculación de ambas corrientes aumenta así la eficiencia del recobrado. **Anexo N<sup>o</sup>. 5**

## **2.2- Metodologías utilizadas.**

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

Los consumos a los que se supedita la realización del ACV dependen de los condicionantes señalados anteriormente y también de la existencia de información sobre emisiones asociadas a ellos en la base de datos del programa informático utilizado. Asimismo ya que la Huella Ecológica se deriva de los resultados obtenidos por aplicación del ACV, como ya se ha señalado, estos análisis también se reducirán a los consumos que han podido ser tratados con ACV. **Ver figura 2.2.**



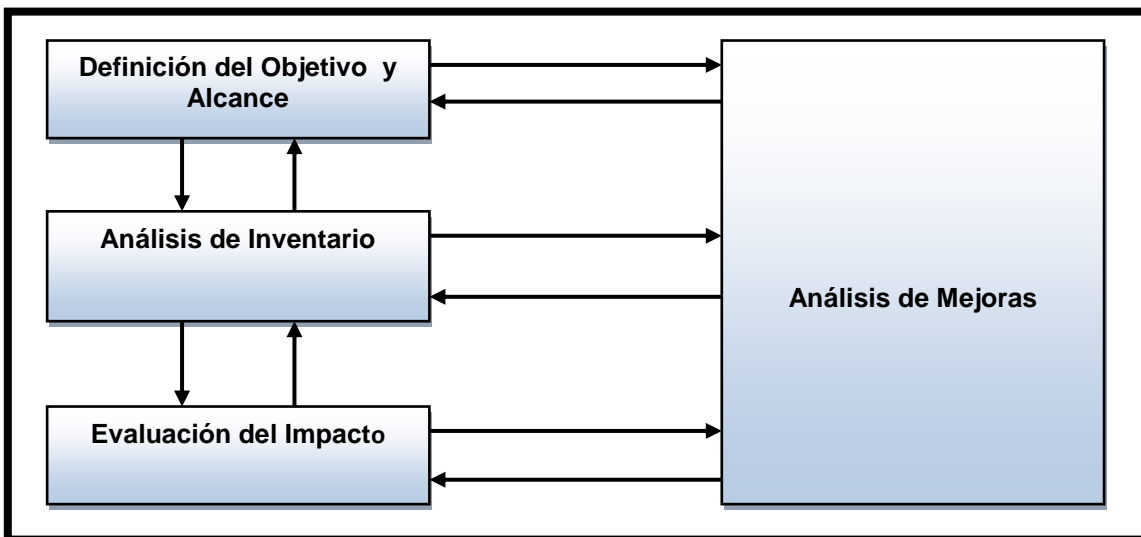
**Figura 2.2.** Interrelación entre las metodologías del Análisis del Ciclo de Vida, la Huella Ecológica Corporativa y la Huella Hídrica Corporativa. **Fuente: (García, 2011)**

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

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

### 2.2.1- Metodología de análisis de ciclo de vida.

El ACV es un proceso que puede dividirse en 4 etapas, definición del objetivo y alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida y análisis de mejoras tal y como se muestra en la **figura 2.3**.



**Figura 2.3.**Las Etapas de un Análisis del Ciclo de Vida. **Fuente:** NC-ISO 14040.

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

Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.

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

- Definir el objetivo del estudio:

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

- Definir el alcance del estudio:

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

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

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

### **Definir función y unidad funcional.**

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

Una unidad funcional nos da una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema (producto), su propósito principal es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas, con esto se logra la comparabilidad de los resultados asegurando de esta forma que al analizar distintos sistemas las comparaciones se hagan sobre una base común.

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

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

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

### **Definir los límites del sistema.**

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

- La aplicación prevista del estudio que se va a realizar.

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

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

### **Requisitos de calidad de los datos.**

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

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

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

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

Etapa 2: Análisis de Inventario.

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

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

### **Recolectar los datos.**

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

unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos. (**García, 2011**).

### **Construir los diagramas de procesos:**

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

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

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

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

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas, el cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.
- Productos, en el caso que se trabaje con varios de ellos se deben realizar procedimientos de asignación.

- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales, estas deben ser asignadas a los diferentes productos de acuerdo a procedimientos claramente establecidos.

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

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

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

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden también ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### **Procesar los datos.**

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

Las hipótesis deben ser claramente establecidas y justificadas.

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

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

Todos los procedimientos de cálculo deben ser documentados explícitamente.

Etapa 3: Evaluación del impacto.

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

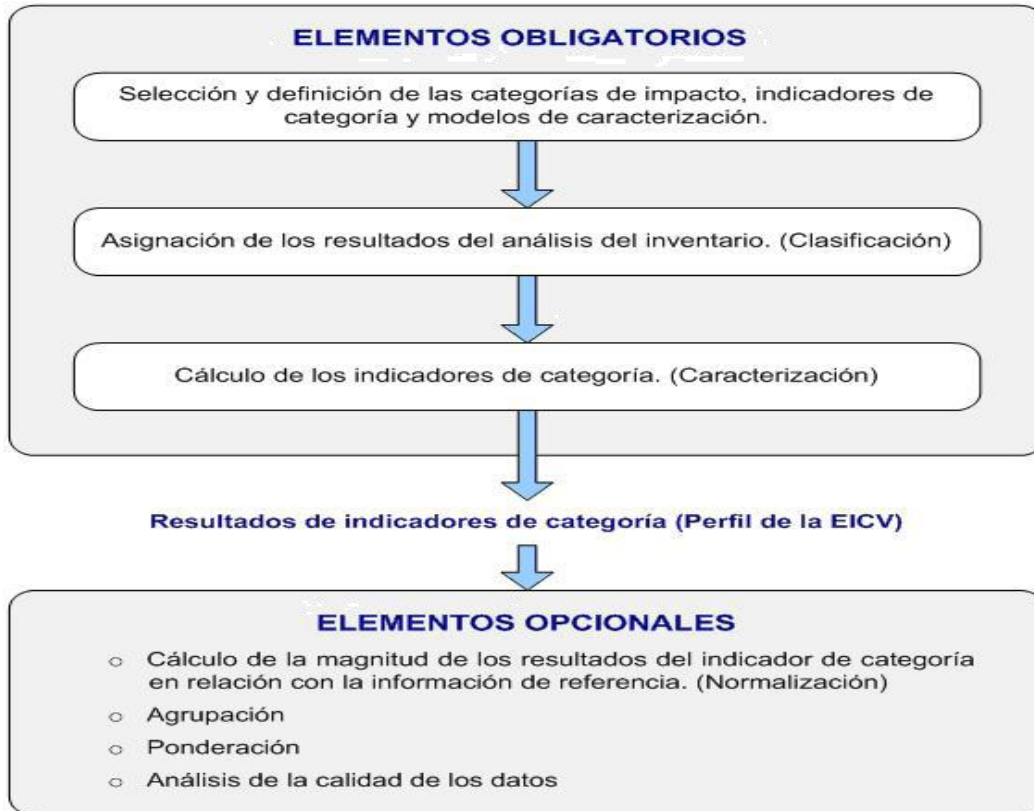
La EICV, como parte del ACV global puede, por ejemplo, ser usada según la NC ISO 14042:2001 para:

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

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

La EICV consta con elementos obligatorios que son descritos por la norma NC-ISO 14042:2001 estos elementos obligatorios incluyen la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización, asignación de los resultados del análisis del inventario (Clasificación) y los cálculo de los indicadores de categoría (Caracterización), como se puede observar en la **Figura 2.4** existen elementos

de análisis opcionales como son el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría en relación con la información de referencia (Normalización), agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos.



**Figura 2.4.**Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. **Fuente:** (NC ISO 14 042: 2001).

### Métodos para evaluar el impacto ambiental.

Existen diversos métodos de evaluar los impactos ambientales de un producto durante el transcurso de su vida, desde que es materia prima hasta su deposición final dependiendo de los límites establecidos por la investigación. En el anexo No.2 se muestran los más utilizados en la actualidad.

Para la investigación en cuestión se utilizara el método **ReCiPe** debido a que este se ajusta perfectamente a los análisis de ciclo de vida con relación al agua y posee una base de datos actualizados que se ajustan perfectamente a las condiciones del territorio:

ReCiPe 2008 es un método para el Análisis del Impacto en el Ciclo de Vida que provee una receta para calcular indicadores de categoría de impacto del Ciclo de Vida. Las siglas

representan las iniciales de los institutos contribuidores principales para el proyecto y colaboradores muy importantes en su diseño: RIVM y la Universidad de Radboud, CML, y consultores de PRÉ.

Este método se construye sobre la base de Eco-indicador 99 y CML Handbook on LCA. Cuenta con 18 categorías de impacto como son el cambio climático, la reducción de la capa de Ozono, la reducción de agua, de recursos minerales, de combustible fósil etc. y tres categorías de daño: el daño a la salud humana, daño a la diversidad del ecosistema, y daño para la disponibilidad de recurso (Goedkoop et al., 2009).

La metodología ReCiPe 2008 intenta armonizar dos métodos de evaluación basados en indicadores de punto intermedio y de punto final, estos son:

1. El método propuesto por el Manual de Análisis de Ciclo de Vida (Guinée. et al., 2002); referido a la aproximación a través de puntos intermedios.
2. El método Eco-Indicator 99, el cual emplea puntos finales.

ReCiPe Comprende 18 categorías de impacto las cuales están asociadas a los impactos de puntos intermedios, pero no todas lo están a las categorías de Daños o puntos finales, como se puede apreciar en la Figura 2.5.

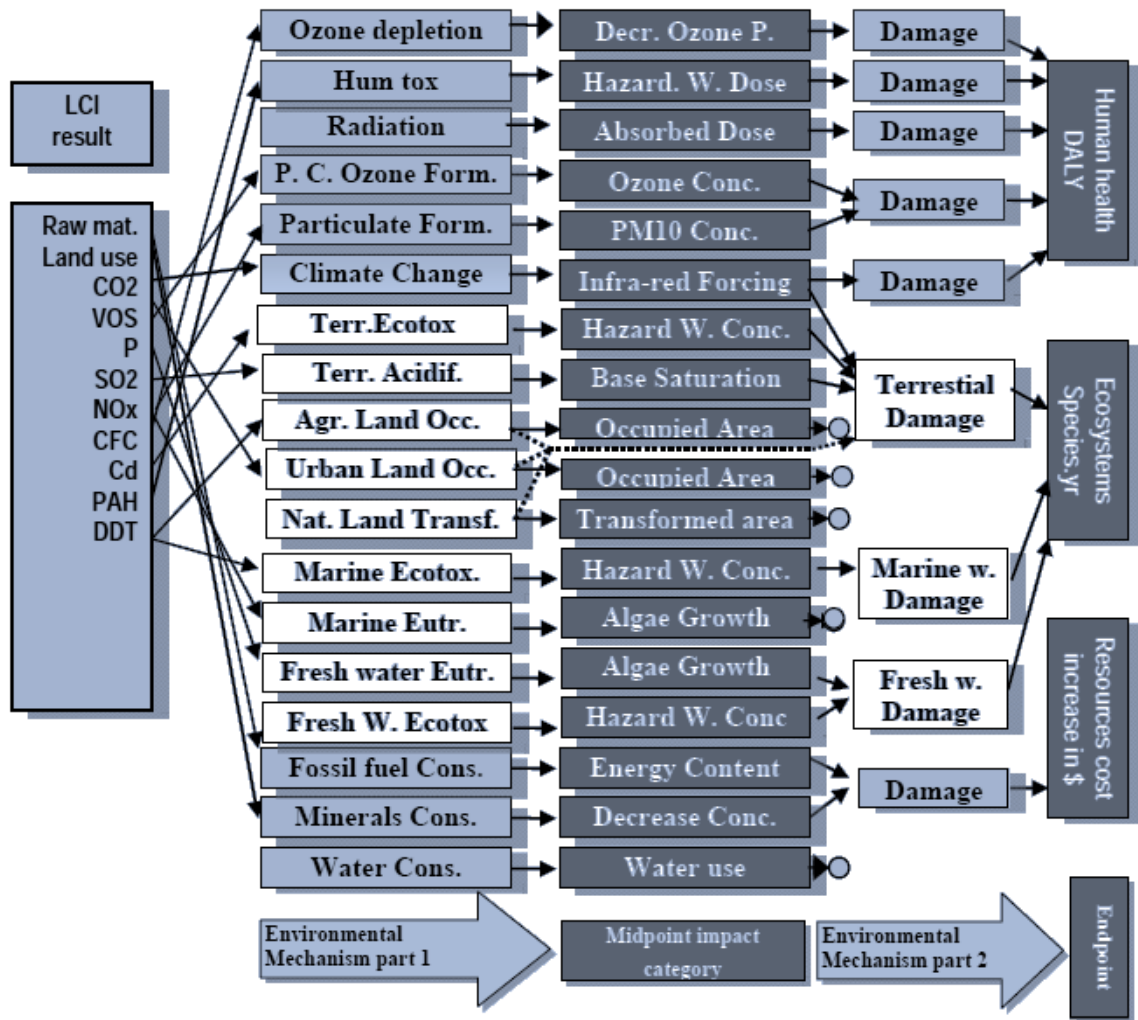


Figura 1.5: Relación de las categorías de Impacto y de Daño de ReCiPé. Fuente (Goedkoop et al., 2009)

### Simapro

Herramienta completa de Análisis del Ciclo de Vida. Permite describir un producto complejo como un grupo de materiales y procesos que se relacionan entre sí. De esta manera es posible realizar Análisis del Ciclo de Vida simplificados, con datos medios, o estudios exhaustivos con datos específicos. Permite evaluar impactos ambientales significativos (efecto invernadero,...) mediante diversas metodologías o con un valor ambiental global. **Ver Anexo N.º 1**

Posee una base de datos muy completa que incluye productos y procesos. Actualmente incorpora los valores de los eco-indicador 99.

**Aplicación:** Análisis y comparación de productos y procesos en base a Análisis de Ciclo de Vida.

**Manejo:** Puede resultar complejo. Requiere conocimientos de la herramienta de Análisis del Ciclo de Vida.

**Usuarios:** Departamentos de Diseño o I+D de una empresa. Requiere conocimientos más complejos de la metodología de análisis para llegar a resultados óptimos.

**Adaptabilidad:** Permite al usuario incluir nuevas metodologías de evaluación o adaptar las existentes, así como incluir o modificar datos de productos o procesos según las necesidades.

**Resultados:** Los resultados permiten evaluar un producto o proceso, identificando las etapas que contribuyen a cada impacto. También es posible comparar diferentes productos entre sí.

La exactitud y veracidad de los resultados depende en gran medida de los datos utilizados para el estudio, ya sean datos medios o de los datos utilizados para el estudio, ya sean datos medios o valores adaptados a la realidad del producto, permite la trazabilidad de los resultados, facilitando la interpretación.

Etapas 4: Análisis de mejoras.

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

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

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario

del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

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

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

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

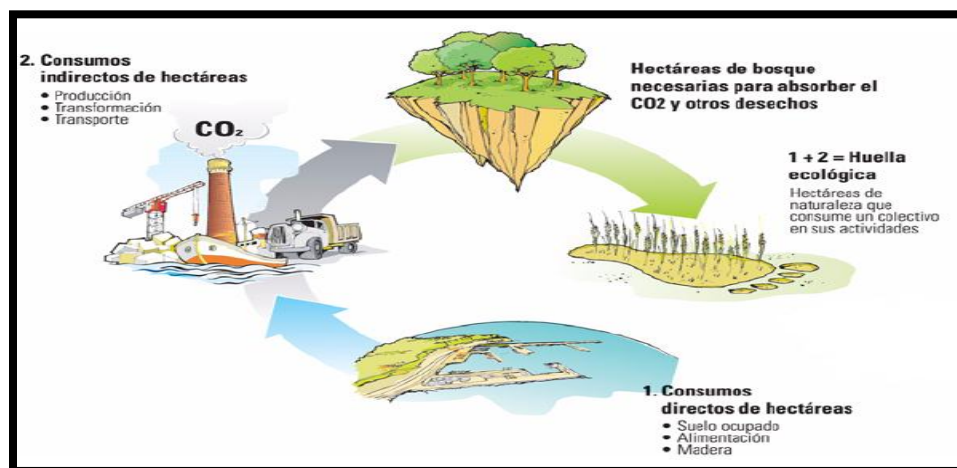
I) Reporte y análisis de mejoras.

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

### **2.2.2 Descripción de la metodología de cálculo de la huella ecológica corporativa.**

La huella ecológica transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar, suelo construido o absorción de CO<sub>2</sub>) dándonos una idea clara y precisa del impacto de nuestras actividades sobre el ecosistema. Aunque el consumo suele referirse al ciudadano como consumidor final, la huella ecológica

es perfectamente aplicable a la empresa, y a cualquier tipo de organización (como personas jurídicas), ya que éstas también son consumidoras de bienes y servicios. Ver figura 2.5.



**Figura 2.6.** La huella ecológica aplicada al sector industrial. **Fuente:** (Doménech Quesada, 2006).

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

#### **Definición de objetivos y alcance.**

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

#### **Cálculo de la huella ecológica.**

El cálculo de La Huella Ecológica se hace a partir de la suma de las sub-huellas valoradas en el proceso de ciclo de vida de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de Refinación. Estas necesidades para el caso del proceso objeto de estudio se pueden dividir en:

- Sub-huella energética (SH<sub>ENERGIA</sub>).
- Sub-huella de los insumos (SH<sub>INSUMOS</sub>).
- Sub-huella de superficie construida (SH<sub>SUPFCONST</sub>).

Cálculo de la sub-huella energética.

El cálculo de la sub-huella energía, se desglosa en el consumo de todos los portadores energéticos que lleva el ciclo de vida de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de refinación de la Refinería Camilo Cienfuegos, con los límites que fueron definidos. Al determinarse los mismos, se llevan a toneladas equivalentes a fin de unificar la unidad de energía y se determina la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Subhuella energía (ha)} = \sum_{i=1}^n \frac{Cx \times Fx}{FC}$$

Dónde:

*Cx* - Consumo de los diferentes portadores energéticos en el año 2013.

*Fx* - Factor de conversión del portador energético a toneladas equivalentes.

*FC* - Factor de conversión de energía a ha absorbidas de CO<sub>2</sub> (1ha - 100Gj).

\*Todos los datos de energía tomados durante el ciclo de vida del agua en los procesos de refinación están en función de 1 m<sup>3</sup> del mismo.

\*Durante el estudio usó la recomendación de Juan Luís Doménech Quesada, donde plantea que la emisión de CO<sub>2</sub> de 100 Gj de energía son absorbidas por 1ha de superficie productiva en 1 año.

**Cálculo de la subhuella superficie construida.**

$$\text{Subhuella insumos (ha)} = \sum_{i=1}^n \frac{Ex \times Gx}{FC}$$

Donde:

*Ex* - Cantidad de insumos necesarios para 1 m<sup>3</sup>.

*Gx* - Intensidad energética del insumo según Doménech Quesada (Gj/m<sup>3</sup>). **Anexo No. 13**

\*El insumo considerado es:

✓ NaCl

✓ MDEA.

### **Cálculo de la subhuella superficie construida.**

Esta huella se calcula a partir de la sumatoria del área que tienen todos los procesos productivos enunciados en el ciclo de vida del proceso productivo de agua potable. Su expresión quedaría:

$$\text{Subhuella superficie construida (ha)} = \sum_{i=1}^n \frac{Ax}{M3}$$

Donde:

AX- Distintas superficies construidas (ha).

M3- Metros cúbicos de agua consumida en 1 año.

### **Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa.**

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

$$\text{Huella Ecológica Corporativa (ha/MW.h/año)} = (\text{SH}_{\text{ENERGIA}} + \text{SH}_{\text{INSUMOS}} + \text{SH}_{\text{SUPFCNST}}).$$

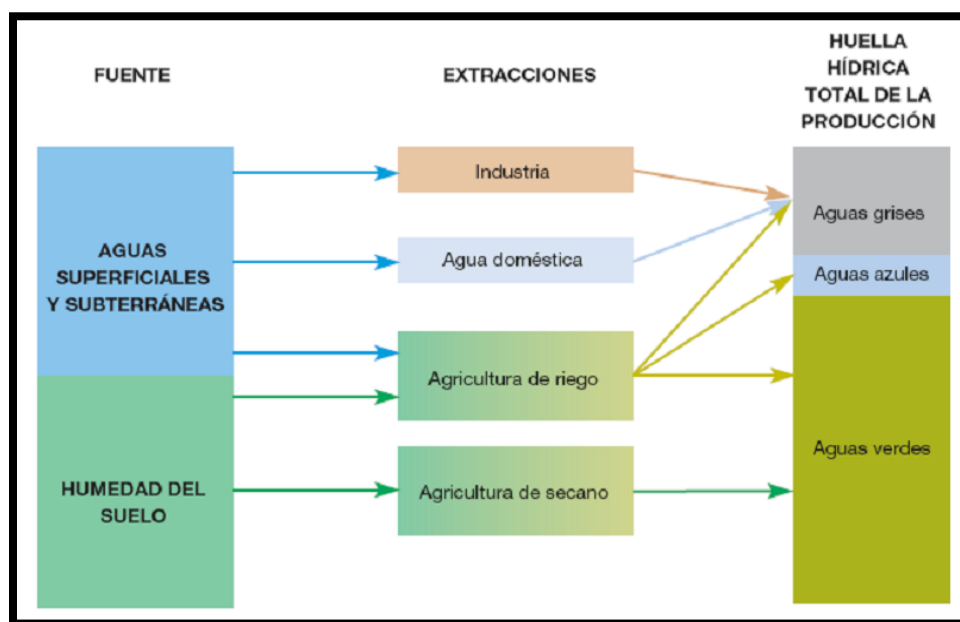
Este indicador permite visualizar el comportamiento de cada una de las sub-huellas y el porcentaje que representan del total en aras de sectorizar y enfocar de manera oportuna y prioritaria cualquier plan o acción de mejora en el proceso, con un marcado sentido de preservación y sustentabilidad económica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

### **2.2.3- Descripción de la metodología huella hídrica.**

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

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

La **figura 2.7** muestra de manera gráfica cada una de las fuentes y las extracciones que comprenden cada una de estas clasificaciones de aguas.



**Figura 2.7.** Determinación de la huella hídrica. **Fuente:** Informe Planeta Vivo 2010.

- La Huella Hídrica (HH) de un área geográfica determinada (cuenca hidrográfica, municipio, provincia, país), es la suma de la HH de todos los procesos que tienen lugar en esa área geográfica. Se puede expresar en  $m^3$ /unidad de tiempo o  $m^3/\$$ .
- La HH de un proceso o etapa es el elemento básico para calcular la HH. Se puede expresar en  $m^3$ /unidad de tiempo o  $m^3$ /unidad de producto.

- La HH de un producto es igual a la suma de la HH de los distintos procesos o etapas necesarios para producir un determinado producto, considerando toda la producción y la cadena de suministro. Se puede expresar en m<sup>3</sup>/unidad de producto, m<sup>3</sup>/kg o m<sup>3</sup>/\$. (Castelli, L. 2013)

### **Metodología de cálculo para la huella hídrica.**

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

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

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

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

#### **Donde:**

$$\text{AGUAS VERDES (m}^3\text{/MW.h)} = 0$$

**Nota:** El proceso de refinación de la refinería Camilo Cienfuegos, objeto de la investigación no cuenta con volúmenes de aguas de este tipo por lo que su valor es nulo.

$$\text{AGUAS AZULES (m}^3\text{/\$)} = \text{AZi/Pac}$$

#### **Luego:**

***AZi:*** Volumen de aguas de tipo azul según la clasificación (usadas en el proceso de producción o apoyo del mismos y no son devueltas al medio a pesar de que no se contaminan) [m<sup>3</sup>].

***Pac:*** Precio actual del m<sup>3</sup> de agua.

$$\text{AGUAS GRISES (m}^3\text{/\$)} = \text{AGi/Pac}$$

Luego:

**AGi:** *Volumen de aguas de tipo gris según la clasificación (usadas en el proceso de remoción de residuales o aquellas que constituyen desechos líquidos industriales) [m<sup>3</sup>].*

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

## CAPÍTULO III “ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS”.

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de refinación para los diferentes escenarios propuestos, se calculan la huella ecológica corporativa e hídrica de cada variante.

### 3.1- Resultados del análisis del ciclo de vida.

➤ **Los objetivos del estudio son:**

1. Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de 1 m<sup>3</sup> de agua a lo largo de todo su ciclo de vida durante el proceso de refinación de petróleo.
2. Mediante la comparación de ACV de cada uno de los escenarios propuestos, valorar variantes de mejora para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida para obtener un uso sustentable del agua.

➤ **Alcance del estudio:**

El alcance del estudio abarca los siguientes aspectos:

- Funciones del sistema estudiado

El uso final del producto será el agua despojada para procesos. Además con el azufre recuperado se abrirá un mercado nuevo que sería la venta de azufre elemental a las industrias mineras.

- Unidad funcional

La unidad funcional de este Análisis de Ciclo de Vida es 1m<sup>3</sup> de agua para procesos en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.

- Definición de los límites del sistema

Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidos anteriormente. A continuación se definen los límites del sistema estudiado.

➤ **Límites geográficos:**

El Análisis de Ciclo de Vida realizado se limita al uso e impacto del agua en la refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos", perteneciente al municipio de Cienfuegos; pero esto no quiere decir que todas las etapas del ciclo de vida se limiten a este ámbito geográfico, pues el ciclo de vida del agua incluye el uso de fuel oil (fuel gas) como portador energético para la generación del vapor usado.

➤ **Límites temporales:**

El horizonte temporal considerado es el año 2014.

Etapas excluidas del análisis

Para este estudio quedan excluidas: Todas las aguas de servicios y todas aquellas que no son para procesos.

➤ **Calidad de los datos**

Los datos han sido recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones se espera sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en los de refinación de petróleo con enfoque al agua y eliminación del azufre. Para ello han sido solicitados a las entidades siguientes:

- Refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos".
- Propuesta Técnica y Comercial de LURGI.
- Estudio Técnico por CHEMATEK.
- Propuesta Técnica y Comercial de TECHNIP

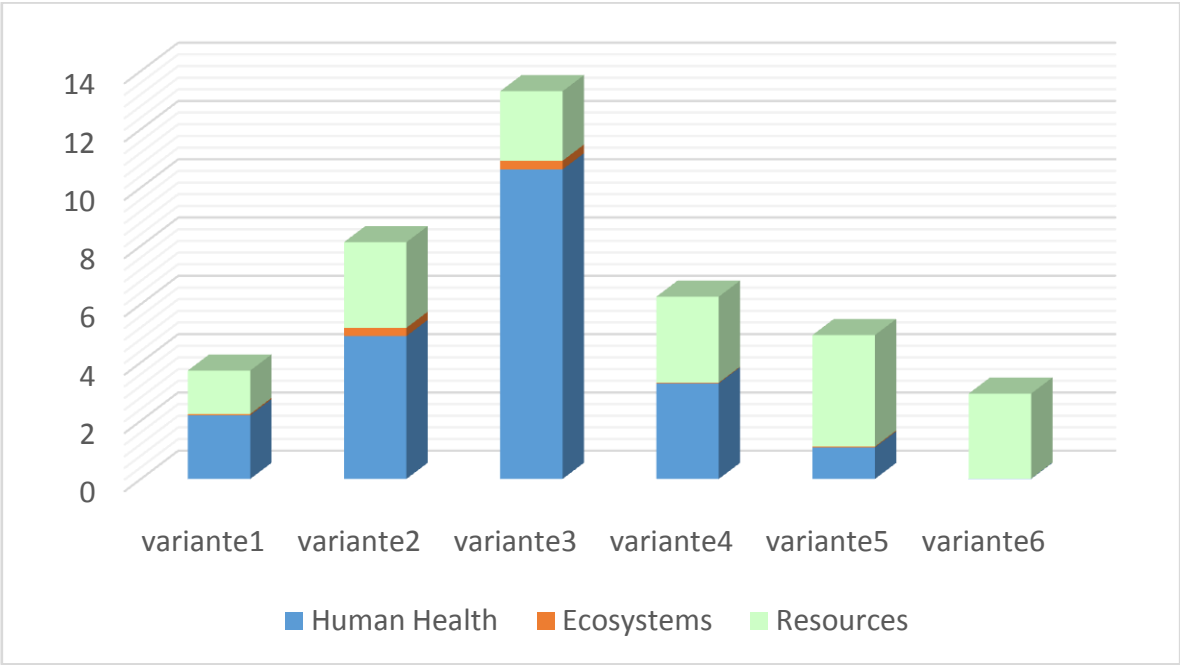
Para la evaluación del ciclo de vida de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de refinación se plantearon 6 variantes las cuales serán comparadas mediante la herramienta SimaPro.

**Tabal 3.1:** Inventario para 1m<sup>3</sup> de agua. Fuente: Elaboración propia.

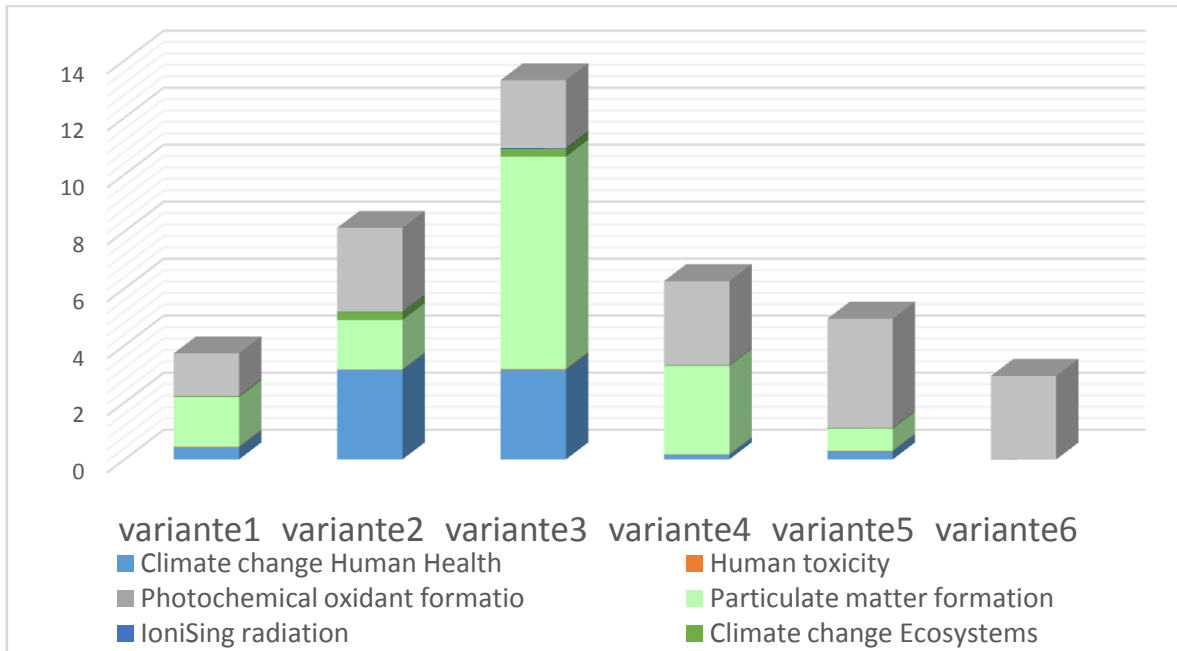
Variantes	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Sal (NaCl) (kg)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MDEA (kg)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Con. Eléctrico (MWh)	0,0007	0,0008	0,0009	0,001	0,001	0,001
Con. Fuel Oil (t)	0,008	0,013	0,013	0,018	0,023	0,02
Con. Fuel Gas (t)	-	-	-	0,05	0,1	0,05
<b>Emisiones al aire (t)</b>						
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	0,006	0,006	0,000005	0,002	-	-
Metano	0,0004	0,003	0,003	-	-	-
Sulfuro de Hidrogeno	0,008	0,009	0,02	0,003	-	-
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	0,0007	0,0007	0,003	-	-	--
Propano	0,001	0,002	0,002	-	-	-
Butano	0,007	0,0007	0,001	-	-	-
Etano	0,001	0,001	0,0007	-	-	-
Pentano	0,0004	0,0005	0,0005	-	-	-
Hexano	0,0007	0,00002	0,0007	-	-	-
Agua (H <sub>2</sub> O)	-	0,0002	-	-	-	-
Etileno	-	0,0001	-	-	--	-
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	-	0,0002	0,0002	0,004	0,007	-
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	-	-	-	0,002	0,0005	-
Monóxido de Carbono (CO)	-	-	-	0,001	-	-
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )				0,336	1,6	-
<b>Emisiones al agua (t)</b>						
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	0,0009	0,001	-	-	-	-
Agua (H <sub>2</sub> O) (m <sup>3</sup> )	1	1	-	-	-	-
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	-	0,0002	-	-	-	-
<b>Recuperación de azufre (t)</b>	-	-	-	0,025	0,025	0,027

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

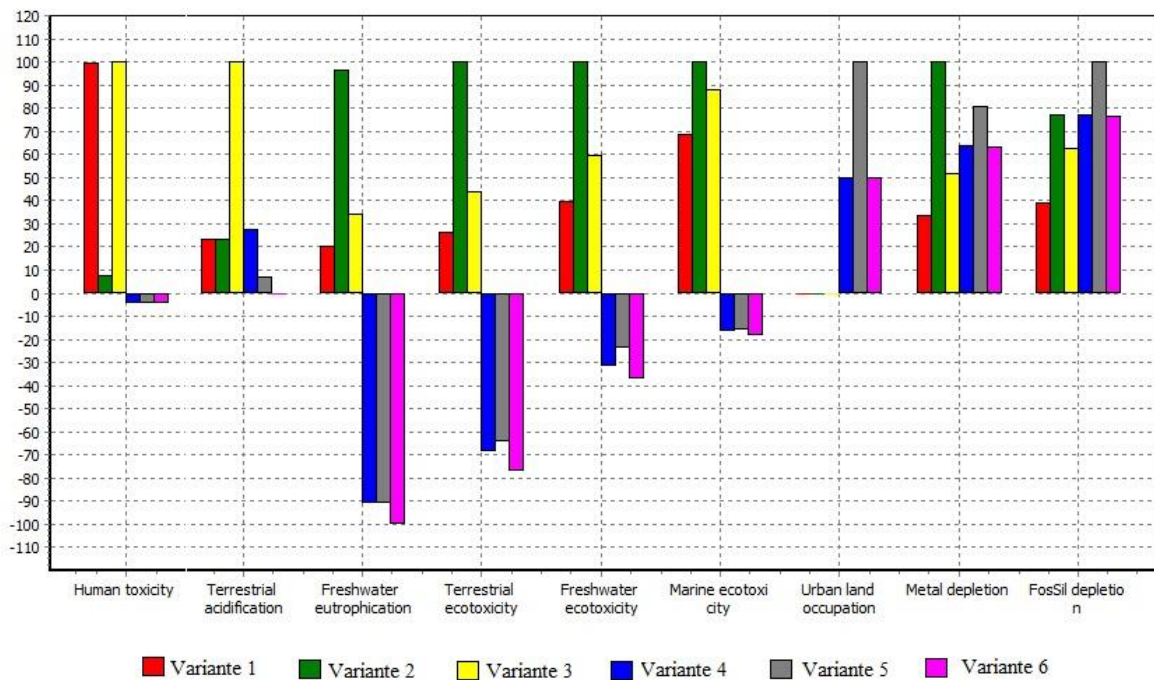
Se mantuvieron los valores de entrada y salida de aquellos elementos que no varían y se modeló con el método ReCiPe. Las **figuras 3.1 y 3.2** muestran la comparación por categorías de impactos entre los procesos de las 6 variantes propuestas para analizar sus impactos.



**Figura 3.1.** Evaluación por impacto ambiental para las condiciones actuales del proceso y las propuestas. Método ReCiPe **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro 7.1.



**Figura 3.2.** Evaluación por categoría de daño para las condiciones actuales del proceso y las propuestas. ReCiPe **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro.



**Figura 3.3.** Evaluación del daño ambiental para las condiciones actuales del proceso y las propuestas. Método ReCiPe. **Fuente:** Elaboración propia a partir de SimaPro.

Del análisis de todas estas graficas antes mostradas se puede apreciar:

- 1- La mayor contaminación se produce en la variante 3, a pesar de que fue una de las variantes propuestas, ya que la misma logra disminuir todas las emisiones al agua y de esta forma recuperarla para ser usada nuevamente en el proceso, no es la más idónea puesto que convierte todos los compuestos sulfurosos ( $H_2S$ ) presentes en el agua a contaminación del aire.
- 2- La mayor contaminación ambiental se debe a los daños a la salud humana por las emisiones de gases muy dañinos al organismo humano ( $H_2S$ ,  $SO_2$ , Metano, Pentano, Amoniac, etc.) resaltando el sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas muy toxico que solo se permite 10 ppm v en el aire circundante.
- 3- Debido a la recuperación de azufre de las variantes 4, 5 y 6 se minimizan las contaminaciones ambientales, lo cual da medida a que estas pueden ser las mejores opciones. Se puede apreciar también en la fig. 3.3 como estas tienen un impacto positivo ya que logran disminuir:
  - En más de un 90% categorías de daños como eutrofización del agua fresca (*freshwater eutrophication*) y eco-toxicidad terrestre (*terrestrial ecotoxicity*).
  - En más de un 40% eco-toxicidad del agua fresca (*freshwater ecotoxicity*).
  - En más de un 20 % eco-toxicidad marina (*marine ecotoxicity*).
- 4- Se puede apreciar de forma clara que la variante 6 es la propuesta óptima debido a la poca carga medioambiental que esta posee y que solo es motivado por la utilización de recursos para su puesta en marcha. Esta aporta un 99% de recuperación de azufre, lo cual supera a las variantes 4 y 5 que tienen un 94% de recobrado. También cabe analizar que esta variante entra en los estándares de las normas actualmente vigentes que rigen las emisiones de contaminantes a la atmosfera, o sea es la única variante que cumple con todas las normas internacionales de emisiones vigentes en el mundo.

### **3.1- Huella Ecológica Corporativa del proceso de refinación**

El alcance del estudio, la unidad funcional, los límites geográficos y temporales, así como las entradas de cada uno de las materias primas y materiales que se analizaron y aquellas

que fueron excluidas en el análisis del ciclo de vida serán las bases para el cálculo de cada una de las sub-huellas ecológicas que sean significativas para el proceso.

La huella ecológica total representativa de un m<sup>3</sup> de agua tal como se enuncio en el capítulo anterior responde a la sumatoria de cada una de las sub-huellas bases.

***Cálculo de la sub-huella energética.***

En la **tabla 3,1** se exponen cada una de las entradas de tipo energético que intervienen en el proceso de refinación y uso del agua.

**Tabla 3.1.** Sub-huella energética. **Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Consumo Eléctrico. (MWh)	Fuel Gas (t)	Fuel Oil (t)	SH <sub>ENERGIA</sub>
	Factor de Conversión 0.355718	Factor de Conversión 0.990300	Factor de Conversión 1.163100	
1	0,0007	-	0,008	0.0034212
2	0,0008	-	0,013	0.0055091
3	0,0015	-	0,013	0.005524
4	0,0050	0.00005	0,018	0.0076364
5	0.0067	0.0006	0,023	0.0099773
6	0,0050	0.00005	0,018	0.0076364

Los resultados obtenidos de la sub-huella energética. mostrados en la tabla 3.1 reflejan con claridad:

- 1- Como aumentan las sub-huellas debido a que se montan nuevas plantas de procesos, por consiguiente la energía usada es mayor lo que visualiza un mayor número de equipos que consumen más recursos energéticos.

2- La variante más crítica de consumo en esta sub-huella es la variante 4. La razón de este resultado radica en que la misma contempla un incinerador que consume grandes cantidades de energía y principalmente un gran volumen de gas combustible (*Fuel gas*).

**Cálculo de la sub-huella INSUMOS.**

La sub-huella de los insumos representada en la **tabla 3.2** es quien determina el equivalente de hectáreas que se requieren para aquellas entradas no energéticas, es decir aquellas variables materiales de consumo necesarias para el proceso.

**Tabla 3.2.** Sub-huella insumos. **Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Consumo Sal (t)	Consumo MDEA (t)	Azufre Recuperado (t)	SH <sub>INSUMOS</sub>
	Intensidad energética	Intensidad energética	Intensidad energética	
	3.30	35	3.30	
1	0.021	0.001	-	0.101
2	0.027	0.001	-	0.101
3	0.027	0.0022	-	0.101
4	0.027	0.0022	0.025	0.0185
5	0.027	0.0022	0.025	0.0185
6	0.027	0.0022	0.027	0.0119

**La tabla 3.2** muestra los resultados pertinentes a la sub-huella de Insumos, de los cuales se puede interpretar:

1- Un aumento de la sub-huella desde la variante 1 a la 3 debido a que hay un mayor consumo de sales, las cuales se utilizan para tratar las aguas de alimentar calderas, también aunque se haya mantenido constante el consumo de metildietilamina (MDEA).

- 2- A pesar de que en las variantes restantes hay un aumento de más de un 100 % del consumo de MDEA estas variantes arrojan un resultado menor que las 3 primeras variantes, esto se debe a que gracias a la unidad recuperadora de azufre se puede obtener un recobrado de hasta 99% de azufre que contaminaba el agua usada en el proceso. Este azufre constituye un insumo positivo ya que se le resta a los insumos totales dando así una menor sub-huella.
- 3- La variante optima en este caso es la 6 ya que recupera un 6% más que la 4 y la 5, lo que se refleja claramente en la tabla 3.2 mostrando un menor valor de la sub-huella insumo.

***Cálculo de la sub-huella superficie construida.***

La sub-huella de la superficie construida tal y como se muestra en la tabla 3.4 es el área construida dentro del área total de la instalación.

**Tabla 3.4.** Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA. **Fuente:** Elaboración propia.

<b>Variantes</b>	<b>Variable de estudio</b>	<b>Superficie total construida (ha)</b>	<b>SH<sub>SUPCONST</sub></b>
1	Área Total	7,9	0.0102865
2	Área Total	10,5	0.0136719
3	Área Total	10,8	0.0140625
4	Área Total	11,1	0.0144531
5	Área Total	11,1	0.0144531
6	Área Total	11,1	0.0144531

Como se observa en los resultados mostrados en la tabla 3.4 la Sub-huella superficie construida:

Va aumentando debido a la necesidad de nuevas superficies para la construcción de nuevas plantas, pese a que lleva un mayor gasto energético y de recursos

- A pesar de que aumenta está bien justificada debido a que minimizan considerablemente el impacto ambiental de la industria y por consiguiente provoca que cumplan con las normas vigentes en el país y en el mundo.

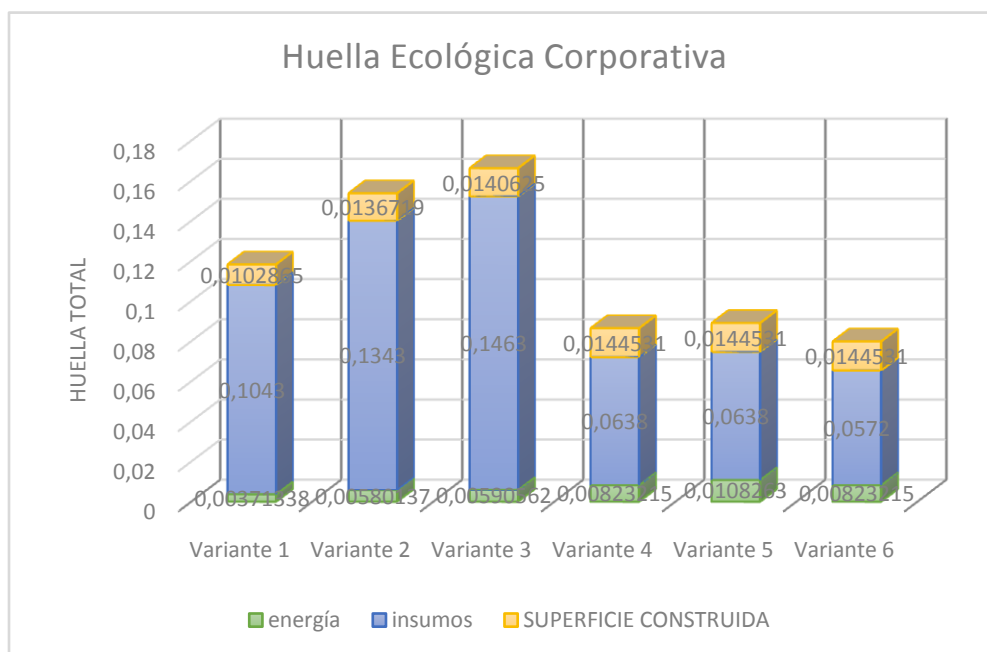
***Cálculo de la huella ecológica total.***

Resulta indispensable y concluyente el cálculo de la huella total, ya que la misma es un indicador de sustentabilidad del proceso. La tabla 3.5 manifiesta cada una de las sub-huellas y el porcentaje equivalente de las mismas sobre la huella ecológica total de 1 m<sup>3</sup> de agua en el proceso de refinación.

**Tabla 3.5. Huella ecológica total. Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Sub-huella						HUELLA total
	Calculada (ha/ m <sup>3</sup> )						
	ENERGÍA	%	INSUMOS	%	SUPERFICIE CONSTRUIDA	%	
1	0.0034212	3.0	0.101	88.0	0.0102865	9.0	0.1147
2	0.0055091	4.6	0.101	84.0	0.0136719	11.4	0.1202
3	0.005524	4.6	0.101	83.8	0.0140625	11.7	0.1206
4	0.0076364	18.8	0.0185	45.6	0.0144531	35.6	0.0406
5	0.0099773	23.2	0.0185	43.1	0.0144531	33.7	0.0429
6	0.0076364	22.5	0.0119	35.0	0.0144531	42.5	0.0340

Para un mayor entendimiento de los resultados finales en la **fig. 3.4** se muestran de forma gráfica de los mismos.



**Figura 3.4** Resultados de la Huella ecológica corporativa de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de refinación. Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos del cálculo total de la huella ecológica corporativa mostrados en la tabla 3.5 y organizados en la fig. 3.4 se puede apreciar:

1. La sub-huella más representativa es la de insumos oscilando desde un 40% al 80% de la huella ecológica corporativa total.
2. La variante 3 es la más crítica debido a que sus gastos de insumos son mayores que las demás.
3. Se demuestra que a pesar de que las variantes 4, 5 y 6 tienen un mayor consumo energético, estas presentan una huella total mucho más baja en casi un 40% que las restantes, debiéndose esto a la recuperación de azufre, la cual fue restada de los demás insumos, minimizando así su impacto.
4. Se refleja claramente la variante 6 como la más óptima ya que tiene la menor huella ecológica corporativa y aporta un mayor recobrado de azufre.

### 3.3- Resultados del cálculo de la huella hídrica de 1m<sup>3</sup> de agua en procesos de Refinación.

#### Cálculo de la huella hídrica del agua.

En la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” el costo de 1m<sup>3</sup> de agua está en 1,55 CUC. Si en la actualidad se está consumiendo aproximadamente 768 674 m<sup>3</sup> de agua anual lo que equivale a 1 191 444.70 CUC, cuando se instale en el futuro nuevas plantas de procesos como VDU, CCU, etc. Este consumo será duplicado y por consiguiente será un costo apreciable en la industria, dinero que de ahorrarse permitiría invertir periódicamente en nuevas mejoras que faciliten la gestión sostenible del recurso.

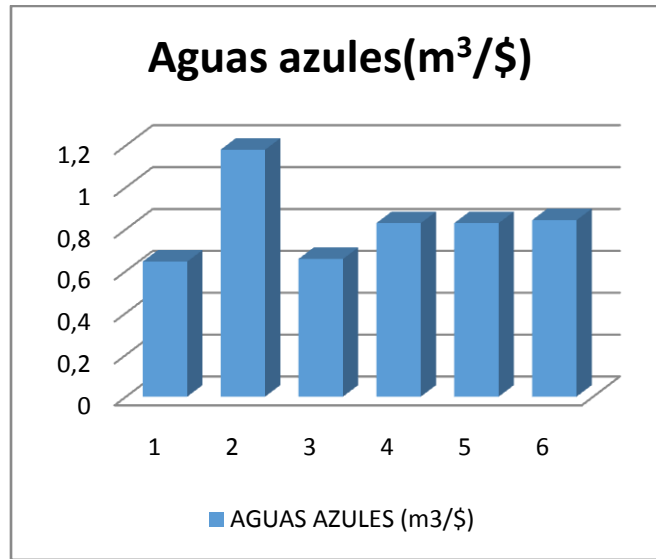
A continuación se presentaran resultados de la huella hídrica de 1 m<sup>3</sup> durante los procesos de refinación actual y nuevas variante de estudio que pretenden mejorar el proceso y fomentar un uso sustentable de agua:

#### *Cálculo de las Aguas Azules.*

Es el volumen de agua dulce extraído de fuentes superficiales o de aguas subterráneas que utiliza la gente y no es devuelta.

**Tabla 3.6.** Aguas azules. **Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Consumo de aguas azules (m <sup>3</sup> )	Costo de agua (CUC)	AGUAS AZULES (m <sup>3</sup> /CUC)
1	1	1.55	0.64516129
2	1.828023323	1.55	1.179369886
3	1.019108231	1.55	0.657489181
4	1.284500321	1.55	0.828709885
5	1.284500321	1.55	0.828709885
6	1.30623125	1.55	0.842729839



**Figura 3.5:** Comparación de las aguas azules. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 3.6 y más claro en la fig. 3.5:

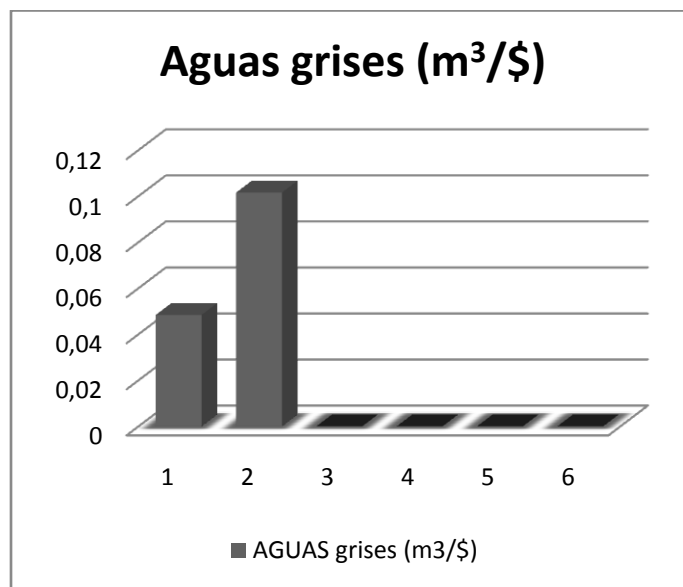
- 1- La variante 2 es la de mayor impacto en esta huella. Debido fundamentalmente a que se montaron dos plantas muy grandes de procesos las cuales son altamente consumidoras de agua de tipo azul.
- 2- Cabe destacar además que la variante 3 contempla en si a las unidades antes mencionadas y se incluyen dos nuevas unidades. Sin embargo, se observa una disminución en esa huella, ya que al instalar una planta despojadora de aguas ácidas, esta unidad es capaz de recuperar cerca del 97 % del agua usada para procesos esto da la medida de una reducción considerable en el costo de la huella hídrica.
- 3- La demás variantes tienen un consumo mayor debido a la necesidad de nuevas plantas, las que consumen mayor cantidad de agua tipo azul. Pero estas siguen siendo las mejores propuestas debido a la recuperación de azufre.

#### ***Cálculo de las Aguas Grises.***

Es el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes liberados en los procesos de producción hasta tal concentración que la calidad del agua se mantenga por encima de los estándares de calidad acordados.

**Tabla 3.7.** Aguas grises. **Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Consumo de aguas grises (m <sup>3</sup> )	Costo de agua (CUC)	AGUAS grises (m <sup>3</sup> /\\$)
1	0.075009172	1.55	0.048393014
2	0.157361899	1.55	0.101523806
3	0	1.55	0
4	0	1.55	0
5	0	1.55	0
6	0	1.55	0



**Figura 3.6:** Comparación de las aguas grises. **Fuente:** Elaboración propia.

De los resultados obtenidos de las aguas grises resalta:

- 1- Las variantes 1 y 2 son las de mayor impacto en esta huella debido al alto consumo de agua para procesos y que estas contaminan y luego no son recuperadas.
- 2- La variante número 2 es la más crítica ya que supera en un 50% a la primera variante debido al montaje del CCU y VDU, grandes consumidoras de agua y altamente contaminadoras.

3- Las variantes 3, 4, 5 y 6 son las óptimas ya que recuperan al 97 % todas las aguas de tipo gris.

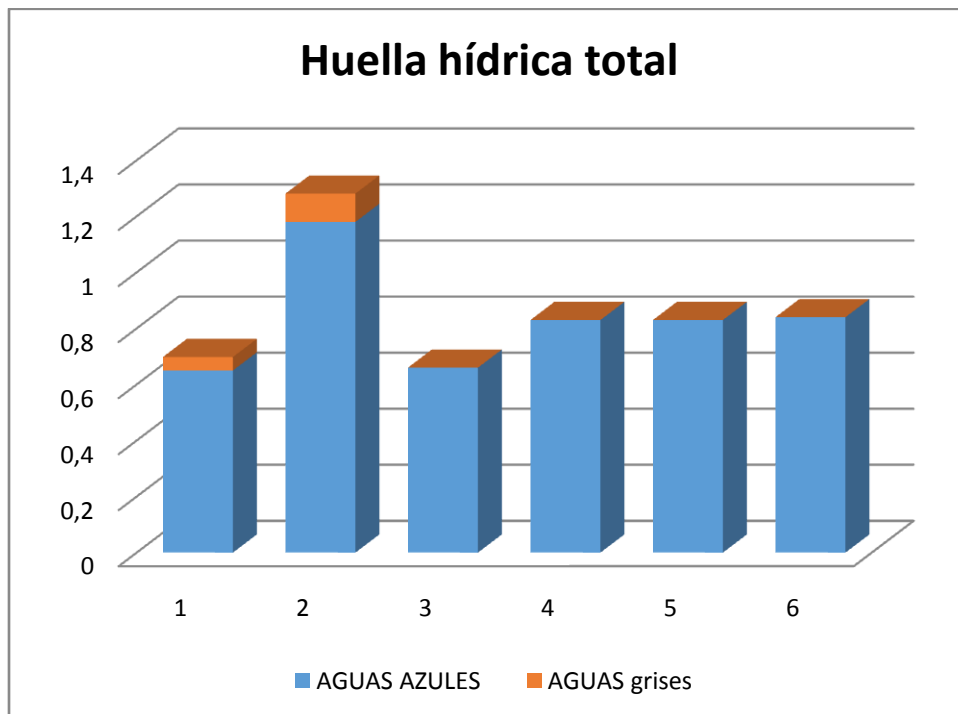
**Cálculo de la huella hídrica total.**

La **tabla 3.8** manifiesta cada una de las sub-huellas y el porcentaje equivalente de las mismas sobre la huella HIDRICA total de 1 m<sup>3</sup> de agua en el proceso de refinación.

**Tabla 3.8. Huella hídrica total. Fuente:** Elaboración propia.

Variantes	Sub-huella				HUELLA total
	Calculada (m <sup>3</sup> /%)				
	AGUAS AZULES	%	AGUAS grises	%	
1	0.65	93.12	0.048	6.88	0.698
2	1.18	92.12	0.101	7.88	1.281
3	0.66	100.00	0	0.00	0.66
4	0.83	100.00	0	0.00	0.83
5	0.83	100.00	0	0.00	0.83
6	0.84	100.00	0	0.00	0.84

Para un mayor entendimiento de los resultados finales en la **fig. 3.7** se muestran de forma gráfica de los mismos.



**Figura 3.4** Resultados de la Huella Hídrica de 1 m<sup>3</sup> de agua en los procesos de refinación.

**Fuente:** Elaboración propia.

De la huella Hídrica total mostrada en la fig. 3.4 se puede apreciar que:

1- El mayor impacto a esta huella son las aguas azules debido al gran volumen que de estas son consumidas para refinar petróleo.

2- La variante más crítica es la 2 en la que el consumo de aguas azules se duplica al igual que la huella de aguas grises y no hay recuperación.

3- Las variantes 3, 4, 5 y 6 son las más óptimas debido a que se recupera casi el 97 % de las aguas y estas apenas presentan huella gris alguna.

4- Como se puede observar el consumo de agua de la variante actual es de 768 674 m<sup>3</sup> anuales lo que representa un costo de 1 191 444.70 CUC. Se duplica en la variante 2 llegando a un consumo de 1 405 154m<sup>3</sup> que equivale a 2 177 988.70 CUC, lo que justifica claramente la implementación de una planta capaz de recuperar agua para procesos y minimizar así el impacto económico por consumo de agua. Lo que da paso a la variante 3 que recupera casi el 97 % de los gastos de la variante 2, o sea que recupera cerca de 1 362 999 m<sup>3</sup> de agua lo que representa 2 112 648. 45CUC, dinero que puede ser usado para otras inversiones con fines económicos para la empresa.

5- Pese que la variante 3 recupera un considerable monto de dinero no es la mejor opción, puesto que al recuperar agua mediante la eliminación del azufre presente en ella, solo agrava más la contaminación al aire aumentando así la contaminación ambiental. Esto da paso a que se instale una planta con fines ambientalistas, que minimice los impactos al medio ambiente que sería entonces la variante 4, la cual es capaz de recuperar un 94 % de ese azufre que se emite en forma de gas y es dañino al ecosistema.

6- Aunque la variante 4 sea capaz de recuperar el 94% de azufre no es la óptima ya que la misma aún emite hasta un 6 % de compuestos del azufre (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, etc.) a la atmósfera, los cuales superan las normas de *FLORIDA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY* (EPA). Regla 62-204-800/2010, que establece solo hasta 300ppmv de SO<sub>2</sub> y 10 ppm v de H<sub>2</sub>S, cuando se prescinde del incinerador. Lo que se puede resolver con la implementación de la variante 5 que contempla además un incinerador, cuya

función consiste en incinerar todos estos compuestos del azufre y reduciéndolo hasta los estándares actuales de emisiones gaseosas. Sin embargo la misma norma contempla el uso del incinerador y establece en este caso una emisión máxima permisible de 250 ppm v de SO<sub>2</sub>. **Anexo N° 3**

7- A pesar que la variante 5 resuelve el problema de la contaminación y además recupera un 94 % de azufre, lo que constituye un insumo positivo demostrado en la huella ecológica corporativa, está aún genera un consumo energético por encima de la variante 6, además de que aún emite cierta cantidad de contaminantes a la atmósfera y la variante 6 erradica estas emisiones y propicia un reciclaje de aguas ácidas y gases de H<sub>2</sub>S que aumentan el recobrado del azufre hasta un 99 %, gracias a un reactor de reducción que trata los gases de cola, esta solo impacta al medio por el uso de recursos que conlleva su puesta en marcha. Estos resultados son amparado con los del análisis de ciclo de vida y las huellas ecológicas corporativa e hídrica. Se debe señalar que esta es la única variante que puede cumplir con las normas del Grupo del Banco Mundial (IFC-2007), las cuales establecen un máximo de emisiones de 150 ppm v de SO<sub>2</sub> y 10 ppm v de H<sub>2</sub>S. **Anexo N° 3**

## ***CONCLUSIONES***

- Se demostró que uno de los principales problemas de contaminación ambiental que se produce en los procesos de refinación es la contaminación del agua con H<sub>2</sub>S, proveniente del azufre presente en el petróleo y el paso de la misma a contaminación del aire. Existiendo en el mundo variadas metodologías para enfrentar estas problemáticas.
- Se propone una metodología novedosa basada en indicadores de economía ecológica (Análisis de ciclo de Vida, Huella Ecológica Corporativa, Huella Hídrica) que permiten evaluar los impactos ambientales de las diferentes variantes de tratamiento de agua y gases que se contaminan con azufre, durante el proceso de refinación de petróleo en la refinería "Camilo Cienfuegos". Lo cual no ha sido reportado por la bibliografía consultada.
- El Análisis de ciclo de Vida demostró que la variante óptima para disminuir los impactos ambientales es la variante 6 debido a que disminuye en un 100 % los impactos ambientales, manteniendo solo los impactos de acuerdo a los usos de energía y recursos. Aporta impactos positivos que es la recuperación del 99 % de azufre.
- El análisis de la Huella Ecológica Corporativa apoya estos resultados debido a que en la variante 6 se ve una disminución de la misma en relación con las otras variantes por recuperación de azufre dentro del proceso.
- El análisis de la Huella Hídrica demostró que a pesar de haber un 10 % más de consumo por parte de la variante 6 dentro de la huella esta es beneficiosa porque elimina la huella de agua gris.

## **RECOMENDACIONES**

- Discutir estos resultados con la dirección de ingeniería de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.
- Implementar la metodología propuesta como método para evaluar los impactos ambientales en los procesos de refinación en Cuba e incluir los resultados logrados en la base documental para la evaluación de la solicitud de patentes del proceso de la variante N° 6.
- Socializar estos resultados en publicaciones de revistas científicas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilera, F. (2003). «*Gestión autoritaria versus gestión democrática del agua*».
- Aranda, A. (2006). *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida* (p. p. 47). Recuperado a partir de [http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE\\_O+Y+A CV.PDF](http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE_O+Y+A CV.PDF).
- Brundtland, G.H. (1987). *Nuestro futuro común*.
- bvsde.ops-oms.org. (2009). El agua. Recuperado a partir de <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/e/elagua.html>
- Carrión, P. y López, E. (2003). *Optimización mediante algoritmos genéticos de la gestión del Agua en el regadío*.
- Castelli, L. (2013). *Seminario Huella Hídrica y Empresas*. Recuperado a partir de [www.naturalezaparaelfuturo.org](http://www.naturalezaparaelfuturo.org)
- CINU. (2003). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. Centro de Información de Naciones Unidas.
- Chacón, J. R. V. (2008). «*Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)*». Recuperado a partir de [www.escuelaing.edu.co/.../3historia\\_ampliada\\_comentada\\_analisis\\_ciclo\\_vida.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/.../3historia_ampliada_comentada_analisis_ciclo_vida.pdf)
- CHAPAGAIN, A.K. AND HOEKSTRA, A.Y. (2008). *The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products*, *Water International* (pp. 19-32).
- cheresources.com. (2010). Diseño integrado de procesos con tecnología de pliegue. Recuperado a partir de <http://www.cheresources.com/pinchtech2.shtml>
- diariohoy.net. (2006). Daily News. México, América Latina y el Caribe / México, Latin America and the Caribbean. Recuperado a partir de <http://www.diariohoy.net/notas/verNoticia,phtml/html>
- Doménech Quesada, J. L. (2006). *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*. Recuperado a partir de [www.caei.com.ar](http://www.caei.com.ar)
- Doménech Quesada, J. L. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid, España.: AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

- Doménech Quesada, J. L. (2009). «*El método compuesto de las cuenta contables MC3 una alternativa para estimar la huella ecológica de empresas y organizaciones*». UAIS- Programa de difusión e investigación en Desarrollo Sustentable.
- FAO.org. (2010). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. *fao.org*. Recuperado a partir de [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/005/Y3918S/y91802.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y3918S/y91802.htm)
- Finnveden, G. (1996). *Valuation methods within the framework of life cycle assessment. Stockholm*. Swedich Environmental Research Institute.
- Finnveden, G. (2000). *On the limitations of life cycle assessment and environmental systems analysis tool in general*. (pp. 229-238).
- García, I. M. (2011). *Propuesta metodológica de Economía Ecológica con enfoque de Producciones más limpias en el proceso de generación de energía eléctrica de la empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. Cienfuegos, Cuba.
- GaryandHandwerk. (2006). *Petroleum Refining. Technology and Economics*. (p. pag. 49). New York.
- GFN. (2007). *Global Footprints Network*.
- Goedkoop, M. & Oele, M. (2008). *Introduction to LCA with SimaPro 7*.
- Goedkoop, M., Heijungs R., Huijbregts M., Schryver A., Struijs J. and van Zelm R. (2009). *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*.
- Gonzalez S.E.et.al., Héctor Pérez Alejo, Meilyn González Cortes, Yenlys Catá Salgado. (2008). *La Integración de procesos una vía para lograr producciones energéticamente sustentables y ambientalmente compatibles. Colaboración Iberoamericana: CYTED.(Ciencia y Tecnología para el Desarrollo)*.
- GPSA. (2004). *ENGINEERING DATA BOOK.USA: Gas Processors Suppliers Association (GPSA)*. Twelfth Edition.
- Guinée et.al., J.B., Heijungs, G.M.R., Huppes, G., Kleijn, R., Udo de Haes, H.A., Van del Voet, E., Wrisberg, M.N. (2002). *Life Cycle Assessment. An Operational Guide to ISO Standards*. Centre of Environmental Science, Leiden University (CML).
- Hernández, A. C., & Noa, C. P. (2010). «*Análisis del Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos*». Cienfuegos, Cuba.

- Hernández.P.A. (2003). *Procesos de refino* (pp. 133-151 de 212.). Instituto Superior de la Energía.
- Hofstetter, P. (1998). *Perspectives in Life Cycle Impact Assessment: A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere, and Valuesphere*. (Kluwer Academic Publishers.).
- Iglesias, D. H. (2005). *Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario*. Recuperado a partir de <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>
- INRH. (2012). *Política Nacional del Agua*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Jeroen C. J. M. van den Berg. (2000). "Themes, Approaches, and Differences with Environmental Economics. *Departamento of Spatial Economics*.
- Lobelles G.O. (2012). *Estrategia para uso racional del agua y su energía asociada, desde la perspectiva de la economía ecológica, para el proceso de refinación de petróleo*. Universidad de Matanzas.
- Lluch Urpí, José. (2008). *Tecnología y margen de refino*. (p. 191 de 335.). Recuperado a partir de <http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Masanet, M.J. (2000). *Desarrollo e integración de los Sistemas de Información Contable en la gestión medioambiental de la Empresa*. (p. 265, 266 y 379).
- naolinco/igeofcu.unam.mx. (2005). El agua en América y el mundo. Recuperado a partir de [http://naolinco/igeofcu.unam.mx/atlas/ame\\_mundo/agua\\_dulce1.htm](http://naolinco/igeofcu.unam.mx/atlas/ame_mundo/agua_dulce1.htm)
- Normalización, O. N. d. (2000). NC-ISO 14 041: 2000 «Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario».
- Normalización, O. N. d. (2001a). NC ISO 14040: 1999 «Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura».
- Normalización, O. N. d. (2001b). NC-ISO 14 042: 2001 «Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida».
- Normalización, O. N. d. (2001c). NC-ISO 14 043: 2001 «Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida».
- Normalización, O. N. d. (2001d). NC-ISO 14 049: 2001 «Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario».

Normalización, O. N. d. (2004). NC ISO 14001:2004 «Sistema de Gestión Ambiental.».

Normalización, O. N. d. (2006). NC ISO-14044. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. International Standard Organization.

Normalización, O. N. d. (2012). NC ISO14045. 2012. Environmental management — Eco efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines.

ODM. (2000). Objetivos de Desarrollo para el Milenio de las Naciones Unidas.

ONE. (2006). *Diagnóstico de la Gestión Ambiental*. La Habana: Oficina Nacional de Estadísticas.

Pemex. (2012). *Aprovechamiento y reúso del agua en procesos de refinación de petróleo*. Ciudad México: PEMEX Refining Process. Recuperado a partir de [www.ref.pemex.com](http://www.ref.pemex.com)

Planeta Vivo. (2012). *Fondo mundial para la Naturaleza*.

Rees.&Wackernagel. (1996). *Indicadores territoriales de sostenibilidad* (pp. 12-40). Estados Unidos.

RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X.; GARCIA, R. (2009). *Guia Práctica de introducción eco.diseño. Generalitat Valenciana* (p. 64).

Romero, B. R. (2004). «*El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental*». Recuperado a partir de [www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf](http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf)

Sonnemann.et.al. M. Shuhmacher and Castells. (2003). *Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a cycle inventory of electricity produced by a waste incineration*. (pp. 279-292).

Suppen, N., & Hoof, B. (2007). «*Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*».

UNESCO.org. (2008). *El agua*. Recuperado a partir de [http://www.unesco.org/water/wwap/index\\_es.shtm](http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtm).

Valdés, J.B. (2006). *América y el agua*. Recuperado a partir de [www.prodiversitas.bioetica.org/des43.htm](http://www.prodiversitas.bioetica.org/des43.htm).

Vidal, Medina J.R. (2005). *Tesis en opción al grado de Master*.

waterportal-americas.org. (2003). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.WWAP. *waterportal-americas.org*. Recuperado a partir de <http://www.waterportalamericas.org>

## ANEXOS

### Anexo No.1: Programas Informáticos para el ACV. Fuente: (Aranda, 2006)

Programa	Compañía desarrolladora	Comentarios
<b>Boustead</b>	Boustead Consulting (Reino Unido)	Herramienta muy completa indicada para realizar estudios de ACV dentro de la industria química, plásticos, acero, et c.
<b>Ecoit</b>	Pré Consultants (Países Bajos)	Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Utiliza el Eco indicador '99. Su manejo es sencillo.
<b>Ecopro</b>	Sinum AG. - EcoPerformance Systems (Suiza)	Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUW AL.
<b>Ecoscan</b>	TNO Industrial Technology (Países Bajos)	Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del eco diseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo.
<b>Euklid</b>	Fraunhofer- Institut (Alemania)	Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales.
<b>Gabi</b>	Universidad de Stuttgart (Alemania)	Además de las posibilidades convencionales es de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos.
<b>LCAit</b>	ChalmersIndustrietenik (Suecia)	Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel
<b>Miet</b>	Universidad de Leiden (Países Bajos)	Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Tiene carácter gratuito
<b>Pems</b>	Pira International(Reino Unido)	Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfico es flexible.
<b>Simapro</b>	Pré Consultants (Países Bajos)	Permite realizar ACV completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para Departamentos de diseño o I+ D.
<b>Team</b>	Ecobilan (Francia)	Herramienta muy completa, flexible y potente aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes.
<b>Wisard</b>	Price water house Coopers (Francia)	Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales.
<b>Umberto</b>	Ifeu- Institut (Alemania)	Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar ecobalances empresariales.

**Anexo No.2:** Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental.

**Fuente:** (Suppen, 2007)

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

**Anexo No.2:** Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental.

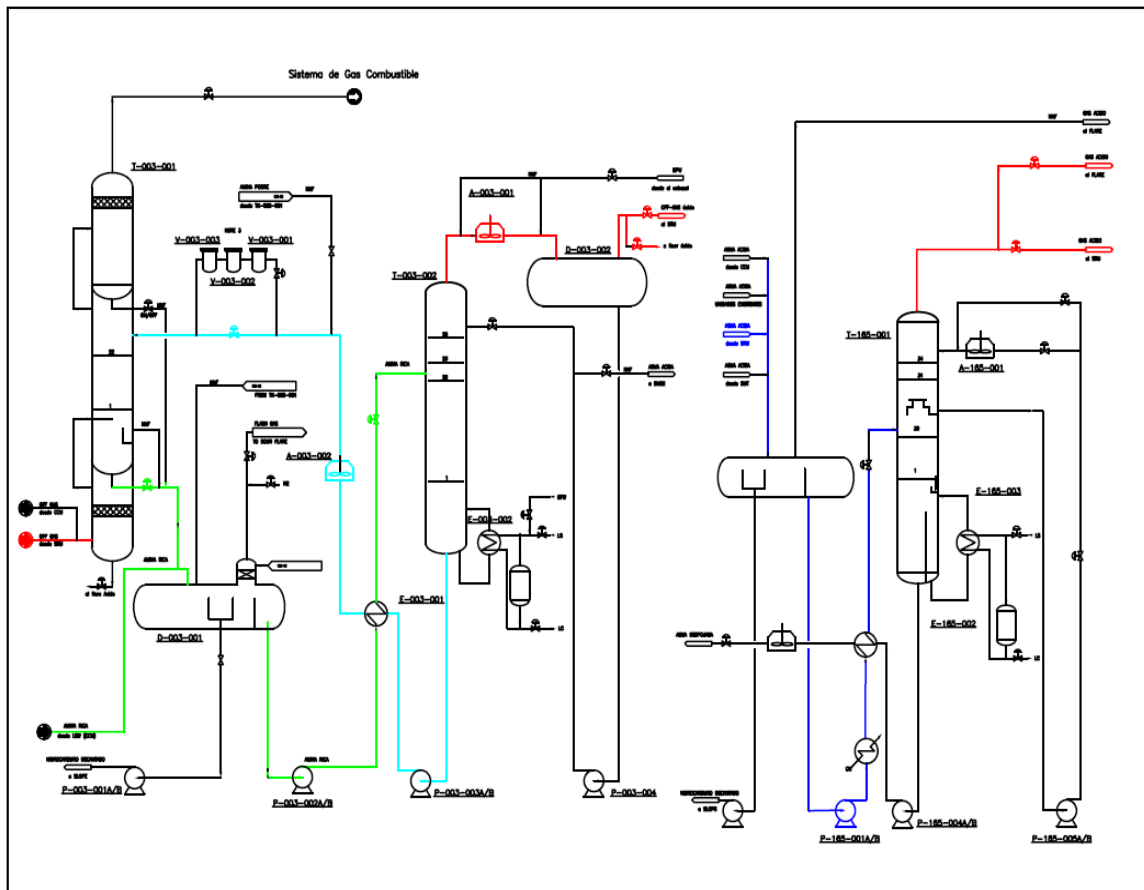
**Fuente:** (Suppen, 2007). Continuación...

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

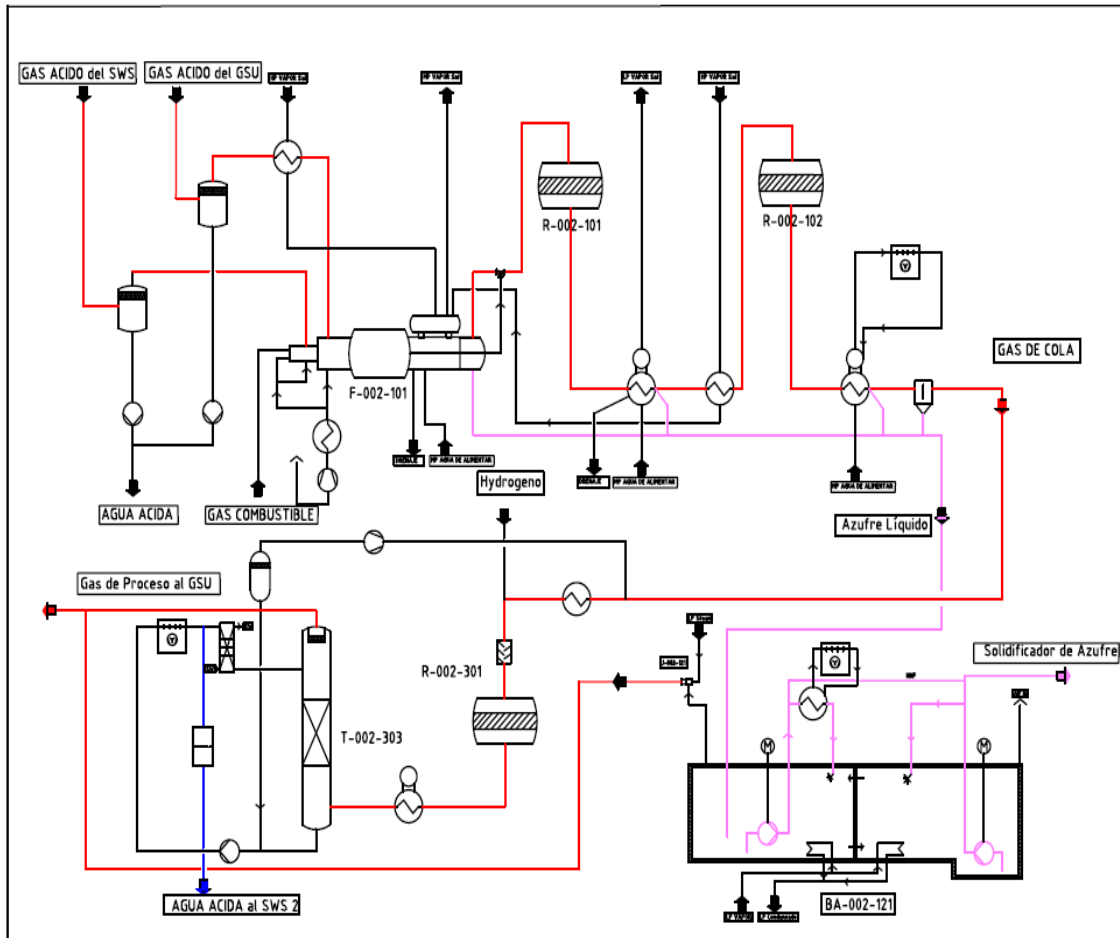
**Anexo No.3: Relación de Normas de Referencia.**

NORMATIVA	Contaminantes mg/Nm3										
	NOx		SOx		Partículas sólidas			Vanadio	Níquel	H2S	OTROS
<b>IEC/2007</b> Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la refinación del petróleo	450 mg/Nm3 (ppmv)		150 ppmv para las unidades de recuperación de azufre; 500 ppmv para el resto de unidades		50 mg/Nm3 (ppmv)			5 mg/Nm3	1 mg/Nm3	10 mg/Nm3 (ppmv)	
<b>FEUU - Regulaciones Federales Regla 62-204.800. F.A.C./2010</b> Subparte JA-Normas de Funcionamiento para refinerías de petróleo.			250 ppmv (Unidad de Recuperación de azufre con un sistema de control de oxidación o un sistema de control de reducción seguida de la incineración)								
			300 ppmv (Unidad de Recuperación de azufre con un sistema de control de la reducción no seguido por la incineración)							10 ppmv (con un sistema de control de reducción no seguido por la incineración)	
<b>YENEZUELA Decreto N° 638/1995</b> Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.	300 mg/Nm3 (Existentes) Actividades sin normas específicas		<b>Nuevas</b>	<b>Existentes</b>	<b>Calderas y hornos</b>	120 mg/Nm3 (Existentes y Nuevas) Calderas y hornos			300 mg/Nm3 (Existentes) Tanques de almacenamiento de azufre líquido y de productos provenientes de conversión profunda. Plantas Claus.		
	150 mg/Nm3 (Nuevas) Actividades sin normas específicas		4200 mg/Nm3	5000 mg/Nm3	<b>Regeneración de las unidades de craqueo</b>	50 mg/Nm3 (Existentes y Nuevas) Regeneración de las unidades de craqueo			150 mg/Nm3 (Nuevas)		
<b>BRASIL</b> Propuesta final de estándares para emisiones gaseosas de fuentes fijas, 3 de junio de 2011	450 mg/Nm3 (Combustible líquido y gas de refinería.		Gas de Refinería	Combustible líquido	Gas de Refinería	Combustible líquido			10 ppmv	CO: 1500 mg/Nm3 (Hornos y calderas) 500 mg/Nm3 (FCC) Combustible líquido	
			500 mg/Nm3 (Hornos y calderas, FCC)	1700 mg/Nm3 (Hornos y calderas) 5000 mg/Nm3 (Hornos de hidrosulfuración) 3000 mg/Nm3 FCC	50 mg/Nm3 (Hornos y calderas, FCC)	150 mg/Nm3 (Hornos y calderas) 100 mg/Nm3 FCC					
			150 mg/Nm3 (Recuperación de azufre)	3400 mg/Nm3							
<b>PERU D.S. 015-2006-EM</b> Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos MEXICO-NOM-CCAT-000-1994	460 mg/Nm3		150 mg/Nm3 para las unidades de recuperación de azufre; 500 mg/Nm3 para el resto de unidades		50 mg/Nm3			2 mg/Nm3	152 mg/Nm3	Olor: No ofensivo en el punto receptor	
<b>COLOMBIA Resolución 0909 de 2008</b> Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas (actividades industriales)	<b>Existentes</b>	<b>Nuevas</b>	<b>Existentes</b>	<b>Nuevas</b>	<b>Flujo contaminante</b>	<b>Existentes</b>	<b>Nuevas</b>				
	550 mg/Nm3	500 mg/Nm3	550 mg/Nm3	500 mg/Nm3	= < 0,5 kg/h	250 mg/Nm3	150 mg/Nm3				
					> 0,5 kg/h	150 mg/Nm3	50 mg/Nm3				

# Anexo No.4 Esquema propuesto de las plantas GSU y SWS.



**Anexo No.5:** Esquema propuesto del SRU con reactor de reducción. (Innovación tecnológica)

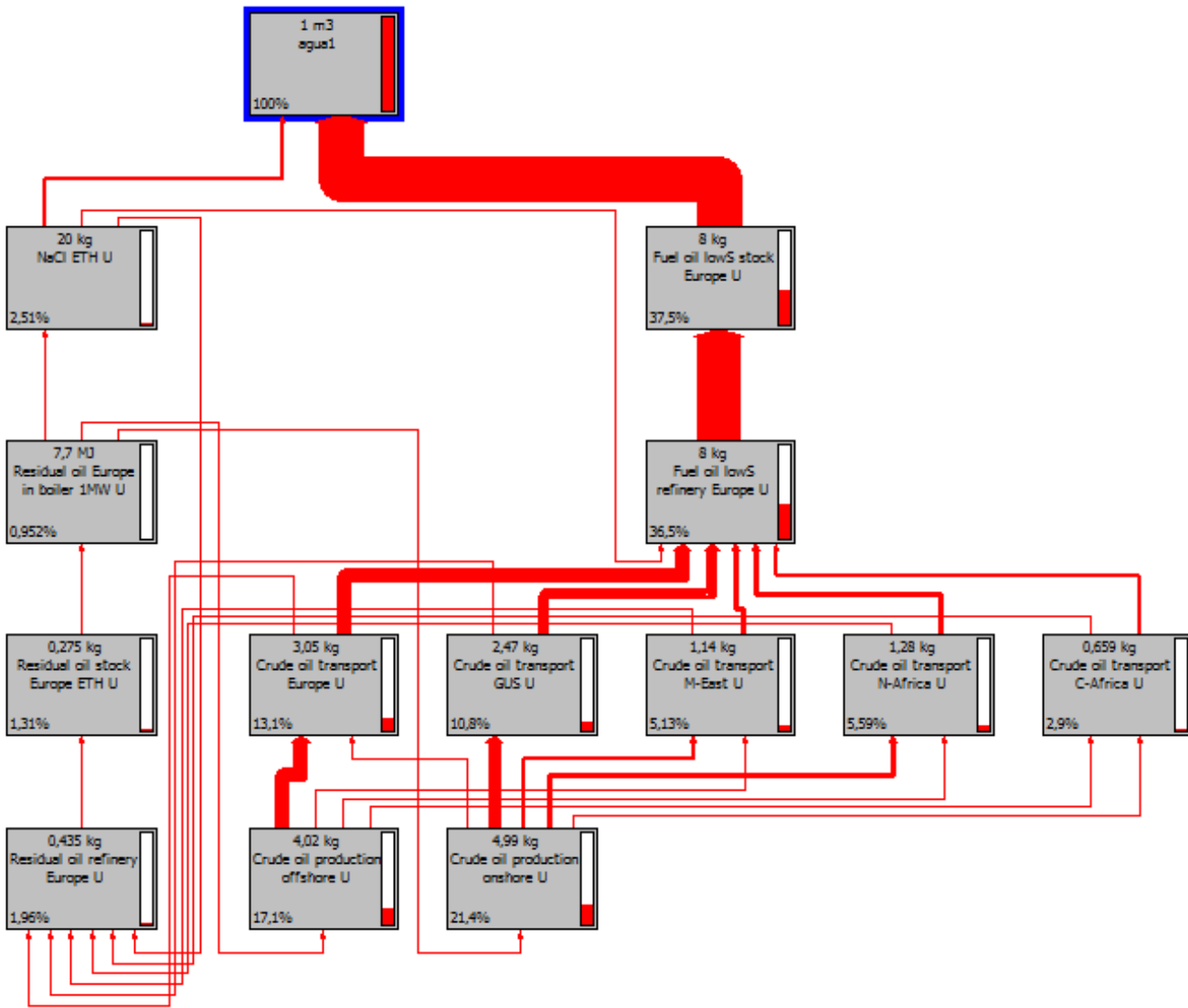


**AnexoNo.6:** Tabla de Inventario totales de las seis variantes. Fuente: Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.

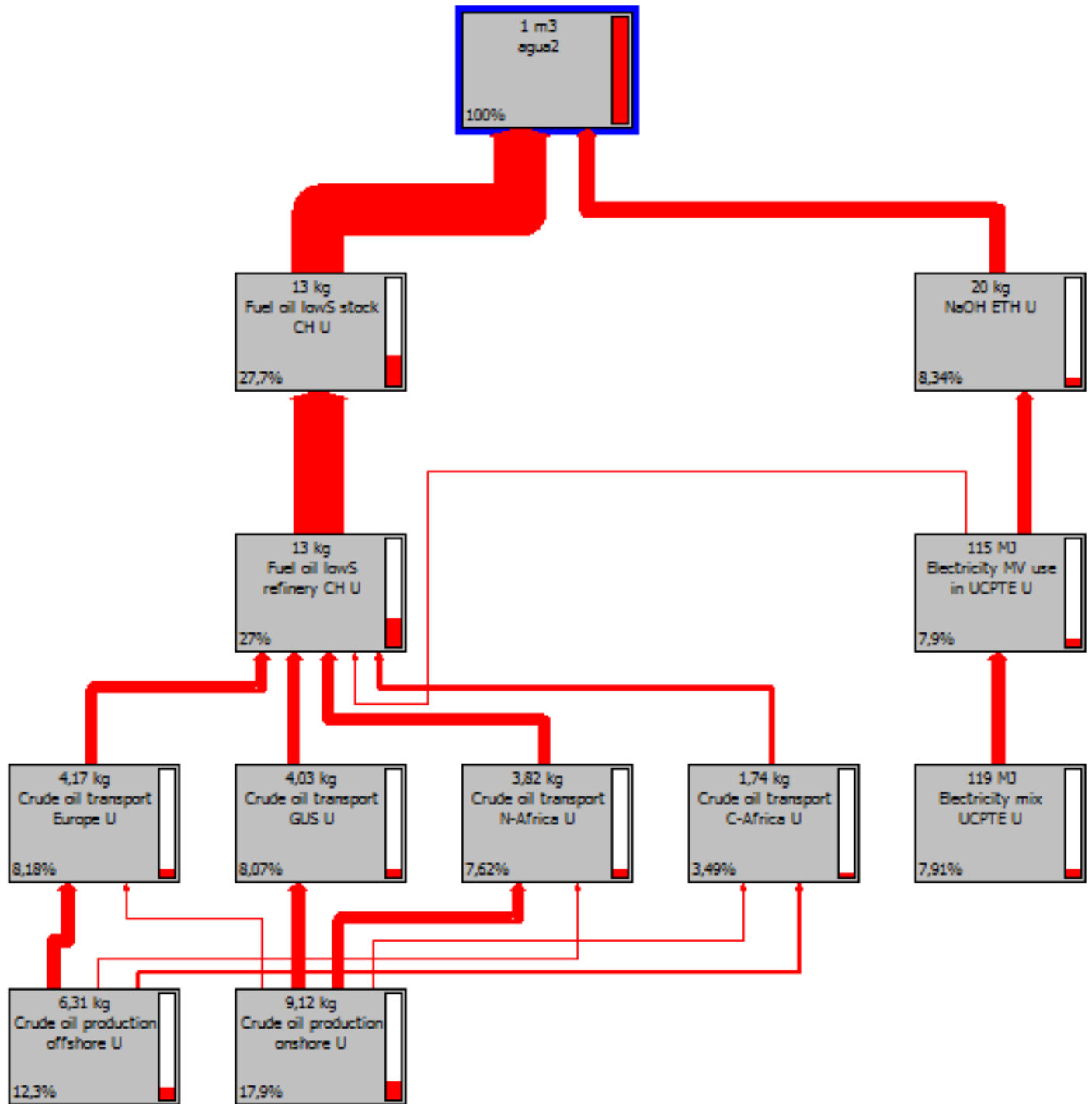
Sustancia	Compartimento	Unidad	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5	variante6
Total of all compartments		Pt	3,717926	7,531786	13,278	6,252863	4,935723	2,926554
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt	1,336788	2,14938	2,14938	2,696135	3,508727	2,674868
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	Crudo	Pt	0,0754	0,121228	0,121228	0,152004	0,197832	0,1508
Coal, 18 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt	0,032374	0,039568	0,039568	0,044837	0,052032	0,044683
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	Crudo	Pt	0,032791	0,034648	0,034648	0,036011	0,037869	0,035971
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt	0,007293	0,009866	0,009866	0,011662	0,014235	0,011599
Oil, crude, 42.7 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt				0,007693	0,015386	0,007693
Radon-222	Aire	Pt	0,000542	0,000733	0,000733	0,000867	0,001058	0,000862
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg	Crudo	Pt	0,000593	0,000739	0,000739	0,000847	0,000993	0,000844
Iron, in ground	Crudo	Pt	5,12E-05	7,77E-05	7,77E-05	9,85E-05	0,000125	9,8E-05
Tin, in ground	Crudo	Pt	1,31E-05	2,1E-05	2,1E-05	2,64E-05	3,44E-05	2,62E-05
Copper, in ground	Crudo	Pt	1,46E-05	2,04E-05	2,04E-05	2,53E-05	3,11E-05	2,52E-05
Oil, crude, 41 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt	0,008801	0,010058	0,011315	0,012572	0,012572	1,26E-05
Silver, in ground	Crudo	Pt	5,3E-06	8,53E-06	8,53E-06	1,07E-05	1,39E-05	1,06E-05
Zinc	Suelo	Pt	3,78E-06	6,05E-06	6,05E-06	7,58E-06	9,86E-06	7,52E-06
Manganese, in ground	Crudo	Pt	3,21E-06	4,75E-06	4,75E-06	6,17E-06	7,72E-06	6,16E-06
Chromium, in ground	Crudo	Pt	2,91E-06	4,25E-06	4,25E-06	5,44E-06	6,78E-06	5,43E-06
Occupation, industrial area	Crudo	Pt				2,52E-06	5,03E-06	2,52E-06
Arsenic	Suelo	Pt	1,2E-06	1,92E-06	1,92E-06	2,4E-06	3,12E-06	2,38E-06
Coal, 29.3 MJ per kg, in ground	Crudo	Pt				1,74E-06	3,47E-06	1,74E-06
Manganese	Suelo	Pt	8,43E-07	1,35E-06	1,35E-06	1,69E-06	2,2E-06	1,68E-06
Nickel, in ground	Crudo	Pt	8,48E-07	1,23E-06	1,23E-06	1,57E-06	1,95E-06	1,57E-06

Lead, in ground	Crudo	Pt	6,27E-07	8,97E-07	8,97E-07	1,16E-06	1,43E-06	1,16E-06
Mercury	Suelo	Pt	3,62E-07	5,83E-07	5,83E-07	7,31E-07	9,51E-07	7,25E-07
Cadmium	Suelo	Pt	1,25E-07	1,99E-07	1,99E-07	2,5E-07	3,24E-07	2,49E-07
Copper	Suelo	Pt	6,26E-08	1,01E-07	1,01E-07	1,26E-07	1,64E-07	1,25E-07
Nickel	Suelo	Pt	6,06E-08	9,74E-08	9,74E-08	1,22E-07	1,59E-07	1,21E-07
Zinc, in ground	Crudo	Pt	2,55E-08	3,74E-08	3,74E-08	4,85E-08	6,03E-08	4,84E-08
Lead	Suelo	Pt	1,79E-08	2,88E-08	2,88E-08	3,61E-08	4,7E-08	3,58E-08
Chromium	Suelo	Pt	1,69E-08	2,71E-08	2,71E-08	3,39E-08	4,41E-08	3,36E-08
Cobalt	Suelo	Pt	1,27E-08	2,04E-08	2,04E-08	2,55E-08	3,32E-08	2,53E-08
Molybdenum, in ground	Crudo	Pt	7,06E-10	1,14E-09	1,14E-09	1,16E-09	1,6E-09	1,13E-09
Cobalt, in ground	Crudo	Pt	1,69E-11	2,73E-11	2,73E-11	3,77E-11	4,82E-11	3,77E-11
Palladium, in ground	Crudo	Pt	2,37E-09	3,68E-09	3,68E-09	-4,4E-09	-3,1E-09	-5,2E-09
Rhodium, in ground	Crudo	Pt	1,35E-08	2,09E-08	2,09E-08	-2,5E-08	-1,7E-08	-2,9E-08
Platinum, in ground	Crudo	Pt	1,17E-07	1,81E-07	1,81E-07	-2E-07	-1,4E-07	-2,4E-07
Phosphorus	Suelo	Pt	0,000199	0,000199	0,000199	-0,00088	-0,00088	-0,00097
Sulfur dioxide	Aire	Pt				3,108977	0,777244	
Propane	Aire	Pt	0,000346	0,000692	0,000692			
Pentane	Aire	Pt	0,000311	0,000388	0,000388			
Methane	Aire	Pt	0,454826	3,411192	3,411192			
Hexane	Aire	Pt	0,019944	0,00057	0,019944			
Ethyne	Aire	Pt		1,67E-05				
Ethane	Aire	Pt	0,000242	0,000242	0,000169			
Carbon dioxide	Aire	Pt		0,009097	0,009097	0,181949	0,318411	
Butane	Aire	Pt	0,004846	0,000485	0,000692			
Ammonia	Aire	Pt	1,742534	1,742534	7,468001			

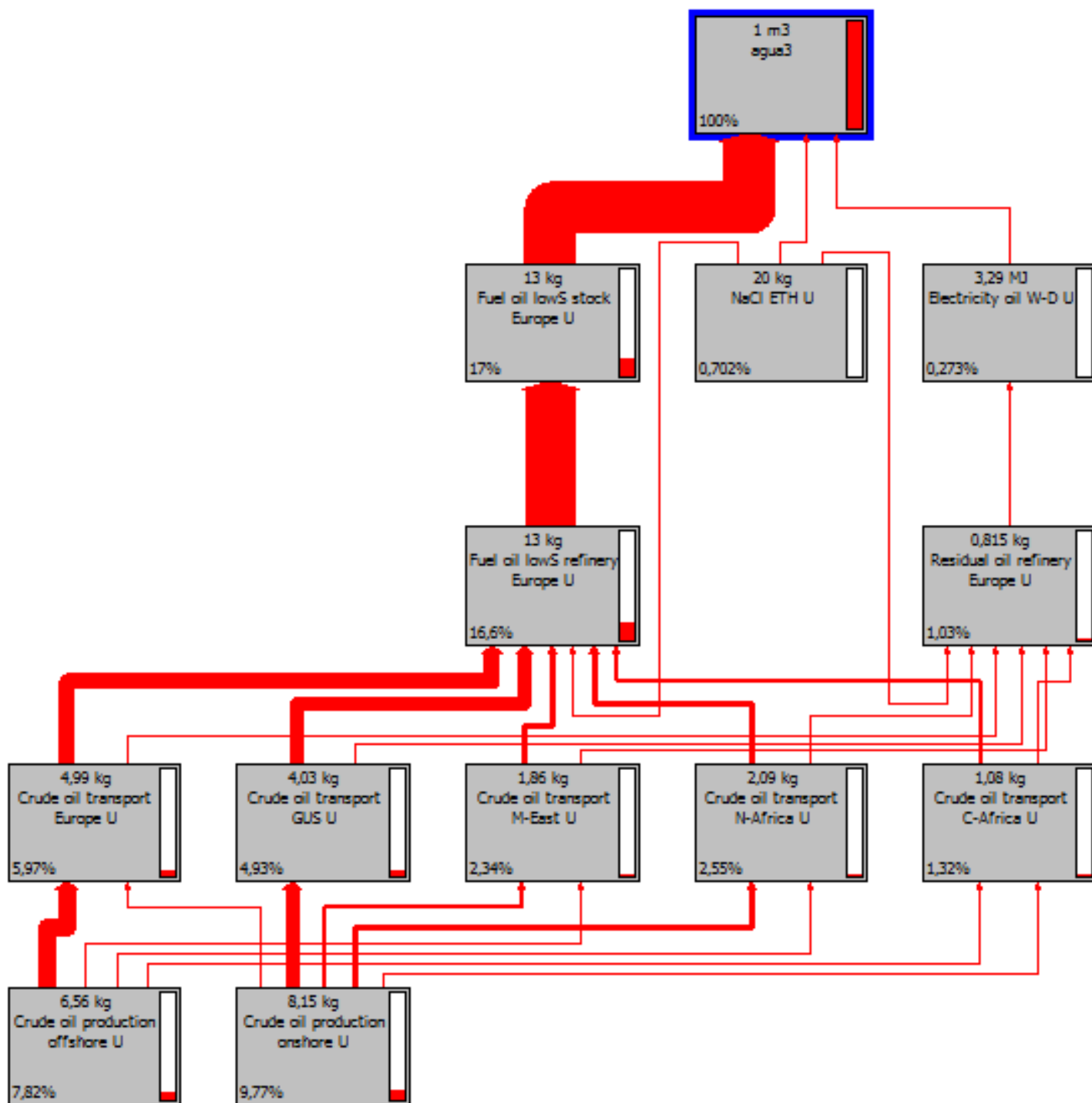
**AnexoNo.7:** Árbol de proceso de la **variante1** Fuente: Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



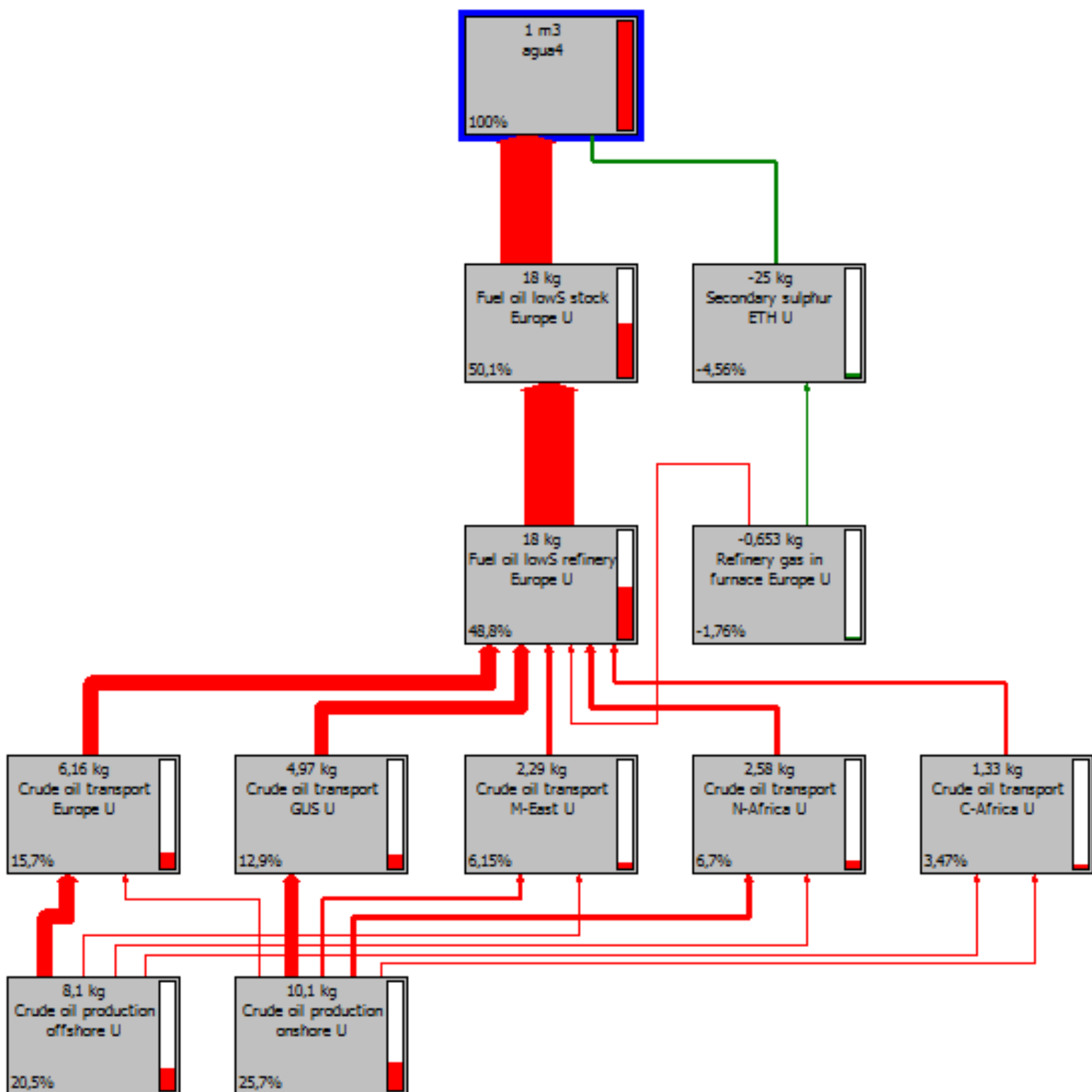
**AnexoNo.8:** Árbol de proceso de la **variante 2 Fuente:** Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



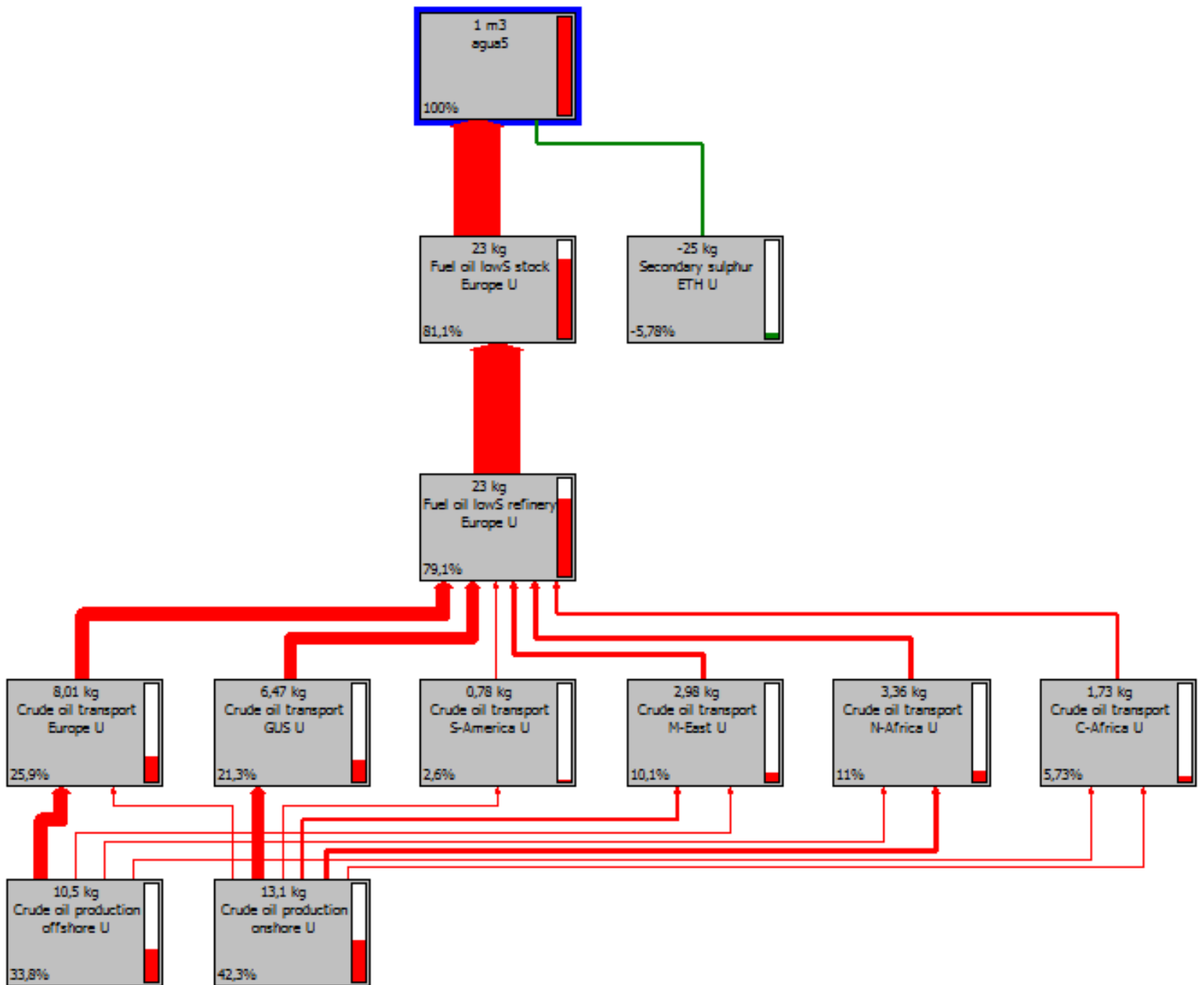
**AnexoNo.9:** Árbol de proceso de la **variante 3 Fuente:** Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



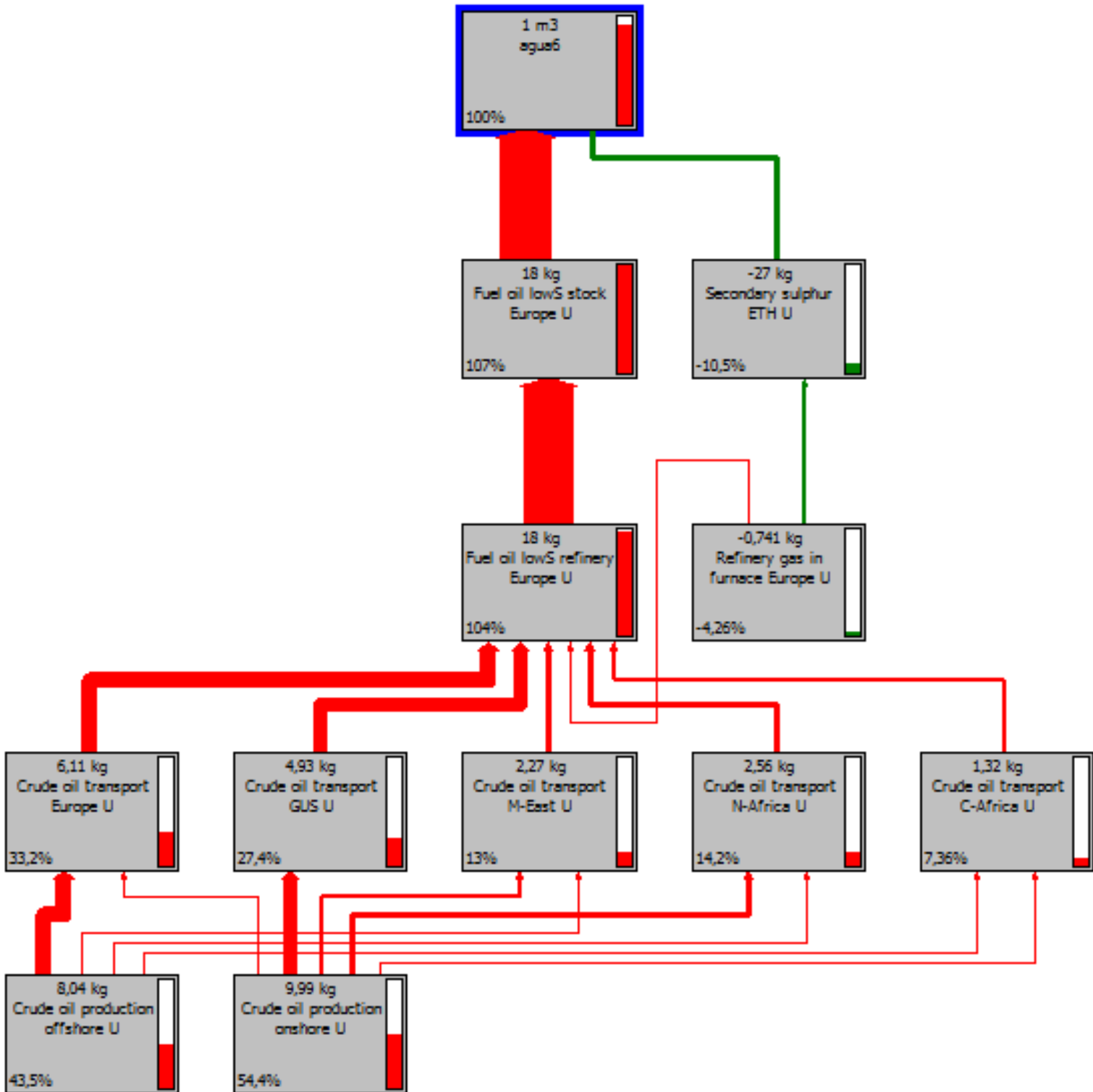
**AnexoNo.10:** Árbol de proceso de la **variante 4** Fuente: Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



**AnexoNo.11:** Árbol de proceso de la **variante 5** Fuente: Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



**AnexoNo.12:** Árbol de proceso de la **variante 6** Fuente: Elaboración Propia a partir del SimaPro 7.1.



**AnexoNo.13: Intensidad energética y conversión de los materiales, de euros a toneladas** Fuente: Doménech Quesada, 2007

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