



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE
CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA**

Inga. Mariaé García Zamora

Guatemala, Noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE
CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA**

Trabajo de Graduación

Presentado al comité de la Maestría en Energía y Ambiente por
Inga. Mariaé García Zamora

Al conferírsele el título de
Maestro en Energía y Ambiente

Guatemala, Noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V:	P.A. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO:	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
SECRETARIO:	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR:	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR:	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
EXAMINADOR:	Licda. Sully Margot Cruz Velásquez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA”

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados, con fecha octubre del 2009.


Inga. Mariae García Zamora

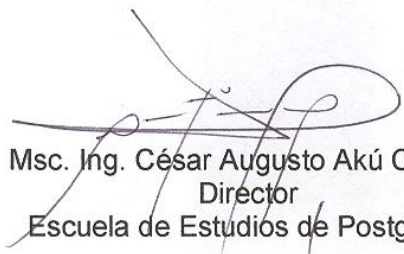
Universidad de San Carlos
de Guatemala

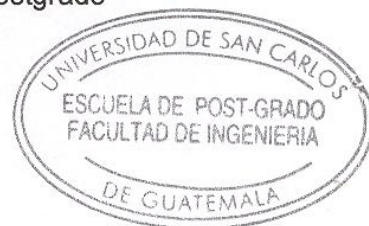


Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA**, presentado por la Ingeniera Ambiental **Mariaé García Zamora**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Noviembre de 2010.

/la.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA**, presentado por la Ingeniera Ambiental **Mariaé García Zamora**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Noviembre de 2010.

/la.

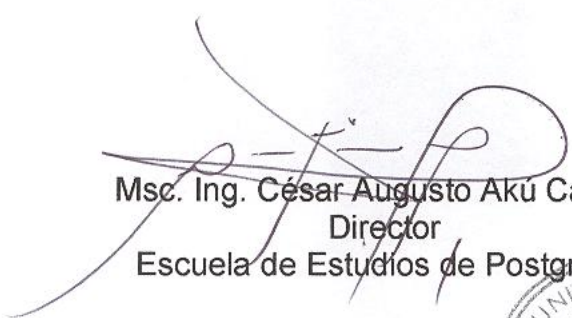
**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA** presentado por la Ingeniera Ambiental **Mariaé García Zamora**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Noviembre de 2010.

/la.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

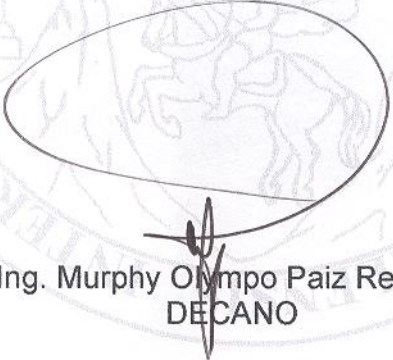


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 010.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN GUATEMALA**, presentado por la Ingeniera Ambiental **Mariaé García Zamora** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Noviembre de 2010

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS Por ser la luz y fuerza de mi vida.
- A MIS PADRES Por siempre apoyarme y alentarme a ser mejor cada día
- A MIS HERMANOS Por su apoyo incondicional.
- A MI FUTURO ESPOSO Por su amor, paciencia, amistad y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron tanto en mi formación, como en la realización de este trabajo de graduación, en especial a:

Romel García Prado

Ana Maria de García

Eduardo Saenz (Kuten)

Maiiú Díaz

Juan Gerardo Leiva

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vii
JUSTIFICACIÓN.....	ix
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	ix
OBJETIVOS.....	xi
HIPÓTESIS.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xv
I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Historia del origen de la producción de etanol carburante	1
1.2 Características y Usos de etanol carburante	4
1.2.1 Composición Química de la Caña.....	6
1.2.2 Proceso de Producción del Etanol	7
1.3 La importancia del etanol como combustible	11
1.4 Importancia del etanol en la energética sustentable de Guatemala	14
1.5 Problemas ambientales asociados a la producción de etanol	19
II. MARCO TEÓRICO	21
2.1 Conceptos y clasificaciones de procesos	21
2.2 Sistemas Integrados de Gestión (SIG)	22
2.3 Gestión ambiental, instrumentos más utilizados.....	25
2.4 Análisis del Ciclo de Vida	26
2.4.1 Normas que establecen las fases del ACV.....	27
2.4.2 Importancia del Análisis del Ciclo de Vida como herramienta de gestión ambiental.....	29
2.4.3 La incertidumbre y la subjetividad en el ACV.....	31
III. METODOLOGÍA.....	35
3.1 Procedimiento para desarrollar un Análisis del Ciclo de Vida.....	35
3.1.1 ETAPA 1 Definición de los objetivos y alcance del ACV	35
3.1.2 ETAPA 2 Análisis del inventario.....	39
3.1.3 ETAPA 3 Evaluación del impacto.....	41

3.1.4	ETAPA 4 Análisis de mejora	53
IV.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	55
4.1	ETAPA 1 Definición de los objetivos y alcance del estudio	55
4.1.1	Objetivo del estudio	55
4.1.2	Alcance del estudio.....	55
4.2	ETAPA 2 Análisis del inventario	57
4.2.1	Recolectar los datos	57
4.2.2	Construcción de los diagramas de procesos	71
4.2.3	Procesar los datos	75
4.3	ETAPA 3 Evaluación del impacto.....	75
4.3.1	Selección y definición de las categorías del impacto, indicador de la categoría y modelos de estimación	78
4.4	ETAPA 4 Análisis de mejora	89
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES	97
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Proyecciones de Producción de Etanol	4
Figura 1.2	Sistema de Producción de Etanol	9
Figura 1.3	Manejo de suelos de la Zona Cañera de Guatemala	14
Figura 1.4	Destino del Alcohol de Guatemala	14
Figura 1.5	Ciclo de vida de CO ₂ en la Producción de Etanol	18
Figura 1.6	Disminución de Gases de Efecto Invernadero por cultivo para la producción de etanol	19
Figura 2.1	Estructura del ACV	27
Figura 2.2	Etapas del análisis del ciclo de vida.....	29
Figura 3.1	Etapas de la metodología ACV	37
Figura 3.2	Método Eco-indicador 99. Representación detallada del modelo de daño	48
Figura 4.1	Diagrama de proceso de producción de caña	72
Figura 4.2	Diagrama de proceso de elaboración de melaza	73
Figura 4.3	Diagrama de proceso de producción de etanol	74
Figura 4.4	Diagrama de ciclo de vida de 1t de etanol	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Producción Etanol Guatemala 2009	15
Tabla 3.1	Categorías de impacto consideradas en los tres métodos del Programa SimaPro	42
Tabla 4.1	Mezcla de herbicidas, modo de acción y dosis de cada uno de los ingredientes activos utilizados	60
Tabla 4.2	Presentación de las diferencias fundamentales encontradas en cada uno de los métodos	77
Tabla 4.3	Categorías de impacto y de daño	78
Tabla 4.4	Valores correspondientes a la Normalización de las categorías de impacto	79
Tabla 4.5	Valores correspondientes a la Ponderación de las categorías de impacto	80

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1	Representación gráfica acumulativa de la comparación entre las distintas fases del ciclo de vida del etanol	81
Gráfica 4.2	Análisis comparativo entre el proceso de etanol y la melaza	82
Gráfica 4.3	Análisis comparativo entre la producción de melaza y la producción de caña	83
Gráfica 4.4	Análisis comparativo por sustancia según categoría de impacto	85
Gráfica 4.5	Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de Respiración de Inorgánicos	86
Gráfica 4.6	Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de calentamiento global	87
Gráfica 4.7	Análisis comparativo de los procesos con mayor influencia en la categoría de Calentamiento Global	88
Gráfica 4.8	Comparación entre la producción actual y la Variante I	90
Gráfica 4.9	Comparación entre la Producción actual de etanol y la Variante II	92
Gráfica 4.10	Comparación entre la Producción actual de etanol y las dos variantes de mejora.....	93
Gráfica 4.11	Comparación entre la Producción actual de etanol y las dos variantes de mejora.....	94

RESUMEN

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) constituye hoy en día una de las principales herramientas para valorar el desarrollo sostenible de las distintas producciones y servicios. El presente trabajo aplica esta metodología al etanol con las características de producción de Guatemala; para ello primeramente se realiza un análisis crítico de bibliografías relacionadas con el tema fundamentalmente la serie de normas NC-ISO 14 040, lo que permite proponer las técnicas más adecuadas que conllevan a la definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto ambiental y análisis de mejoras. Una vez definida la metodología se procede a validar con los datos del cultivo de la caña, producción de melaza y elaboración de etanol; determinando que los principales problemas ambientales están concentrados en el uso de energías no renovables por el uso del diesel como combustible en el proceso de cultivo y cosecha de caña, el calentamiento global por la emisión de dióxido de carbono (CO₂) generadas por la combustión del diesel y de la fermentación del vino. Se proponen medidas de mejora para disminuir estos impactos basadas en la implementación de tecnología que pudiera reducir, en el cultivo de la caña el uso de diesel, principalmente en la actividad de riego. Se finaliza con un conjunto de conclusiones y recomendaciones sobre la metodología empleada.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente en Guatemala aún no se conoce una metodología para que permita analizar un proceso de producción y evaluar los impactos ambientales de cada una de sus etapas, por tal razón, el análisis de ciclo de vida de la producción de etanol es de vital importancia, ya que este garantiza la ecoeficiencia y el desarrollo sustentable dentro del proceso productivo. Así mismo, el ACV puede reducir los costos porque identifica las pérdidas que puedan existir en el proceso; pérdidas de materia prima, energía, agua, entre otras y con esto, disminuir también el impacto ambiental y social que el proyecto pueda provocar, debido a que se identifican y se crean soluciones directas al impacto que se presenta.

Es por esto que esta herramienta es muy útil para conocer el balance ambiental y la ecoeficiencia de una empresa creando un plan de mejora que ayuda a reducir la brecha que pueda existir.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la metodología más acertada para determinar el ciclo de vida del etanol bajo las condiciones en Guatemala?, ¿Cómo proponer un plan de mejora ambiental para estas producciones a partir de sus resultados?

OBJETIVOS

General

1. Proponer una metodología para el análisis del ciclo de vida del etanol bajo las condiciones de producción en Guatemala.

Específicos

1. Analizar información existente sobre el análisis del ciclo de vida del etanol como biocombustible.
2. Aplicar un procedimiento metodológico mediante las normas ISO 14 000 y el programa SIMAPRO para determinar en el ciclo de vida de este producto bajo las condiciones de Guatemala.
3. Definir el alcance del estudio para el desarrollo del análisis del ciclo de vida del etanol a partir de la caña de azúcar.
4. Elaborar un inventario productivo de cada uno de los procesos que intervienen en el ciclo de vida del etanol proveniente de la caña de azúcar.
5. Determinar el método de análisis más adecuado para este estudio, según los indicadores que se presentan.
6. Evaluar y cuantificar los impactos ambientales en la producción de etanol obtenido de la caña de azúcar a lo largo de su ciclo de vida.
7. Proponer estrategias para el análisis de mejora según los impactos obtenidos.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

Ho: La aplicación de una metodología de análisis de ciclo de vida a la producción de etanol en Guatemala mediante las normas ISO 14 000 y el software SIMAPRO, permitirá determinar la sustentabilidad de dicha producción y proponer un ciclo de mejora ambiental de la misma.

Hipótesis alterna

Ha: La aplicación de una metodología de análisis de ciclo de vida a la producción de etanol en Guatemala mediante las normas ISO 14 000 y el software SIMAPRO, no permitirá determinar la sustentabilidad de dicha producción y proponer un ciclo de mejora ambiental de la misma.

INTRODUCCIÓN

La obtención de combustibles a partir de diferentes tipos de biomasa, y en especial cultivos, ha sido explorada por mucho tiempo. En los últimos años la atención en esos productos ha aumentado notablemente debido a varios factores, tales como las alzas en el precio de los hidrocarburos que han obligado a buscar fuentes de energía substitutivas, y las esperanzas en que permitirán reducir los impactos ambientales del cambio climático. (1)

Los efectos que el desarrollo de la sociedad ha provocado sobre el planeta se han convertido en problemas a nivel global. Términos tales como “disminución de la capa de ozono”, “lluvia ácida”, “calentamiento global”, “desertización” y otros muchos han pasado a formar parte de noticias y conversaciones. Por lo que, al mismo tiempo se han llevado a cabo acciones dirigidas a evitar estos efectos negativos utilizando herramientas y metodologías para conocer la causa del problema y así prevenir y/o contrarrestar con medidas y soluciones aplicables.

El incremento de la demanda energética se asocia principalmente al crecimiento y desarrollo de las naciones, especialmente en las áreas de transporte automotor y, dado que su desarrollo tecnológico está hoy relacionado con el uso del petróleo, en particular la gasolina y el diesel, productos que ocasionan evidentes efectos ambientales negativos. Por otra parte, muchos países presentan una tendencia creciente en el consumo de energéticos que supera su capacidad de autosuficiencia, lo que genera una dependencia de los países productores de petróleo. Para romper dicha dependencia y contrarrestar los efectos ambientales en el uso de derivados del petróleo, los biocombustibles aparecen como elementos esenciales de las políticas energéticas de la actualidad.

El etanol, obtenido a partir de la biomasa, surge como la mayor fuente de energía renovable y se espera que esta tendencia continúe en el futuro, dado los variantes precios del petróleo y la gasolina, la prohibición del MTBE, y la dependencia del crudo importado causa preocupación en muchos países. La principal fuente de biomasa para la producción de etanol está en el sector azucarero.

Guatemala es el principal productor de azúcar de Centroamérica y capaz de proveer este producto a toda la región, es por esto que ya ha empezado a generar etanol a partir de la caña de azúcar. Ahora, a través de reformas en la legislación, Guatemala está estudiando la posibilidad de mezclar el etanol producido para abaratar los costos de los combustibles en el área como parte de un plan energético, en donde se podría llegar a una mezcla de etanol con la gasolina para tratar de bajar su precio y poder contar con un combustible más económico y menos contaminante.

En el año 2002, los líderes de varios gobiernos del mundo y representantes de la industria y la sociedad civil se reunieron en el encuentro mundial para el Desarrollo Sustentable, en Johannesburgo. En esta reunión los participantes analizaron las fallas y los éxitos de los últimos treinta años, anticipando los compromisos y los obstáculos que tendrá la humanidad en relación a los desafíos del Desarrollo Sustentable. Uno de los resultados de esta reunión, es un Plan de Implementación para cambiar los patrones no sustentables de consumo y producción. Entre los elementos del plan hay un llamado para: “mejorar los productos y servicios a la vez que se reducen los impactos en salud y medio ambiente, usando donde sea apropiado, modelos científicos como el análisis de ciclo de vida (ACV)”. (2)

El Análisis del Ciclo de Vida, una herramienta, que se basa en el desarrollo de una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, mediante: la recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas; la interpretación de los resultados de las fases del análisis del inventario y evaluación del impacto de acuerdo con los objetivos del estudio. Por lo que, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad; identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los residuos que genera; es una herramienta que permite lograr el desarrollo sostenible y la eco eficiencia de las producciones y servicios.

En los últimos años, el PNUMA y la SETAC, por medio de grupos de trabajo buscan unificar las metodologías utilizadas en el mundo en las áreas de inventario de ciclo de vida, la evaluación de impacto de ciclo de vida y la administración (Life Cycle Management), en la llamada Iniciativa de Ciclo de Vida (Life Cycle Initiative). Esta iniciativa toma como base los estándares de ISO 14040 y busca establecer enfoques de mejores prácticas para una economía de ciclo de vida.

Por lo que, el objetivo general de este estudio es analizar el producto de etanol carburante según las características de producción de Guatemala; a través de la herramienta de Análisis del Ciclo de Vida, donde se busca comprobar su funcionalidad en la evaluación de impactos y daños ambientales logrando obtener un análisis de mejora en los procesos del producto, según la metodología de las normas ISO 14040.

I. ANTECEDENTES

1.1 Historia del origen de la producción de etanol carburante

Los primeros esfuerzos de producción de biocombustibles líquidos se remontan a los primeros días del automóvil. Sin embargo, éstos fueron rápidamente reemplazados por un petróleo barato, el cual se mantuvo sin grandes competidores hasta la crisis del petróleo de los años 1970s, la que indujo a los gobiernos a explorar fuentes de combustibles alternativas.

En 1975, el Gobierno de Brasil lanzó el Programa Nacional de Alcohol, llamado PROALCOOL, para reemplazar gasolina importada por bioetanol, producido a partir de caña de azúcar cultivada localmente. Fue entonces que los biocombustibles comenzaron a ser vistos como una alternativa seria al petróleo. Sin embargo, el interés en los biocombustibles disminuyó una vez finalizada la crisis del petróleo hacia fines de los 1970s comienzos de los 1980s.

El renovado interés que existe en los biocombustibles hoy en día se ha reflejado en una rápida expansión en su mercado global en los últimos cinco años. Por qué las fuerzas motoras que comúnmente se citan tras el desarrollo actual del mercado de los biocombustibles incluyen: el actual alto precio del petróleo, oportunidades para lograr una mayor seguridad energética y ahorro de divisas a través de menores importaciones de petróleo. Sin embargo, lo que es nuevo en este renovado interés y que presenta a los biocombustibles como una opción seria para reemplazar parcialmente al petróleo como combustible para el transporte, son sus supuestas reducidas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Esto ayudaría a los países a combatir el problema del calentamiento global y les permitiría cumplir con sus compromisos asumidos en el Protocolo de Kyoto. Más aún, la experiencia de Brasil muestra que los biocombustibles pueden promover el desarrollo rural y ofrecer oportunidades de exportación. (3)

En América Latina y el Caribe se producen agro-combustibles por lo menos en diez países: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Paraguay y Perú. Por lo menos cuatro países exportan agro-combustibles a partir de sus propios cultivos. Existen programas en marcha en casi todos los países y por lo tanto la lista de productores se encuentra en continuo aumento. Además, algunos países centroamericanos y caribeños importan etanol hidratado para procesarlo, y exportarlo hacia otros destinos.

Los principales cultivos utilizados en la región son caña de azúcar y soja; por lo menos otros nueve cultivos también se aprovechan en áreas menores o lo serán en un futuro inmediato (tales como la palma aceitera, ricino, maíz, colza, girasol, sorgo, trigo, mandioca, etc.). Los cultivos potencialmente utilizables en la región ascienden a más de 14 variedades. (3)

La mayor parte de los países industrializados han establecido políticas para aumentar la proporción de biocombustibles en sus respectivas matrices energéticas.

La Unión Europea ha fijado como objetivo que un 10% de su consumo de combustibles del año 2020 provenga de las biomasas. La Unión Europea es un pequeño productor de bioetanol, pero muy importante de biodiesel (especialmente Alemania), aunque sus costos de producción son altos. Se generaron 902 millones litros de bioetanol y 458 millones litros de biodiesel que se obtienen de un mayor número de variedades. (1)

Por su parte, en Estados Unidos el presidente G.W. Bush, durante su gobierno, presentó su plan “Veinte en Diez” que pretende reducir en 20% el uso de gasolina durante los próximos diez años. Entre otras cuestiones, esto presupone aumentar el suministro de combustibles renovables y alternativos alcanzando los 35,000 millones de galones (unos 132,000 millones litros) de combustibles alternativos en 2017, lo que representa el 15% del consumo anual de gasolina esperado para esa fecha. En cuanto al uso doméstico, los representantes de las grandes fábricas de automóviles (General Motors, Ford y Chrysler), en un encuentro con el presidente Bush, se comprometieron a que la mitad de su producción hacia el 2012 será de vehículos que funcionarán con una alta proporción en base a bioetanol. Finalmente, Japón está dando los primeros pasos para ampliar su consumo de bioetanol, primero a gasolinas adicionadas al 3% y luego al 10%. Se espera que Japón compre 1,8 millones litros/año a Brasil para atender esa demanda. Estas medidas tendrán un impacto directo en promover el aumento de la producción de biocombustibles en América Latina. (5)

Los estudios de prospectivas indican que la producción de combustibles originados en productos agrícolas tendrá una importante expansión en los próximos 3-4 años, y eso desencadenará muchos cambios en las relaciones de precio y suministro especialmente en la producción agropecuaria. El horizonte para incrementar la producción es muy amplio: si se apunta a que el actual volumen de consumo de combustibles pase a ser cubierto por agro-combustibles, se necesitarían 30 millones barriles etanol/día, y 23 millones barriles de biodiesel/día, lo que significa tener bajo cultivo 300 millones has de caña de azúcar, o 225 millones has de palma. (4)

La mayor parte de la nueva demanda se origina en los países industrializados. En el caso de América Latina, el aumento del uso de ese tipo de combustibles es más modesto, y se estima en el 3% de la demanda de energía primaria. (6)

En la figura 1.1 se muestran las proyecciones de producción de etanol a nivel mundial.

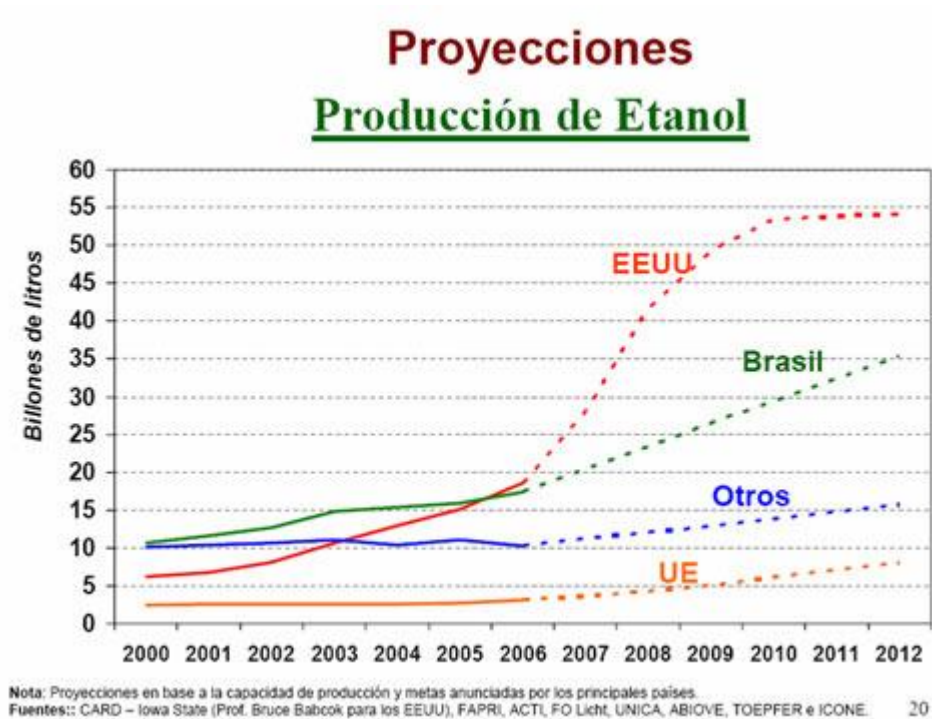


Figura 1.1 Proyecciones de Producción de Etanol (7)

1.2 Características y Usos de etanol carburante

Las materias primas vegetales más comunes para la producción de etanol son aquellas ricas en Hidratos de Carbono, las cuales pueden agruparse en directa o indirectamente fermentables.

De acuerdo con esas categorías, las directamente fermentables no requieren de transformación previa en Carbohidratos, como acontece con la Sacarosa, la Glucosa y la Fructuosa. En el caso de las fuentes Indirectamente Fermentables si es necesario realizar la conversión previa en Carbohidratos, para someterlas luego a fermentación con el objeto de que puedan ser asimiladas por la Levadura Alcohólica, tal es el caso de los Almidones y la Celulosa.

Las principales fuentes de Carbohidratos de acuerdo con esos criterios son:

Directamente Fermentables Sacarino (tallos)

- Glucosa: Pulpa de Frutas
- Fructuosa: Pulpa de Frutas
- Sacarosa: Caña de Azúcar, Remolacha Azucarera, Sorgo

Indirectamente Fermentables

- Almidón: Yuca, Maíz, Camote, Papa, Granos de Cereales, Tubérculos, Bananos
- Celulosa: Madera, Bagazo y Paja de Caña, Cáscaras de Maní, Tusa de Maíz, Paja de Arroz, Palma.

Aunque todas esas fuentes de Carbohidratos puedan ser fermentadas, deben considerarse inicialmente aquellas que presentan alta concentración de ese componente en la materia prima, para lo cual debe a su vez presentar alta productividad agrícola (t/ha), rendimiento de etanol y rentabilidad (\$/litro). (7)

Una de las materias primas más utilizadas para la producción biocombustibles es el etanol, y cerca del 60 por ciento de la producción global de etanol proviene de la caña de azúcar y el resto de otros cultivos. Esta notable ventaja que posee la caña de azúcar respecto a otros productos se debe a su composición química. (3)

1.2.1 Composición Química de la Caña

En términos generales, la composición química de la caña de azúcar es la resultante de la integración e interacción de varios factores que intervienen en forma directa e indirecta sobre sus contenidos, variando los mismos entre lotes, localidades, regiones, condiciones del clima, variedades, edad de la caña, estado de madurez de la plantación, grado de despunte del tallo, manejo incorporado, periodos de tiempo evaluados, características físico-químicas y microbiológicas del suelo, grado de humedad (ambiente y suelo), fertilización aplicada, entre muchos otros. (8)

La Caña está constituida principalmente por Jugo y Fibra, siendo la Fibra la parte insoluble en agua formada por Celulosa, la que a su vez se compone de azúcares simples como la Glucosa (Dextrosa). A los Sólidos Solubles en agua expresados como porcentaje y representados por la Sacarosa, los Azúcares Reductores y otros componentes, comúnmente se les conoce como Brix. La relación entre el contenido de Sacarosa presente en el jugo y el Brix se denomina Pureza del Jugo. El contenido “Aparente” de Sacarosa, expresado como un % en peso y determinado por polarimetría, se conoce como “Pol”. Los Sólidos Solubles diferentes de la Sacarosa, que contempla los Azúcares Reductores como la Glucosa y la Fructuosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, se denominan usualmente “No Pol” o “No Sacarosa”, los cuales corresponden porcentualmente a la diferencia entre Brix y Pol. (8)

Además de los Azúcares contenidos en el jugo, existen también otros constituyentes químicos de naturaleza orgánica e inorgánica, representados por Sales de Ácidos Orgánicos, Minerales, Polisacáridos, Proteínas y otros No Azúcares. La calidad de los jugos afecta el procesamiento de la Caña y la recuperación de la Sacarosa en la fábrica. El contenido de Almidones en el jugo

es bajo (aproximadamente entre 50 y 70 mg/l); se ha encontrado que esta es una característica muy ligada a las variedades, que puede ser modificada (reducida) mediante prácticas agrícolas como el riego y la fertilización con potasio. (8)

De la composición de la Caña, el 99% corresponde a los elementos Hidrógeno, Carbono y Oxígeno. Su distribución en el tallo es de aproximadamente un 74,5% de agua, 25% de Materia Orgánica y 0,5% de Minerales.

Para muchos tecnólogos y especialistas, la Caña como materia prima se constituye fundamentalmente de Fibra y Jugo. (8)

La Fibra se define como la fracción de sustancias insolubles en agua que tiene interés no sólo por su cantidad sino también por su naturaleza, y el jugo como una solución diluida e impura de Sacarosa. La calidad y contenido del jugo depende en un alto grado de la materia prima que le dio origen.

Los altos contenidos porcentuales de Fibra dificultan la extracción del jugo retenido en las células del tejido parenquimatoso del tallo, lo que implica y obliga a efectuar una excelente preparación de la materia prima para su molienda, procurando alcanzar una mayor desintegración y ruptura de las células que contienen el jugo. Un bajo contenido porcentual de fibra resulta negativo, debido a que la cantidad de Bagazo se reduce, afectando el Balance Energético del Ingenio. (8)

1.2.2 Proceso de Producción del Etanol

El alcohol etílico (C_2H_5OH) o etanol puede ser producido por rutas biológicas o petroquímicas. En el primer caso, se trata de un biocombustible (combustibles renovables de origen biológico) y su obtención resulta esencialmente de dos

procesos: fermentación y destilación. Durante la fermentación, soluciones azucaradas (mosto) se transforman en soluciones alcohólicas (vino), que posteriormente en la destilación son separadas en etanol y residuo acuoso (vinaza). El etanol producido en un sistema de destilación convencional contiene alrededor de 5% de agua y es denominado etanol hidratado; cuando este etanol es procesado en columnas posteriores de deshidratación, se obtiene el etanol anhidro, con menos de 1% de agua. (9)

Para la producción de etanol carburante (alcohol anhidro) son básicamente tres procesos principales: (7)

- Fermentación: proceso en el cual las levaduras se comen el azúcar de la materia prima y generan etanol y dióxido de carbono
- Destilación: es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla.
- Deshidratación: Proceso en donde se le elimina el agua a la mezcla, para obtener un grado de pureza de etanol a un grado de 99.6 grados de pureza y que puede ser utilizado como etanol carburante

En la figura 1.2 se presenta el sistema de producción de etanol en todas sus fases

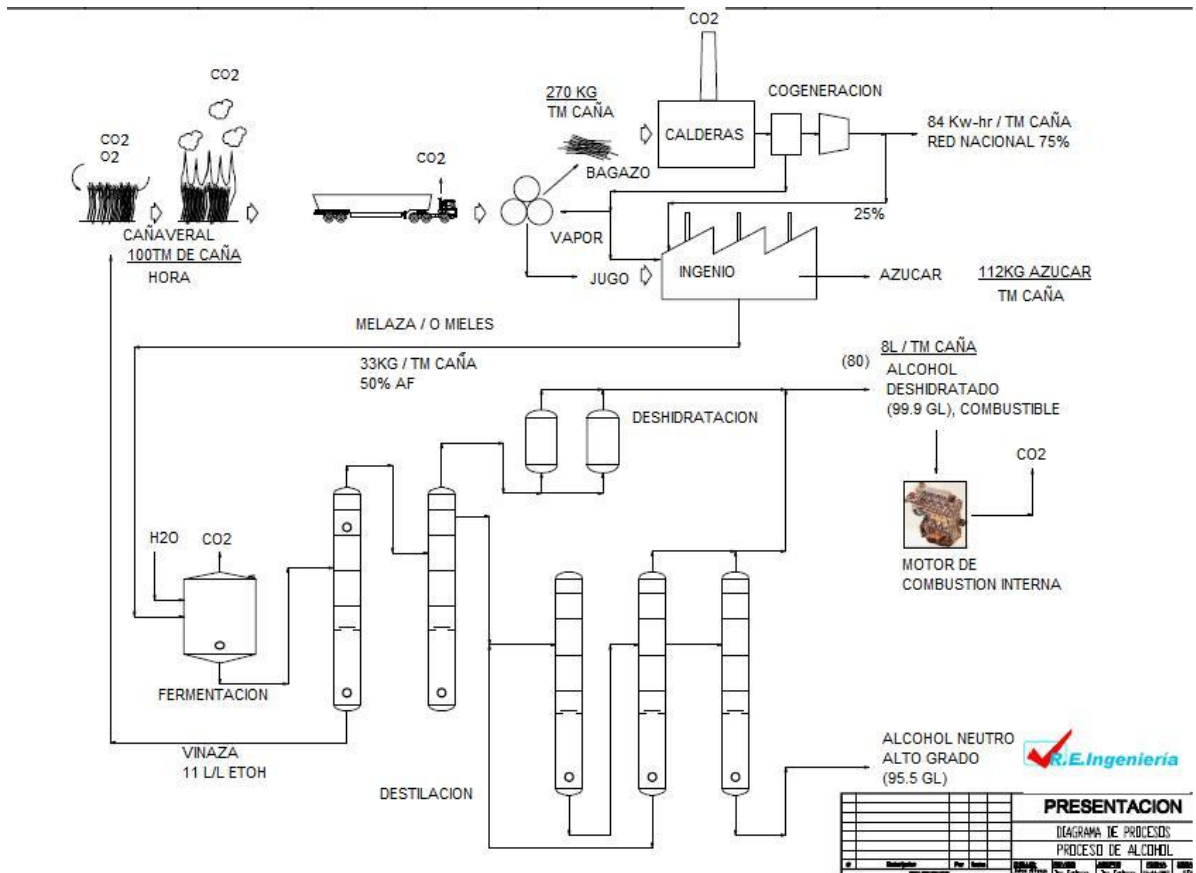


Figura 1.2 Sistema de producción de etanol

(39)

Pocos discuten que el modelo energético de las sociedades desarrolladas no es sustentable. La dependencia de los combustibles fósiles se analiza desde todos los enfoques posibles. Ocupa ríos de tinta cuando una crisis geopolítica, o un huracán, ponen en cuestión el suministro de petróleo, o cuando los precios suben por estos motivos o por el incremento de la demanda en las grandes economías emergentes. Las cifras de emisiones a la atmósfera también reciben una atención preferente, cada pocos meses, en el contexto de cuestiones que preocupan especialmente a la opinión pública como el cambio climático o la calidad del aire.

Todos los focos se dirigen hacia nuestra dependencia de los combustibles fósiles, pero a menudo no se conocen suficientemente los esfuerzos que se realizan para cambiar de modelo. Y si el modelo no es sustentable, la prioridad debe situarse precisamente en las iniciativas para poner en pie uno alternativo. Por lo que sabemos, este modelo es múltiple, no depende sólo de elegir otro combustible, más seguro o menos contaminante.

Un nuevo modelo energético sustentable debe tener mucho que ver con la eliminación de consumos irracionales, con el ahorro energético, con nuevas tecnologías de transporte, con pautas de consumo y de vida distintas, con la utilización de combustibles alternativos. Poner en pie ese nuevo modelo implica transformar nuestras sociedades. (10)

Esta situación debe por su importancia, trascendencia y actualidad, despertar el interés y la atención de los países potencialmente afectados, sometiendo a revisión y estudio los recursos disponibles y sus necesidades energéticas, procurando diagnosticar y principalmente evaluar la viabilidad real de aprovechamiento de las Fuentes Alternativas de Energía Renovables en el plano nacional.

El uso de la energía solar surge desde esta perspectiva como una opción inteligente que ofrece una elevada viabilidad técnica y también económica, por el empleo racional de los recursos naturales renovables y las enormes capacidades que el país dispone en esta materia.

La biomasa producida es luego transformada en productos que poseen la capacidad energética de sustituir los derivados del petróleo, tal como ocurre con el Alcohol (Anhidro) Carburante o Etanol (Barreto, 1980). (8)

Los beneficios asociados a los biocombustibles se han reflejado en un

creciente número de países introduciendo o planeando introducir políticas para incrementar la proporción de los biocombustibles dentro de su matriz energética. El abastecimiento de esta mayor demanda mundial requiere importantes y rápidos incrementos de producción. Por ejemplo, el objetivo de la UE de alcanzar un 5,75 por ciento de contenido de biocombustibles dentro de la mezcla de combustible para el transporte hacia el año 2010 requerirá incrementar en cinco veces la producción de la UE. Con la implementación del Protocolo de Kyoto y las distintas medidas domésticas para los biocombustibles se espera que la producción mundial de biocombustibles se cuadruple en los próximos veinte años, dando cuenta para entonces de cerca de un 10 por ciento de los combustibles para motores. (3)

Actualmente sólo pequeñas cantidades de biocombustibles se transan en los mercados internacionales ya que la mayoría se consume domésticamente. Sin embargo, se espera que el comercio internacional de biocombustibles se expanda rápidamente dado que numerosos países no tendrán la capacidad doméstica para abastecer sus mercados internos. Los gobiernos necesitarán crear las condiciones tanto en el nivel global como nacional para acomodar la mayor producción y comercio.

1.3 La importancia del etanol como combustible

En los estudios realizados sobre etanol carburante se ha comprobado que este, como combustible, tiene un octanaje muy alto y cuando se mezcla el etanol con la gasolina, el octanaje de la gasolina aumenta hasta tres unidades, sin usar aditivos dañinos para la salud como el actual oxigenante MTBE. (7)

El Metil-Ter-Butil-Eter, o MTBE (C₅H₁₂O), es un componente químico derivado del petróleo y se utiliza actualmente en varios países para oxigenar la gasolina, con el objetivo de aumentar el octanaje, reducir las emisiones y mejorar el medio ambiente; este vino a sustituir al plomo. El MTBE normalmente representa entre 10 y 15 por ciento del volumen de la gasolina. En los estudios realizados sobre este componente, se ha comprobado que conlleva a grandes impactos ambientales, debido a que el MTBE es altamente volátil y soluble en agua. La contaminación puede ocurrir por fugas en los tanques de almacenamiento o derrames en los sistemas de transporte de combustibles (gasolinas). (7)

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha incluido el MTBE en su lista de contaminantes de agua potable. Adicionalmente ha determinado que es potencialmente cancerígeno con base en estudios experimentales con ratones expuestos a grandes dosis del químico. Por estas razones los Estados Unidos y otros países han prohibido el uso del MTBE y han pedido que se sustituya por otro producto. Como un ejemplo, la ciudad de Santa Mónica (California) tuvo que cerrar casi todos sus pozos de agua debido a la contaminación del MTBE y ahora tienen que comprar el agua potable a otros estados. Para tener una idea, un galón de gasolina que contiene 10% de MTBE, puede contaminar casi ocho millones de agua potable y convertirla en no potable. En otra relación es que tomaría menos de una cucharadita de gasolina para contaminar una piscina de 10,000 galones de agua. Al día de hoy son veintisiete estados de los Estados Unidos que han dejado de utilizar el MTBE. (7)

La alternativa más viable para sustituir el MTBE por otro oxigenante es el etanol, que dentro de las ventajas de esta sustitución están: (7)

- Es un combustibles renovable

- Es biodegradable
- Es de mayor octanaje que la gasolina
- Reduce los gases de efecto de invernadero
- No es cancerígeno

El etanol (alcohol carburante) se puede mezclar con la gasolina en diferentes proporciones. En Estados Unidos, el etanol es una mezcla de 90% de gasolina y 10% de etanol absoluto. En Brasil consiste ya sea en una mezcla al 20% de etanol ó 100% de etanol sin gasolina.

Las tecnologías fundamentales de la fermentación, destilación y deshidratación del etanol se desarrollaron ampliamente durante la II Guerra Mundial. En aquella época, algunos países utilizaron 100% de etanol como combustible para los automóviles. Otros países producían etanol con fines industriales.

En 1980 Bardiya y colaboradores utilizaron una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* para el reciclamiento de las células de levadura en ciclos subsecuentes de la fermentación de las mieles. Encontraron que después de completarse un ciclo de fermentación quedaban suficientes células viables para dos ciclos adicionales, pero para ciclos posteriores, era necesario añadir 500 ppm de urea como suplemento del medio a fin de reducir el tiempo de fermentación.

Otro aspecto de suma importancia en la fabricación de etanol es el manejo de los residuos de la fermentación. El volumen de los residuos de la fermentación es de 8 a 13 veces el volumen de alcohol (etanol) producido. Según las experiencias obtenida en Brasil, un litro de residuos (de miel de caña) equivale a las aguas negras domésticas producidas por 1.43 personas; esto es, cada galón de etanol (3.8 l) producido equivale a la carga de contaminación de 40 a

70 personas. En el caso de una destilería de tamaño promedio que procesa 200 t por día de mil de caña, el residuo de la destilación es similar a las agua cloacales de una ciudad con un millón de habitantes. (11)

1.4 Importancia del etanol en la energética sustentable de Guatemala

En Guatemala la obtención de etanol proviene de la caña de azúcar, la cual es cultivada principalmente en el sur del país. Esta abarca desde la parte baja de la cadena volcánica (zona alta y media) hasta los valles de la costa del océano Pacífico (zona baja). En esta región se cuenta con una diversidad de condiciones climáticas y edafológicas. En los estratos altos y medios de la zona predominan suelos Andisoles con alta precipitación pluvial y suelos arenosos, en la zona baja predominan los suelos aluviales como se muestra en la figura

1.3. (12)

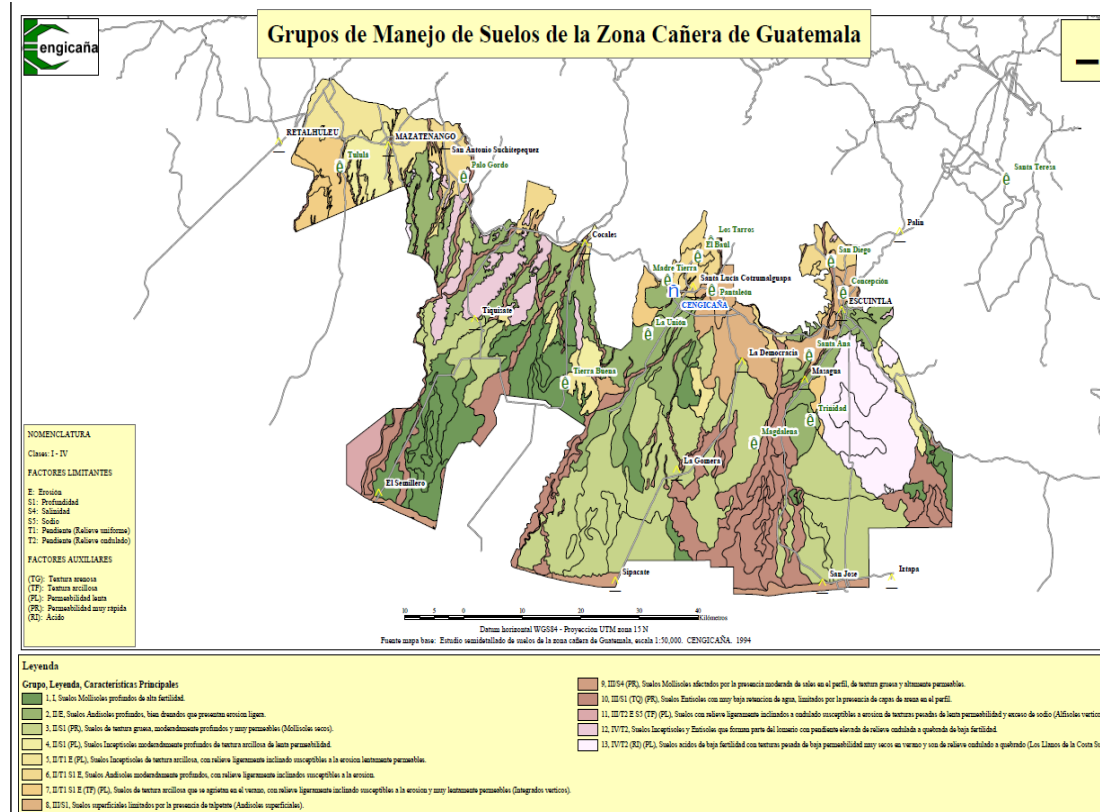


Figura 1.3 Manejo de suelos de la Zona Cañera de Guatemala (13)

Dentro de estas zonas se manejan una amplia variedad de semillas que se adaptan a cada tipo de suelo ofreciendo un alto rendimiento. En todas estas zonas el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar –CENGICAÑA- realiza diferentes estudios para evaluar el rendimiento de caña y azúcar.

Por otra parte, la industria utiliza el 100% del bagazo para cogenerar energía eléctrica, teniendo excedentes de 40-70 kW/t de caña con lo que suministra un 16% de las necesidades totales del país y adicionalmente cuenta con la producción de etanol a partir de la melaza. (1)

Existen cinco destilerías en el país que producen etanol, actualmente más del 80% de etanol se exporta principalmente a Europa y Estados Unidos como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Producción Etanol Guatemala 2009.

(7)

Productor	Capacidad diaria de la Planta (L/día)	Días de operación	Estimación anual de capacidad de producción (L/año)	Tipo de Alcohol	Mercado	Operación Comercial
MAG ALCOHOLES	300,000	155	46,500,000	Neutral, REN, HT	Europa, C.A., México	2007
Servicios Manufactureros	120,000	300	36,000,000	Neutral, REN, HT	Europa, C.A., México	2001
Palo Gordo	120,000	155	18,600,000	REN, HT	México, Local, Europa	1984
Bioetanol, S.A.	150,000	155	23,250,000	Fuel Etanol	USA, Europa	2006
	450,000	155	69,750,000	Fuel Etanol	USA, Europa	2011
Grupo DARSA (Tulula)	250,000	300	75,000,000	Bebida, REN, HT	Local, Europa, México	2006
				Fuel Etanol		2010
	150,000	300	45,000,000	Bebida, REN, HT	No operativo	1950
Capacidad Total Anual (2009)			199,350,000			
Capacidad Total Anual (2011)			269,100,000			

Proyectado	
------------	--

En Guatemala el producto no es mezclado aún con la gasolina; existe una ley vigente pero inoperable que es el Decreto 17-85 “Ley del Alcohol Carburante”. Es muy importante que el uso de este oxigenante sea legislado, reglamentado y monitoreado para que los consumidores reciban el producto con las especificaciones correctas. (7)

El destino del etanol producido en Guatemala es exportado hacia Estados Unidos y Europa, como se muestra en la figura 1.4.



Figura 1.4. Destino del Alcohol de Guatemala (7)

Es importante que países como Guatemala empiecen a producir y utilizar combustibles renovables, como parte de una Política Energética con una visión

a largo plazo, para lograr obtener todos los beneficios del uso de combustibles renovables y enfocarse hacia el desarrollo sustentable.

En Guatemala existe una propuesta de iniciar con E10 (10% etanol y 90% gasolina), para garantizar que ningún vehículo del parque vehicular tenga problemas; en el país inclusive hay carros que pueden aceptar hasta el 22% de etanol, en Estados Unidos hay más de 5 millones de carros que aceptan E85 (85% etanol y 15% de gasolina); en Brasil hay carros Flex Fuel que pueden aceptar hasta 100% de etanol o cualquier porcentaje de mezcla, en donde en el 2007 más del 80% de las ventas fueron de Flex Fuel.

En la Ciudad de Guatemala, la disminución de la contaminación atmosférica por el uso de E10 se calcula una disminución del 30 % de monóxido de carbono, un 12-19 % de los gases de efecto invernadero, 12 % de los compuestos orgánicos volátiles, (VOCs), y un 25 % de smog.

Lo importante es empezar a producir y usar localmente este combustible y que los guatemaltecos sean beneficiados, y con forme pasen los años ir aumentando el porcentaje de mezcla para que los beneficios sean mayores. (7)

- Beneficios Ambientales

Por lo tanto, el beneficio ambiental del etanol como biocombustible radica en que ayuda a reducir las emisiones dañinas de los automóviles y los gases de efecto de invernadero que contribuyen al calentamiento global, considerando que:

- Es un combustible renovable elaborado con productos agrícolas.
- No es un combustible fósil.
- Es biodegradable y no tiene efectos nocivos en el medio ambiente.

- Reduce significativamente la emisión de gases tóxicos de los motores de combustión interna.
- Las mezclas de gasolina con etanol reducen dramáticamente las emisiones de los hidrocarburos, que son los que más contribuyen a debilitar la capa de ozono.
- Reducción de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) de 10% - 30% (Environmental Protection Agency USA - EPA)
- Reduce en un 10% los gases de efecto de invernadero de 12% - 19% (Argonne National Laboratory)
- Reduce el material particulado en un 50% (Argonne National Laboratory)
- La Asociación de Pulmones de Chicago, le atribuye a la mezcla de etanol con gasolina, la reducción de formación de smog en un 25% desde 1990
- El etanol contiene 35% de oxígeno, lo cual hace que la mezcla se quemara más limpia y completa
- Reduce las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles en un 12%

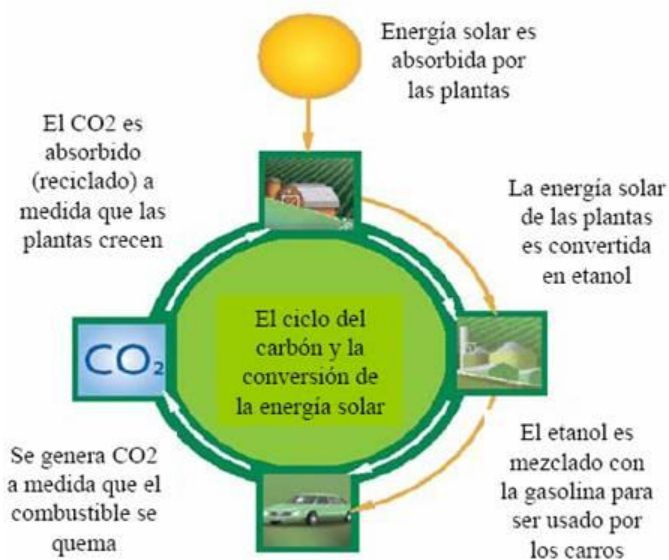


Figura 1.5 Ciclo de vida de CO₂ en la producción de etanol.

(7)

Al utilizar 100% de etanol en carros Flex fuel, la reducción de gases de efecto de invernadero pueden ser las siguientes:

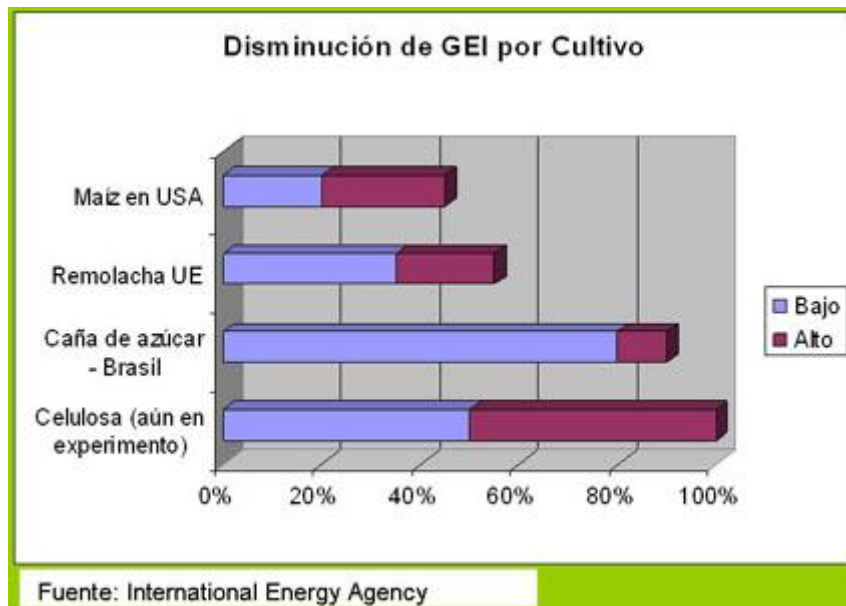


Figura 1.6 Disminución de Gases de Efecto Invernadero por cultivo para la producción de etanol. (7)

1.5 Problemas ambientales asociados a la producción de etanol

En cada fase del proceso de producción de etanol están identificadas las fuentes de contaminación ambiental, las cuales se describen a continuación.

En el cultivo de la caña de azúcar se le adicionan al suelo herbicidas y fertilizantes de origen químico para eliminar las malas hierbas y nutrir el suelo con los minerales necesarios para obtener un alto rendimiento del cultivo. En las labores se emplean equipos y maquinarias que consumen diesel, un

combustible fósil que genera sustancias nocivas para el medio ambiente en todas sus etapas: extracción, producción y uso final.

En épocas de zafra existe contaminación del aire y el bagacillo, lo que provoca la existencia dentro de los trabajadores de la zona de enfermedades como la bagazosis y enfermedades respiratorias. Además se generan aguas residuales líquidos (con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y materias en suspensión y algunas veces alta basicidad y acidez) los cuales son transportados a través de una zanja o canal hasta un tratamiento primario para luego ser utilizada como fertirriego de la caña de azúcar en su etapa de cultivo.

En la etapa de fermentación para la producción de etanol se estima un vertimiento de 68kg de CO₂/hl de etanol producido, lo que equivale a 61 200kg/día. Por otra parte el residual del etanol (vinaza) altamente contaminante por sus contenido de DBO y Demanda Química de Oxígeno (DQO), se usa como fertirriego de la caña de azúcar en su etapa de cultivo. (5)

Se hace necesario, entonces, considerar el impacto que sobre el medio ambiente tiene la producción de etanol a partir de un enfoque holístico, es decir, que considere todos los componentes involucrados desde el cultivo de la caña hasta la elaboración y uso del producto; con el fin de proponer variantes de mejora ambiental para mejorar la eco-eficiencia de su producción.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos y clasificaciones de procesos

Las actividades de cualquier organización pueden ser concebidas como integrantes de un proceso determinado. Los procesos son la base operativa de las organizaciones y son posiblemente el elemento más importante y extendido en la gestión de las empresas innovadoras. Un proceso puede ser definido como:

“Conjunto de actividades interrelacionadas entre sí que, a partir de una o varias entradas de materiales o información, dan lugar a una o varias salidas también de materiales o información con valor añadido. En otras palabras, es la manera en la que se hacen las cosas en la organización” (14) “Secuencias ordenadas y lógicas de actividades de transformación, que parten de unas entradas (informaciones en un sentido amplio, pedidos datos, especificaciones, más medios materiales, máquinas, equipos, materias primas, consumibles, etcétera), para alcanzar unos resultados programados, que se entregan a quienes los han solicitado, los clientes de cada proceso” (15) “Una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados”. (16)

Cualquier actividad, o conjunto de actividades ligadas entre sí, que utiliza recursos y controles para transformar elementos de entrada (especificaciones, recursos, información, servicios,...) en resultados (otras informaciones, servicios,...) puede considerarse como un proceso. Los resultados de un proceso han de tener un valor añadido respecto a las entradas y pueden constituir directamente elementos de entrada del siguiente proceso.

Según los conceptos anteriores se deriva que un proceso no es más que la sucesión ordenada y lógica de actividades interrelacionadas, que transforman las entradas necesarias para producir un producto o brindar un servicio.

Existen diversas categorías de procesos, pero generalmente se clasifican en: estratégicos, clave y de apoyo (17). Los procesos claves, también conocidos como procesos primarios, críticos o misionales, son aquellos que inciden directamente en la satisfacción de los clientes y están estrechamente asociados a la razón de ser de la organización. En el ámbito del trabajo de campo, estos procesos pueden interpretarse como aquellos directamente relacionados con la actividad investigativa.

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

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

2.2 Sistemas Integrados de Gestión (SIG)

La certificación según las normas de Calidad ISO 9000 se está convirtiendo en un requisito indispensable para que las empresas compitan en el mercado. También se ha visto una mayor preocupación por la Seguridad con el fin de prevenir los riesgos laborales en las empresas debido a que es el operario el motor impulsor de toda organización. Además, el Medio Ambiente se está incorporando como una variable adicional a la competitividad de las empresas,

influyendo de una forma cada vez más notable en sus relaciones con clientes y proveedores. Desde esta perspectiva, la Integración de los Sistemas de Gestión de Medio Ambiente, de la Calidad y la Seguridad se presenta como una alternativa válida y necesaria para que las organizaciones puedan afrontar con éxito los retos que les depara el siglo XXI. Se puede definir el Sistema de Gestión Integrada como “el conjunto de la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día la política de la empresarial”.
(18)

De este modo, el SGI se aplica a todas las actividades relativas a la calidad de un producto o servicio, a las que presenten riesgos para la sociedad y a aquellas que puedan dañar el medio ambiente, existiendo una influencia mutua entre ellas. Estas tres líneas de actuación, calidad, medioambiente y prevención de riesgos, aparentemente diferentes, en la práctica industrial, suelen concurrir en un solo departamento, servicio, cargo o área, según el tamaño de la organización y constituyen la base sobre la que se deberían asentar los principios de cualquier empresa. El excesivo número de procedimientos, la burocracia generada y su implantación en la organización podrían ocasionar más problemas que soluciones, reflejándose en un aumento de los costos y en una pérdida de competitividad, si dicha implantación no se realiza de forma adecuada. La integración de estos tres modelos de gestión en un único sistema de gestión es un proceso natural con inercia propia, que puede proporcionar a la empresa el marco de referencia para alcanzar sus objetivos y situarse en una posición ventajosa y competitiva dentro de su campo de actuación. El Modelo de Gestión Integrada toma como punto de partida aquellos requisitos de las normas ISO 9000, ISO 14000 e ISO 18000 que se encuentran directamente interrelacionados como son: (18)

a. Compromiso por parte de la Dirección y el reflejo en toda la organización.

El desarrollo y éxito en la implantación del Sistema de Gestión Integrada depende en gran medida del nivel de implicación demostrado por la Dirección y en función de dicho nivel esta la responsabilidad que se logre inculcar al personal de la empresa.

b. Carácter preventivo

El SGI tiene una tendencia claramente preventiva, anticipándose a cualquier acción correctiva consecuencia de un efecto medioambiental no controlado o una mala calidad.

c. Se sigue la metodología del ciclo PHVA

Este método ya desarrollado y aplicado en la Calidad y ahora utilizado en el ámbito del Medio Ambiente, se basa en la rueda de Deming en la que la gestión toma forma, concentrándose en la definición de objetivos, evaluación de la situación actual, implantación de un plan o programa, medición y seguimiento, auditorías y revisión.

d. Enfoque a procesos

El desarrollo de este enfoque se basa en que cualquier actividad, o conjunto de actividades, que utiliza recursos para transformar elementos de entrada en resultados puede considerarse como un proceso y que para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar los procesos interrelacionados.

e. Comunicación

La organización debe lograr que se conozcan los objetivos, el comportamiento de su cumplimiento y las vías para lograrlo, siendo la comunicación la base

para lograrlo y la misma permite además concienciar sobre la importancia del SGI y del seguimiento de sus procedimientos. Una comunicación eficaz permite el conocimiento de las necesidades y expectativas de todos los grupos de interesados y la retroalimentación de estos.

2.3 Gestión ambiental, instrumentos más utilizados

Se entiende como gestión ambiental al conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el medio ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. La gestión ambiental no solamente está referida al gobierno, sino que crecientemente depende de fuerzas sociales de muy diversa naturaleza. (19)

En su concepción más amplia, la gestión ambiental es un proceso permanente y de aproximaciones sucesivas en el cual diversos actores públicos y privados y de la sociedad civil desarrollan un conjunto de esfuerzos específicos con el propósito de preservar, restaurar, conservar y utilizar de manera sustentable el medio ambiente. Por su injerencia amplia, la gestión ambiental puede ser abordada bajo diversas perspectivas y con diferentes escalas. Por ejemplo, se puede centrar en el ámbito rural o urbano, en una política específica (ej. contaminación del aire de un centro urbano, etc.), en una amenaza ambiental global (ej. impacto de emisiones sobre el calentamiento de la tierra, etc.), en el impacto ambiental de una actividad económica específica (ej. minería, energía, agricultura, etc.), o en la conservación y uso sustentable de un recurso estratégico (ej. bosques, aguas, etc.). La gestión ambiental, por lo tanto, puede ser abordada a distintos niveles de gobierno (federal o central, provincial o estatal, municipal, etc.), o de grupos del sector privado en su concepción amplia, o en diversos ámbitos territoriales (global, regional, sub-regional, nivel metropolitano, ciudades, barrios, poblados, cuencas hidrográficas, etc.)

2.4 Análisis del Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se define como la herramienta adecuada para la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida. (3)

El ACV es una metodología internacionalmente aceptada y reconocida para la evaluación de las cargas e impactos ambientales asociados a la elaboración de un producto o proceso teniendo en cuenta todas las etapas de la vida del mismo. Además, la metodología es cuantitativa, y por tanto amplía de forma objetiva los elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones, compatibilizando la preocupación por el medio ambiente y los beneficios económicos en el análisis y gestión de la contabilidad tradicional, constituyendo una poderosa herramienta de gestión. (1)

El ACV también se describe como una imagen detallada de una cadena de valores que ayuda a los actores individuales a manejar sus impactos ambientales y a conocer factores estratégicos de todo un ciclo, de una perspectiva ambiental de la cadena de suministros de la que forman parte. Esta perspectiva del ACV ayudará a cada actor a crear sus propias metas e indicadores ambientales. El análisis detallado de las entradas y salidas en cada etapa del ciclo de vida permite la implementación de medidas ambientales de mejora que impactan en la reducción de costos y en un aumento en el valor del producto o servicio.

2.4.1 Normas que establecen las fases del ACV

ISO 14040, 14041, 14042 y 14043 (los estándares internacionales ISO aplicables), proveen una guía de cómo llevar a cabo y realizar el ACV. Estos estándares dan los procedimientos que deben ser seguidos para la ejecución de un ACV. Mientras tanto dejan ciertos grados de libertad para implementar metodologías específicas según la comprensión de la evolución de las cuestiones ambientales y para poder adaptar las características específicas de la cadena de valor. (21)

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales como lo muestra la figura 2.1



Figura 2.1 Estructura del ACV

(21)

La ISO 14040 provee un esquema general de la metodología del ACV, la ISO 14041 provee los lineamientos para la definición del objetivo y el alcance del estudio del ACV y para la realización del inventario del ciclo de vida, la ISO 14042 se trata de la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida y la ISO

14043 provee los lineamientos para la interpretación de los resultados de un estudio de ACV. .

El marco metodológico del ACV de acuerdo a la ISO 14040 consiste en 4 fases:

1. Marco metodológico, que incluye la definición del objetivo y alcance, función, unidad funcional y fronteras del sistema.
2. Análisis de inventario (inventario del ciclo de vida - ICV). En esta parte se desarrolla un diagrama de flujo (árbol de procesos), además se identifican y cuantifican las entradas y salidas de cada etapa del ciclo de vida.
3. Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV). Consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las salidas y el medio ambiente a partir de la interpretación de la información generada en el análisis del ICV, clasificando los efectos al medio ambiente en diferentes categorías de impacto ambiental y modelando indicadores para cada categoría.
4. Interpretación / Evaluación de mejoras. Se busca, a partir de las consecuencias ocasionadas por las entradas y salidas, establecer prioridades para la búsqueda de mejoras en el sistema.

Estas fases no son simplemente un seguimiento en una sola secuencia. Este es un proceso interactivo, en el que las interacciones posteriores se pueden lograr aumentando los niveles de detalle (a partir de una proyección de ACV a un ACV total), o dar lugar a cambios en la primera fase impulsada por los resultados de la última fase. El Ciclo de Vida ha demostrado ser una valiosa herramienta para documentar y analizar los aspectos ambientales de los productos y sistemas de servicios que deben ser parte de la toma de decisiones hacia la sostenibilidad.

En la Figura 2.2 se pueden observar las cuatro fases tal y como se aplican actualmente: (22)



Figura 2.2 Etapas del análisis del ciclo de vida.

(21)

2.4.2 Importancia del Análisis del Ciclo de Vida como herramienta de gestión ambiental

La importancia del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos: (22)

- 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:

- 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. (23)

Según la importancia y beneficios que aporta esta herramienta, el ACV puede aplicaciones para:

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

2.4.3 La incertidumbre y la subjetividad en el ACV

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, debido a que:

(2)

1. Existen incertidumbres en:
 - los datos usados para generar el inventario
 - la metodología usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto,
 - la descripción del sistema en estudio, y
 - en los datos usados como referencia para la normalización.

2. El pesaje involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente. A continuación se describen las situaciones que dan lugar a la presencia de incertidumbre.
 - 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.
 - En la metodología: Hay dos ejemplos relevantes que generan incertidumbre: el marco de tiempo para vertederos y el reparto multi-entradas.
 - El marco de tiempo para vertederos: Porque las emisiones de los ciclos de vida, se deben integrar para un cierto período de tiempo, pero las emisiones de los vertederos se presentan por largos períodos de tiempo, a menudo miles de años.

-El reparto multi-entradas: Un ejemplo es la incineración de residuos municipales, que recibe una gran cantidad de productos y emite muchos contaminantes, por ejemplo dioxinas cloradas. Una pregunta interesante es ¿Cómo deberían repartirse las dioxinas entre los productos que entraron a incineración? Existen dos posiciones: a) repartir las dioxinas cloradas entre las residuos que entraron en relación a su contenido de cloro, o b) repartirlas entre los residuos que entraron pero considerando su valor calorífico o algo similar como el contenido de carbono.

- En la descripción del sistema: ¿Por qué los resultados dependen de los aspectos claves que rodean al sistema y qué son fuente de incertidumbre? (24) por ejemplo: la cantidad de combustible utilizado por transporte privado para trasladar los insumos hacia el lugar de producción.
- 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. (25)

A pesar de las limitaciones expuestas anteriormente, el Análisis del Ciclo de Vida constituye un marco objetivo y científicamente robusto, para el apoyo en la toma de decisiones ambientales.

Con el ACV, en principio se tienen en cuenta cadenas completas de todos los procesos “de la cuna a la tumba”, aunque éste no es el caso para cada sustancia en concreto. Por razones prácticas, muchos flujos se han de cortar en algún momento, ya que si no se hiciera así, todos los procesos del mundo deberían considerarse en el estudio, dado que están interrelacionados a través

de la energía y los materiales utilizados debido a la globalización de los mercados. (2)

Las ventajas que tiene el ACV es que 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: (2)

- 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.

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.

III. METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla una caracterización de la producción de etanol en Guatemala y se estructura una metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del etanol basada en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 042 y NC-ISO 14 043.

3.1 Procedimiento para desarrollar un Análisis del Ciclo de Vida

Etapa I: Definición del objetivo y alcance. **Etapa II:** Análisis del inventario.

Etapa III: Evaluación del impacto. **Etapa IV:** Análisis de mejora.

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.

3.1.1 ETAPA 1 Definición de los objetivos y alcance del ACV

En esta primera etapa deben definirse claramente el objetivo y alcance del estudio de ACV, de modo que sean consistentes con la aplicación que se persigue; para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en el orden que se plantean.

a. Definir el objetivo del estudio

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar la aplicación pretendida, las razones para realizar el estudio y el destinatario previsto, es decir, a quién se

van a comunicar los resultados del estudio. En la definición del objetivo deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La aplicación y las audiencias proyectadas se describen en forma clara. Eso es importante puesto que un estudio que tiene la intención de suministrar datos y que es aplicado internamente puede ser estructurado de una forma bastante diferente en comparación a un estudio que tiene la intención de efectuar comparaciones públicas entre dos productos.
- Las razones para la ejecución del estudio deben ser explicadas claramente. ¿Está el encargado o el actor tratando de comprobar algo? ¿Es la intención del encargado solo suministrar información?, etc.

b. Definir el alcance del estudio

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente: la unidad funcional, el sistema producto a estudiar, los límites del sistema producto, los procedimientos de asignación; los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a utilizar; los requisitos iniciales de calidad de los datos.

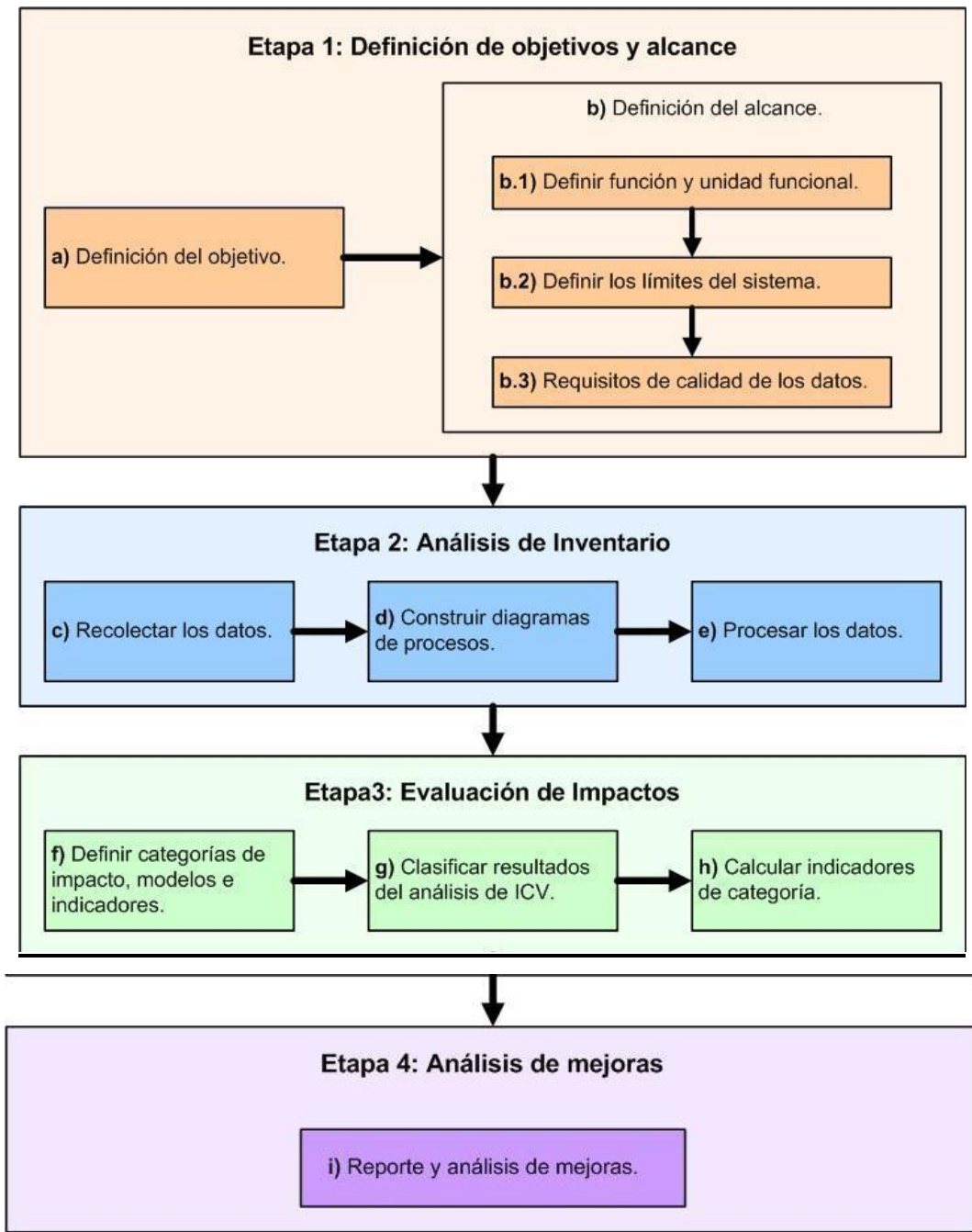


Figura 3.1 Etapas de la metodología ACV.

(21)

El alcance debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio sean compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

c. Definir función y unidad funcional

La unidad funcional define la cuantificación de estas funciones identificadas. La unidad funcional debe ser consistente con el objetivo y alcance del estudio. Una unidad funcional es una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema producto. El propósito principal de una unidad funcional es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas. Esta referencia es necesaria para asegurar la comparabilidad de los resultados del ACV, la cual es especialmente crítica cuando se analizan distintos sistemas para asegurar que tales 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: (21)

- Identificación de las funciones del producto.
- Selección de una función.
- Determinación de la unidad funcional.
- Identificación del desarrollo del producto.
- Determinación del flujo de referencia.

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. (21)

d. Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan el alcance de la investigación y los procesos unitarios que deben ser incluidos dentro del ACV. En esta etapa deben quedar definidos los límites geográficos, temporales y las etapas que serán excluidas del análisis. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto. (21)

3.1.2 ETAPA 2 Análisis del inventario

El análisis de inventario (ICV) es la segunda fase de ACV y corresponde al inventario de cargas ambientales. En esta etapa se trata de resolver balances de materia y energía, tras definir correctamente el sistema en estudio y presentarlo mediante un diagrama de flujo donde aparecen todas las etapas del proceso. Está compuesta por las siguientes etapas.

a. Recopilación de datos

El análisis de inventario incluye la recopilación y tratamiento de datos para ser usados en el cálculo del consumo de materiales y en la realización del perfil ambiental para todas las fases del ACV. Los datos pueden provenir de sitios específicos, como compañías, áreas o países específicos, o de fuentes más generales como son organizaciones de estadísticas, registros públicos, etc.

El Análisis de Inventario es, la mayoría de las veces, la parte más intensiva del trabajo en el ACV, especialmente cuando se requieren datos de un sitio específico para todos los procesos involucrados. En muchas ocasiones se usan datos promedios que provienen de la literatura o de algunas organizaciones

que, como la BUWAL (Suiza), han publicado datos de la cuna a la tumba que incluyen el análisis de inventario para la manufactura de algunos productos. (26)

b. Definición de los sistemas

Los límites del sistema están definidos como parte del alcance del estudio, sin embargo después de la recopilación inicial de los datos, estos pueden ser redefinidos como resultado de la exclusión de etapas de vida o subsistemas, o la inclusión de nuevos procesos unitarios.

c. Procedimiento de cálculo

No existen procedimientos formales para llevar a cabo los cálculos en el ACV, excepto la descripción de los procedimientos de asignación. Debido a la cantidad de datos es recomendable desarrollar al menos una hoja de cálculo, para este propósito específico.

Hay varios programas informáticos, por ejemplo Boustead Model (Boustead Consulting Ltd., 2000) y SimaPro disponibles en el mercado y desarrollados específicamente para realizar el ACV, la elección del programa adecuado depende del tipo de cantidad de datos que deben manejarse. En nuestro caso el programa empleado es SimaPro 7.1. (27)

d. Reglas de asignación

Cuando se lleva a cabo el ACV en sistemas complejos, puede suceder que no sea posible manejar todos los impactos y las salidas dentro de los límites del sistema. Este problema puede resolverse de dos formas: expandiendo los límites del sistema para incluir todas las entradas y salidas, o utilizando criterios de asignación para algunos de los impactos ambientales del sistema.

En los sistemas estudiados, se han considerado diversos elementos o procesos cuyos datos de inventario están en las bases de datos del programa y que por lo tanto son bibliográficos. En estos casos, las asignaciones de carga ambientales se realizan aplicando los métodos de valoración que el programa SimaPro tiene implementados. (28)

3.1.3 ETAPA 3 Evaluación del impacto

Las técnicas de evaluación de impacto ayudan a convertir el resultado del inventario en una tabla de doble entrada de cientos de datos referentes a diferentes cantidades de cargas ambientales en todas las etapas del proceso, en una lista de pocos datos interpretados según su capacidad de afección al medio ambiente. La evaluación se realiza en toda una serie de categorías de impacto, como puede ser la reducción de la capa de ozono, la acidificación, la nitrificación de las aguas, la toxicidad o el agotamiento de recursos.

El proceso se lleva a cabo en varios pasos llamados: clasificación, caracterización, normalización y valoración. Cada uno de estos elementos va manipulando los datos provenientes del inventario, reduciéndose sucesivamente en cantidad o en complicación y facilitando su interpretación. No obstante, este proceso tiene un precio; frente a la objetividad de los datos de inventario (dentro de los márgenes de error que tengan), cada nuevo elemento incorpora una cierta subjetividad, de modo que al llegar al final del proceso podríamos encontrarnos con un solo número o índice ambiental para describir el sistema (etapa de valoración), sencillo de interpretar pero muy subjetivo. (28)

Esta tercera fase del ACV, se compone de los siguientes aspectos.

a. Definición de las Categorías

Las categorías de impacto son seleccionadas para describir los impactos que produce el sistema. Según la norma ISO 14042:2000 una categoría de impacto es una clase representativa de variables medioambientales a la que pueden asignarse los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Tabla 3.1 Categorías de impacto consideradas en los tres métodos del programa SimaPro.

CML 2 baseline 2000	Ecopuntos 97	Eco-Indicador 99
Agotamiento de los recursos abióticos	NO _x	Cancerígenos
Disminución del ozono estratosférico	SO _x	Orgánicos respirados
Toxicidad humana	NMVOC	Inorgánicos respirados
Ecotoxicidad acuática del agua dulce.	NH ₃	Cambio climático
Ecotoxicidad acuática marina	Partículas PM10	Radiación
Ecotoxicidad terrestre	CO ₂	Capa de ozono
Formación foto-oxidantes	Capa de ozono	Ecotoxicidad
Acidificación	Pb (aire)	Acidificación/Eutrofización
Eutrofización	Cd (aire)	Uso de la tierra
Cambio climático	Zn (aire)	Minerales
	Hg (aire)	Combustibles fósiles
	COD	
	P (agua)	
	N (agua)	
	Cr (agua)	
	Zn (agua)	
	Cu (agua)	
	Cd (agua)	
	Hg (agua)	
	AOX	
	Nitrato (tierra)	
	Metales (tierra)	
	Pesticidas (tierra)	
	Residuos	
	Residuos especiales	
	LMRAD	
	HRAD	
	Energía	

NMVOC: Compuestos Orgánicos Volátiles excepto el metano

PM10: partículas de peso molecular inferior a 10 µm

COD: Oxígeno Disuelto

AOX: Halógenos orgánicos adsorbibles

HMRAD: Residuos Nucleares Actividad Baja-Media

HRAD: Residuos Nucleares Actividad Alta

b. Clasificación

La clasificación es un paso cualitativo en un análisis científico de los procesos que tienen relevancia ambiental. La clasificación tiene que asignar el inventario de entradas y salidas a las categorías de impacto según el efecto ambiental esperado, si algunas salidas contribuyen a dos categorías de impacto diferentes, deben mencionarse dos veces. El resultado de la doble contabilidad es aceptable si los efectos son independientes para cada uno, por ejemplo la disminución del ozono estratosférico y efectos tóxicos sobre la salud humana. Deben definirse las categorías de impacto más relevantes que cubran en lo posible los impactos producidos de acuerdo con los datos de inventario. Las categorías de impacto deben ubicarse en una escala dividiéndolas en tres grandes grupos: impactos globales, regionales y locales. Algunas categorías de impacto están directamente relacionadas con la exposición, por ejemplo la exposición global es causa de los impactos globales, otras con las condiciones continentales, regionales o locales, el tiempo también es un aspecto importante en algunas de ellas. (27)

c. Caracterización

El objetivo de la caracterización es aplicar modelos a las categorías de impacto para obtener indicadores ambientales. Los indicadores ambientales según la Norma ISO 14042:2000 son la representación cuantificable de una categoría de impacto. Una de las maneras de caracterizar los datos de inventario, es decir, de convertir los resultados asignados del ICV a la unidad común del indicador de categoría, es agregar los datos de las distintas cargas ambientales dentro de una categoría de impacto utilizando unos factores de peso o equivalencia, llamados factores de caracterización. Estos factores deben ser científicamente justificables y aceptados internacionalmente. (28)

El resultado de la caracterización es un perfil ambiental del sistema, compuesto por el conjunto de los indicadores ambientales de todas las categorías de impacto consideradas.

d. Normalización

Engloba una serie de técnicas para evaluar la significación del perfil ambiental obtenido en la caracterización. Los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud real o predicha de la categoría de impacto correspondiente. De esta forma se adimensionalizan las categorías y se hace posible una comparación entre las mismas. Las últimas tendencias en ISO incluyen la normalización dentro de un elemento más complejo que incluye un análisis de sensibilidad de los datos y un análisis de incertidumbre de la metodología, denominado ponderación. (28)

e. Valoración

Con la caracterización se logra un análisis cuantitativo de las diferentes categorías de impacto, pero la comparación entre estas no se hace inmediatamente posible. Para ello es necesaria una valoración, donde se evalúa cualitativa o cuantitativamente la importancia relativa de las distintas categorías de impacto. Si dicha valoración es cuantitativa, supone un proceso similar al de la caracterización, donde los factores de valoración son obtenidos con criterios socioeconómicos y no científicos y la suma de todos ellos debe ser la unidad. El cálculo lleva a la obtención de un perfil ambiental ponderado que, si se suman todas las categorías, conducirá a un único índice ambiental global para el sistema.

Los factores de valoración pueden variar de una región geopolítica a otra, dependiendo de la importancia relativa o alcance que se dé a las diferentes categorías de impacto: globales, regionales y locales. (28)

f. Métodos para la evaluación de impacto

En la investigación se procederá a comparar cuatro métodos distintos para evaluar el impacto ambiental, con los cuales se realizará cada paso descrito anteriormente. Estas metodologías son: CML, Eco-indicador 95, Eco-indicador 99, EDIP, IMPACT 2002+; de estas metodologías solo IMPACT 2002+ y Eco-indicador 99 están enfocadas a categorías de daño o puntos finales, las restantes se enfocan a puntos intermedios. (29)

Generalmente, los indicadores que son elegidos cercanos a los resultados de inventario (*midpoint*) tienen una baja incertidumbre, ya que sólo una pequeña parte del mecanismo ambiental necesita ser modelado, mientras que los indicadores cercanos a las categorías de impacto (*endpoint*), pueden tener significativas incertidumbres. Sin embargo, los indicadores *endpoint* son mucho más fáciles de entender e interpretar que los indicadores *midpoint*.

- **Método CML 1992**

Este es un método elaborado por el Centro para Estudios Medioambientales (CML), Universidad de Leiden, 1992. Utiliza una metodología basada en indicadores al nivel *midpoint*, es decir, relativamente cercanos a los resultados de inventario. Por ejemplo, los indicadores de impacto para el Calentamiento Global y el Agotamiento de la capa de ozono están basados en factores de equivalencia IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). La Acidificación está basada en el número de protones H⁺ que pueden ser descargados por kg de sustancia emitida. Tales indicadores de categorías de

impacto tienen normalmente y en cierto modo unidades abstractas. Por ejemplo, la unidad para el Calentamiento Global es kg de CO₂ equivalentes y para la Acidificación kg de SO₂ equivalente. (28)

Caracterización

El método tiene definido un número de clases para agrupar a las sustancias debido a que las emisiones no siempre están separadamente especificadas en las fuentes de los datos para los procesos de interés. Como las diferentes sustancias dentro de cada grupo pueden tener una considerable variación en su impacto ambiental, los resultados finales no serán completamente reales. Las principales clases son:

- Extracción de materias primas y energía, formada por los recursos abióticos y bióticos.
- Contaminación, que incluye las categorías de impacto: efecto invernadero, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, smog, acidificación y eutrofización.
- Sólidos.

Normalización

Los factores de normalización están basados bien en la población mundial de 1998, en la holandesa de 1993/94, en danesa de 1993/94 o en la europea de 1990.

• **Método ECO-INDICADOR 99**

Es el sucesor del Eco-Indicador 95. Ambos usan la aproximación orientada a daños. Este método fue desarrollado por un panel conjunto de expertos y no expertos, agrupando las categorías de impacto en 3 categorías de daño o *endpoints*:

1. Daños a la Salud Humana, expresada como el número de años perdidos y el número de años vividos con incapacitación. Estos se combinan como DALYs, Años de Vida Ajustados con Incapacitación (Disability Adjusted Life Years), un índice que también es usado por el WorldBank y Organización Mundial de la Salud (OMS).
2. Daños a la Calidad del Ecosistema, expresada como la pérdida de especies en un área determinada, durante un tiempo determinado.
3. Daños a los Recursos, expresados como la energía necesaria para futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles.

Para poder usar las ponderaciones para las tres categorías de daños se desarrollaron una serie de complejos modelos de daños, representados de forma esquemática.

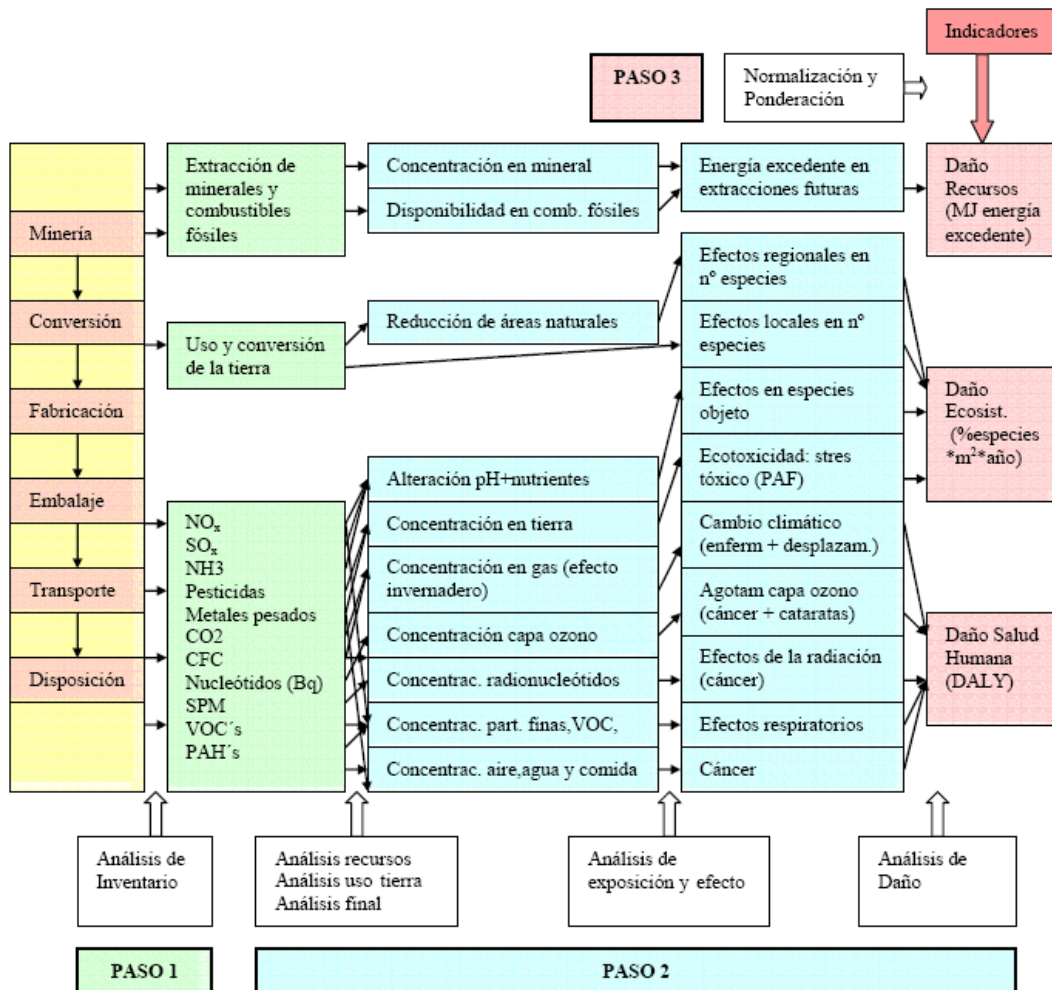


Figura 3.2 Método Eco-indicador 99. Representación detallada del modelo de daño (28)

Caracterización

Los indicadores utilizados en este método son:

1. Emisiones
2. Cancerígenos.
3. Orgánicos respirados.
4. Inorgánicos respirados.
5. Cambio climático.

6. Radiación.
7. Capa de ozono.
8. Eco-toxicidad.
9. Acidificación/Eutrofización.
10. Agotamiento de los recursos

Evaluación de daños

Como se ha indicado antes, se agrupan los resultados de las categorías de impacto en 3 tipos de daños:

- Daños a la Salud Humana, en esta categoría de daño se incluyen las siguientes categorías de impacto: Cancerígenos, Orgánicos respirados, Inorgánicos respirados, Cambio climático, Radiación y Capa de ozono.
- Daños a la Calidad del Ecosistema, se incluyen las siguientes categorías: Eco-toxicidad, Acidificación/Eutrofización y Uso de la tierra.
- Daños a los Recursos, están incluidos las categorías de impacto Minerales y Combustibles fósiles.

Normalización

Se puede realizar al nivel de categoría de impacto y de daño. Los datos de normalización se calculan a nivel europeo, la mayoría basados en el año 1993, con muchas adaptaciones para las emisiones más importantes.

Ponderación

También se puede hacer el nivel de categoría de impacto o daño (nivel del punto final en la ISO). Un panel de expertos realiza la ponderación para las 3 categorías de daño.

Cada perspectiva dispone de una ponderación específica. La ponderación es el resultado medio de la evaluación del panel.

- **Método EDIP/UMIP 96**

El método EDIP (Environmental Design of Industrial Products, en danés UMIP) fue desarrollado en 1996 en Dinamarca. (29)

Caracterización

El Calentamiento global está basado en los informes IPCC de 1994, expresados como potencial de calentamiento global para un horizonte temporal a largo plazo de 100 años (GWP100), siendo el CO₂ la sustancia de referencia. Los potenciales de creación de ozono fotoquímico (POCP) provienen de informes UNECE de 1990/92 y dependen de la concentración de NO_x.

La acidificación está basada en el número de iones hidrógeno (H⁺) que pueden ser emitidos. Los potenciales de Eutrofización están basados en el contenido en N y P en los organismos.

Se dividen los flujos de residuos en 4 categorías: residuos voluminosos, residuos peligrosos, residuos radiactivos y cenizas. Todos ellos en base másica.

La Eco-toxicidad está basada en un método de investigación de peligrosidad química, que considera la toxicidad, persistencia y bioconcentración. Los potenciales de eco-toxicidad son calculados para una eco-toxicidad aguda y crónica en el agua y crónica eco-toxicidad al suelo. La toxicidad humana está basada en el mismo método que la eco-toxicidad. Los potenciales de toxicidad humana son calculados para exposiciones vía aire, tierra y agua. Los recursos se calculan con un método diferente a las otras categorías, por eso su factor de ponderación es cero.

Normalización

Está basada en el número de personas equivalentes para 1990. Para los recursos, la normalización y ponderación están incluidas en los factores de caracterización y así los valores son cero.

Ponderación

Los factores de ponderación provienen de los objetivos políticos por persona para el 2000.

• **Impact 2002+**

Es una metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, esta metodología propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios:

- efectos respiratorios,
- toxicidad humana,
- oxidación fotoquímica,
- deterioro de la capa de ozono,
- eco-toxicidad acuática y terrestre,
- acidificación,
- eutrofización,
- uso de la tierra,
- calentamiento global,
- extracción de minerales,

- energías no renovables, y
- radiaciones ionizantes.

Caracterización

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

Normalización

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión. Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., como se ha indicado en apartados anteriores. Estos aspectos son más viables con el soporte de sistemas informáticos que faciliten las tareas a realizar. En el desarrollo de la metodología debe definirse el software a aplicar.

Para llegar de las categorías (problemas ambientales) a un indicador (enfoque de daños) se aplica una evaluación, por paneles de expertos, para determinar la importancia de las categorías supuestas. Es allí donde se centran las críticas a los diferentes modelos del enfoque de daños, por ser modelos de carácter

subjetivo. Existen diferentes modelos reconocidos para la asignación de datos para diferentes categorías, viéndose que el Impact 2002+ es un método completo respecto al resto.

3.1.4 ETAPA 4 Análisis de mejora

Esta fase combina la información obtenida en la fase de inventario con la de evaluación de impactos (si la hay) para llegar a conclusiones y/o recomendaciones, según los objetivos marcados en el alcance del estudio, entre las que puede encontrarse el camino a seguir para perfeccionar el estudio. Para mejorar el sistema en estudio, primero deben identificarse las áreas de posible mejora. Dentro de éstas, el ACV ayuda a identificar aquellas que pueden llevar a una mejora mayor o las que apenas afectan al conjunto y en las que no vale la pena invertir recursos, mientras que el conocimiento del sistema descubrirá aquellas de mejora más rápida y sencilla.

Esta última etapa es un proceso interactivo que se debe repetir hasta que los requisitos planteados en los objetivos y el alcance del estudio se hayan satisfecho completamente. Para ello se propone el siguiente procedimiento: (28)

- a. Identificar los campos significativos.
- b. Evaluar los resultados con respecto a su inclusión, sensibilidad y consistencia. El primero consiste en realizar una evaluación cualitativa de la selección de datos y procesos, para examinar las posibles consecuencias de dejar fuera información. Con el segundo se aplica un análisis sistemático, cualitativo o cuantitativo, de cualquier implicación que tenga algún cambio en los datos de entrada. Finalmente el tercero pretende discutir los cambios identificados en la estructura de los objetivos y el alcance.

- c. Verificar que las conclusiones son coherentes con los objetivos y alcance del estudio planteados, incluyendo, los requisitos de calidad de los datos, valores asumidos, las orientaciones requeridas para la aplicación.
- d. Si se cumple lo anterior, se escriben las conclusiones finales, si no se deben repetir los apartados a y b.

Esta fase debe reflejar también los resultados de los análisis de sensibilidad e incertidumbre llevados a cabo durante el estudio.

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 ETAPA 1 Definición de los objetivos y alcance del estudio

4.1.1 Objetivo del estudio

Determinar una metodología para el análisis del ciclo de vida del etanol en una producción en Guatemala.

4.1.2 Alcance del estudio

El alcance del estudio abarcará los siguientes aspectos:

a. Funciones del sistema estudiado

El uso final del etanol será como biocombustible; siendo los principales destinos Estados Unidos y Europa.

b. Unidad funcional

La unidad funcional de este Análisis de Ciclo de Vida es la cantidad de etanol anhidro que se produce en un día en Guatemala para el año 2009. Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica donde:

- Fase agrícola, cultivo de la caña de azúcar: t de caña.
- Producción de melaza: t de miel.
- Elaboración de etanol: t de etanol.

c. 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 a la elaboración de 1 litro de etanol en Guatemala.
- *Límites temporales* El horizonte temporal considerado es de un año, 2009.
- *Límite espacial* Se utiliza el enfoque de la tumba a la puerta, es decir desde la producción de la materia prima hasta la producción de etanol anhidro.
- *Etapas excluidas del análisis* Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas a la fabricación y mantenimiento de las maquinarias e infraestructuras necesarias para el cultivo de la caña de azúcar, las instalaciones de la transformación de la caña para la obtención del etanol, la producción de fertilizantes y herbicidas, y las implicaciones de circulación, distribución y consumo del producto final (etanol).
- *El suelo como parte del sistema productivo* Se ha incluido el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático al considerarlo parte del sistema productivo y parte del medio ambiente.

d. Calidad de los datos

Se han seleccionado los procesos de producción de etanol típico de Guatemala 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 el cultivo de la caña de azúcar, en la elaboración de melaza y la transformación a etanol. Los datos para el análisis fueron datos teóricos recolectados en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) 2008-2009, datos obtenidos de la página de la Asociación de Azucareros de Guatemala (AZASGUA) y de la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala (ACR).

e. Herramientas utilizadas

El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática comercial denominada SimaPro 7.1. SimaPro es una herramienta desarrollada por Pré Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida que analiza y compara los aspectos medioambientales de un producto de una manera sistemática siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14 040. Se utilizan bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SimaPro 7.1 para los procesos más comunes como combustibles y productos químicos. Las bases de datos usadas son:

- Ecoinvent unit process
- ETH-ESU 96
- IDEMAT 2001

4.2 ETAPA 2 Análisis del inventario

4.2.1 Recolectar los datos

Se procede a describir cada uno de los procesos involucrados en el ciclo de vida de la elaboración de alcohol, utilizando datos generales de Guatemala para cada uno de los procesos.

a. Descripción del proceso de cultivo de caña

- Preparación del suelo

En esta etapa es donde se prepara el lecho donde se establecerá y desarrollará la plantación. Las actividades involucradas son: (31)

- Subsuelo

Esta actividad se realiza sólo para los suelos de tipo arcillosos y compactados. Para esta labor se inicia con un pase de subsolador parabólico Tool Carrier trabajando a una profundidad de 60 cm cada surco. El objetivo de esta actividad es roturar el suelo para obtener un buen desarrollo radicular. Se utilizan tractores de 300 HP, con rendimientos entre 0.6 y 0.9 ha/hora.

- Descepada

Se realiza en la actividad de renovación del suelo, y el objetivo es destruir la cepa anterior pasando un rastro arado en dirección de los surcos. Se utilizan tractores de 200 HP con eficiencia de 1.90 ha/hora.

- Rastrillada

Consiste en pasar un rastrillo (después de 8 días de haber descepado) a 18 cm de profundidad para desterronar y controlar mecánicamente las malezas. Se utilizan tractores de 280 a 300 HP y rastrillos 64" x 26", con eficiencia de 3.9 ha/hora.

- Surcada

Dos días de rastrillar, se surca a una distancia de 1.50 m. Se utilizan tractores JD 7800 de 140 HP y surcadores de tres cuerpos. La eficiencia es de 2.3 ha/hora.

- Plantación

En Guatemala existe un total de 230,00 ha sembradas de caña de azúcar, y según el censo varietal de caña de azúcar realizado por CENGICAÑA en el 2009, existen 10 variedades de caña con más del 1% de área sembrada sumando el 89.7 por ciento del área, siendo las variedades más importante

CP72-2086 con 43.24%, CP88-1165, 27.69% y CP73-1547 con 6.62% de área total sembrada. (32)

Las actividades que se realizan son:

- Selección de los lotes
- Definición de las variedades de semilla
- Corte, transportación y siembra

Para la siembra comercial se utilizan esquejes, paquetes de 30 trozos de 60 cm de largo, y distancias de bandereo de 8.0 m. Esta actividad consta de dos surcadores, una volta donde se deposita la semilla, la aplicación de fertilizante de 150 kg/ha y de insecticidas. Luego se cubre la semilla. Se obtiene una eficiencia de 0.4 ha/hora.

- Desbasurado

La caña es quemada en pie por lo que la cantidad de residuos que quedan en el campo después de la cosecha es mínima; sin embargo, cuando existe un alto porcentaje de infestación de plagas los residuos son requemados, todos los entresurcos quedan libres por lo que las labores de renovación y labranza se facilitan. (31)

- Control de malezas

El control químico de malezas se realiza entre 10 y 20 días después de la siembra, cuando es pre emergencia y entre 45 y 60 días en soca. Se aplica: (31)

Manual: con bombas de espalda de presión constante en grupos de 10 trabajadores, con eficiencias de 1 a 2 ha/día y volúmenes de 130 l/ha.

Mecanizada: con tractores de 80 a 150 HP, velocidad de 6 a 8 km/hora, volúmenes de mezcla de 80 a 120 l/ha y eficiencia de 0.25 ha/hora.

Mecanizada: con cuatrimotos, velocidad de 11 a 12 km/hora, aplican tres calle por pase con eficiencia de 0.25 ha/hora. El volumen de mezcla varía entre 160 a 180 l/ha.

El cuadro a continuación, se presentan los herbicidas utilizados y la cantidad por hectárea de aplicación. También se cuenta con control manual como complemento del control químico y mecánico. El control mecánico se realiza con tractores de 105 a 130 HP con volumen de mezcla de 200 l/ha.

Tabla 4.1. Mezcla de herbicidas, modo de acción y dosis de cada uno de los ingredientes activos utilizados

Comercial	I.A.	Modo de acción	Cantidad l/ha o kg/ha
PROWL 45	PENDIMENTALINA	Inhibe la polimeración de la tubulina del ensamblaje de microtúbulos	2.5
GESAPAX 500	AMETRINA	Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	2.5 l/ha
2,4 D	2,4 D	Disruptores del crecimiento celular. Auxinas sintéticas (acción probable hacia el ácido indolacético)	1
ADHERENTE 810 SL O VINAZA 50°Brix		Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	0.5 l/ha
IGRAN 50	TERBUTRINA	Inhibe la polimeración de la tubulina del ensamblaje de microtubulos	3
IGRAN 50	TERBUTRINA	Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	3
IGRAN 50	TERBUTRINA	Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	2.75
HARNESS	ACETOCOLOR	Inhibidores de la división celular	2.5 l/ha
KARMEX 80 WG	DIURON	Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	1
VELPAR	HEXAZINONA	Inhibe fotosíntesis en el fotosistema II	0.6
FINALE 15 SL	GLUFOSINATO DE AMONIO	Inhibe glutamina sintetasa	2

(33)

- Riego

Durante la zafra, que se inicia en noviembre y termina en abril, se presentan condiciones climáticas en la que predomina el tiempo seco, con brillo solar de 11 horas/día, vientos fuertes y lluvias escasas, condiciones que proporcionan altas evaporaciones de 8 a 9 mm/día que a su vez inciden en una alta

evapotranspiración del cultivo. Por esta razón es necesario suplir las necesidades de agua del cultivo mediante aplicaciones de riego. (31)

Las técnicas de riego utilizadas en el proceso de cultivo en Guatemala son:

- Riego por gravedad, esto se realiza mediante tubería politubular que lleva el agua desde el área de captación hasta donde se conectan con nipeles metálicos.
- Riego por aspersión, utilizando motobombas, dos equipos de riego de pivote central fijo. Todos los riegos de germinación se riegan por aspersión.
- Riego con pivote centra, el equipo funciona con un motor John Deer 4045 T de 90 HP, a 1600 rpm y tienen un consumo de 2.6 galones /hora de ACPM.
- Riego por aspersión-gravedad, sistema en el que se aprovecha la pendiente del terreno para conducir el agua a los puntos de distribución donde se conectan a los aspersores. Estos equipos funcionan con 2 aspersores y caudales de 150 GPM. El sistema también utiliza vinaza mezclada con agua a una proporción de 1 litro de vinaza por 14 litros de agua. Adicionalmente se cuenta con un tractor para el movimiento de la tubería, los aspersores y accesorios en el campo.

- Fertilización

La caña de azúcar, como toda especie vegetal, requiere un conjunto de nutrientes para su desarrollo y crecimiento, cuyas necesidades varían cuantitativamente, ya que algunos elementos que se consumen en cantidades muy pequeñas son también indispensables para el desarrollo de las plantaciones. En la fertilización se pueden utilizar fertilizantes de origen mineral y de origen orgánico.

Según estudios realizados se han tomado en cuenta la reducción de nitrógeno en plantía, el aumento de productividad en soca con el aumento de dosis de nitrógeno en áreas con alta respuesta, la reducción de fósforo en siembra en áreas con alto contenido de fósforo en el suelo y el aumento de productividad con el uso de fósforo en suelos Andisoles en áreas donde no se aplicaba fósforo. (34)

En promedio se aplican 158.8 kg/ha de fertilizantes (NPK), 80 kg/ha de urea (46-0-0), 230 kg/ha de Nitrato de amonio, 150 kg/ha de Pentóxido de fósforo (P_2O_5), DAP (18-46-0).

La fertilización orgánica se realiza aplicando cachaza a los suelos donde se realizan renovaciones de cultivo, beneficiando al suelo incrementando la productividad de los campos. Este residuo es rico en fósforo, calcio, nitrógeno y pobre en potasio; estas propiedades han hecho que sea empleado como fertilizante aportando nutrientes al suelo. La dosis que se aplica oscila entre 400 a 450 ton/ha de cachaza.

La fertilización con vinaza se aplica mediante el fertirriego diluyéndola como mínimo en proporción de 60/1. Este residuo proveniente de la producción de alcohol es una sustancia rica en nutrientes, especialmente en potasio, materia orgánica, fósforo y nitrógeno, elementos esenciales para el adecuado crecimiento de las plantas. Su aplicación es de 40 m³/ha

Para esta actividad se utilizan tractores de 140 HP y abonadoras de dos surcos similares. Además se utilizan cargadoras a granel para llenar las abonadoras mecánicas de 10 t de capacidad. (31)

- Control biológico de plagas

Las plagas más importantes en el cultivo de la caña en Guatemala son: salivazo o chinche salivosa (*Aeneolamia postica* y *Prosapia simulans*); chinche hedionda (*Scaptocaris talpa*); barrenador (*Diatraea spp.*); plagas de la raíz (*Phyllophaga spp.*, *Agriotes spp.*) y roedores como la rata *Sigmodom hispidus*.
(31)

El control es integrado y en las socas se inicia con pase de cultivador Lilistong sobre las cepas inmediatamente después del encalle.

Para el control de huevos de barrenadores se realiza una aplicación de *Trichogramma exiguum* y para el control de las larvas se liberan parásitos como la *Cotesia flavipes* y *Paratheresia claripalpis* a razón de 75 a 100 adultos/ha. Para el control de plagas de la raíz se utilizan trampas de luz instaladas directamente en el campo (accionadas por batería) que contienen feromonas naturales y sintéticas.

Para el control de la rata se tiene un plan de 4 pasos:

- control de malezas dentro y fuera del cultivo
- eliminación de focos en áreas no cultivadas
- programa de cría y reproducción en cautiverio de lechuzas y su posterior liberación en el campo. Esta depreda la plaga a un ritmo de 20-25 ratas/día.
- Uso de anticoagulantes de baja toxicidad. (31)

Se realiza el también control biológico para el manejo de ninfas y adultos mediante aplicaciones terrestres y aéreas del hongo *Metarhizium anisopilae*.

- Aplicación de madurantes e inhibidores de la floración

Los productos empleados son:

Glisolfato en dosis de 5 l/ha

Fusilade en dosis de 0.6 l/ha

Roundup en dosis de 1 l/ha

Roundup Max en dosis de 0.5/ha

Touchdown en dosis de 0.6 l/ha

La aplicación de estos madurantes se realizan con avionetas o helicópteros a volúmenes de 27 l/ha. Entre los inhibidores utilizados está el Etefon en dosis de 670 gramos de i.a./ha. (31)

- Corte y cosecha

- *Corte manual*

En Guatemala el 85% del área es quemada antes del corte y sólo en el 15% se cosecha en verde. Para el control de quemas se utilizan información de la Red meteorológica administrada por CENGICAÑA. Se tiene establecido el control de horario para las quemas y franjas de seguridad para la protección de las poblaciones. El área quemada por evento es de 10 a 12 hectáreas. (31)

- *Alce mecánico*

El alce de la caña se realiza con máquinas Cameco modelos SP2250 (155HP) y SP1800 (100HP), la eficiencia de alce es de 47 t/hora en promedio. Se realizan frentes de alce, cada uno compuesto por alzadoras, tractores para cadeneo, cabezotes de tractomula (según la distancia de transporte) y canastas o jaulas. El tiempo empleado para cargar una canasta es de 20 a 22 minutos aproximadamente. Se alzan y transportan 3000 t/caña. (31)

- *Corte mecánico*

Para los frentes de cosecha se cuenta con máquinas Austoft 7700 o Cameco 2500, tractores de cadeneo, la unidad de mantenimiento o equipo de apoyo y un tanque con agua. (31)

La unidad de apoyo está constituido por equipos de soldadura autógena y soldadura eléctrica, compresor, tanques de aceite con sus dispensadores, unidad para acople de mangueras, tina para repuestos usados y desechos, prensa, cajas de herramientas, repuestos más usados y tanque de combustible con dispensador.

- Transporte

El transporte se realiza con tractomulas que halan canastas o jaulas con 30 t/caña cada una. El cabezote tienen un motor de 450 HP y 110 toneladas de arrastre el peso de caña neta es de 75 t en promedio; también se usan camiones John Deer 7800. Con caña troceada se utilizan equipos de autovolteo y máquinas de 140 HP con capacidad de 16 m³ y de aproximadamente 10 toneladas. (31)

El descargue de la caña en la fábrica se hace con grúas del tipo Little Giant.

b. Descripción del proceso de producción de melaza

- Recepción de la caña

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se dispone directamente en las mesas de lavado de caña

para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras. Esta agua de lavado es utilizada como fertirriego en campo después de pasar por un tratamiento primario de sedimentación de sólidos.

- Picado de caña

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giradoras tipo Swing back de 1200 HP que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

- Molienda

En la molienda se utilizan tándems de molinos donde se extrae el jugo de la caña. Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua de imbibición, generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración. El objetivo es obtener 1.65 Pol de bagazo con humedad de 49.54% y maceración de 184.38% fibra. (31)

Los tándems se lavan con agua caliente a razón de 55 gpm y presión de 60 psi. Se utiliza el bactericida Bussan 1881 metalocida Q para disminuir el crecimiento bacteriano. En los molinos se adiciona ácido sulfúrico para mantener este a 257 ppm en jugo diluido. (31)

- Clarificación y purificación

El jugo pasa a sulfatación y control de pH en frío con sacarato de calcio hasta alcanzar un pH de 7.2. El jugo es calentado hasta alcanzar los 105°C y luego es distribuido a los clarificadores. (31)

Para la clarificación se utilizan equipos tipo SRI y 444. La clarificación del jugo se da por sedimentación; y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Éste jugo sobrante se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada que todavía contiene sacarosa pasa a un proceso de filtración antes de ser desechada al campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica.

- Evaporación

El jugo claro es precalentado a 113°C en dos etapas: vegetal I y escape. El jugo pasa por una serie de evaporadores configurados en una serie de cinco efectos para producir sirope de 67°Brix. El condensado del vapor proveniente de los efectos I y II pasa directamente a calderas; lo que sobra del segundo efecto va al tanque de fábrica para ser utilizado en el calentamiento del jugo. En este proceso se obtiene un jarabe o meladura.

- Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, recipientes al vacío de un solo efecto con la adición de Cristal 600.

El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

La masa pasa por las centrífugas, máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de dos

cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final (melaza) que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes.

c. Descripción del proceso de producción de etanol

La materia prima utilizada para la producción de etanol es la melaza o miel final, un subproducto del procesamiento de la caña de azúcar. (1lt alcohol = 0.003 t melaza)

- Preparación del cultivo

En ella se prepara un caldo de cultivo donde se añaden los nutrientes necesarios para la supervivencia del cultivo de levaduras que realizarán el proceso de fermentación. La levadura antes de retornar al proceso fermentativo, recibe un tratamiento severo, que consiste en la dilución de la materia prima (melaza) a un Brix, esto se realiza con agua y adición de ácido sulfúrico hasta, normalmente, pH= 2.5, o más bajo (pH= 2.0) en el caso de haber infección bacteriana. Esta suspensión de fermento diluido y acidificado, conocida en la práctica como Pie de Cuba (Pre-Fermento), permanece en agitación por 1 a 3 horas, antes de retornar a los fermentadores. (35)

- Fermentación

La fabricación de etanol por la vía fermentativa o biológica, es realizada por microorganismos a través de un proceso bioquímico fermentativo, que transforma la materia prima (substrato azucarado) en etanol y CO₂, siendo los agentes de esta fermentación algunas especies de levadura industrial del género *Saccharomyces*.

En esta etapa se lleva a cabo la fermentación de glucosa y una parte de la fructosa en etanol y dióxido de carbono, mediante la levadura *Saccharomyces*

cerevisiae que es adicionada al tanque de fomentación junto con los nutrientes necesarios para su reproducción (inoculación). (36)

- Destilación – Rectificación

La materia prima penetra en el calentavino, donde eleva su temperatura con el fin de disminuir la cantidad de vapor necesario en la columna destrozadora. Una vez el vino caliente, y su caudal medido y regulado, penetran en la columna, unos platos por debajo de la parte alta de la misma columna.

Las vinazas salen del pie por medio de una columna barométrica. El alcohol de buen gusto o centro se concentra en los últimos platos de la columna hasta la graduación deseada, entre 80 y 94°GL. El flujo de alcohol procedente de los condensadores se divide en dos, una parte representa el reflujo y la otra el alcohol centro.

Este alcohol centro puede ser llevado al Tamiz molecular donde por medio de las membranas de carbón donde se eliminan las moléculas de agua, obteniendo como producto final, etanol anhidro

En el proceso de destilación fraccionada de la mezcla agua -alcohol se produce Alcohol y un producto denominado Vinaza en una relación de 1:13 (un litro de alcohol producido por 13 litros de vinaza). La vinaza es un polisacárido, compuesto en un 97% de agua y materia orgánica en suspensión principalmente.

- Deshidratación - Tamíz Molecular

El alcohol evaporado y en fase vapor, pasa a través de los propios tamices moleculares en los cuales se retiene la fracción de agua. El alcohol deshidratado con una concentración de 99.5% sale por el pie, y después de ser condensado y enfriado, es enviado a los tanques de almacenamiento.

Hay tres tamices en paralelo que operan de forma alterna, cuando uno está regenerando, los otros dos están deshidratando. La regeneración se efectúa para eliminar el agua retenida, y se realiza por medio de una fracción del vapor alcohólico deshidratado que se está obteniendo en los otros dos tamices, operando el reactor en este caso al vacío. A este sistema se le conoce con el nombre de PSA (Pressure Swing Adsorption). El agua es arrastrada con el alcohol durante la regeneración, este alcohol se recupera en una columna de Regeneración. El alcohol recuperado se reúne con el alcohol hidratado en el tanque de recepción de alcohol hidratado, y el agua sale por el pie de la columna como agua servida. (37)

4.2.2 Construcción de los diagramas de procesos

Con la información expuesta anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de elaboración de etanol a partir de la caña de azúcar. En el mismo se recogen las entradas y salida principales que intervienen en el ciclo de vida estudiado. El primer diagrama (Figura 4.1) muestra el ciclo de producción de caña de azúcar, desde la preparación de suelos hasta su cosecha y transporte. El segundo diagrama (Figura 4.2) representa de forma gráfica el proceso que sufre la caña cosechada para tener como producto final melaza. Por último, el tercer diagrama (Figura 4.3) muestra la producción de etanol, a partir de la melaza producida. Cada uno de estos procesos están enfocados a la obtención de 1t de producto final: caña de azúcar, melaza y etanol; además están definidos los límites del sistema según quedaron definidos en la etapa de definición del alcance del estudio.

Figura 4.1. Diagrama de proceso de la producción de caña.

Fuente: Elaboración propia

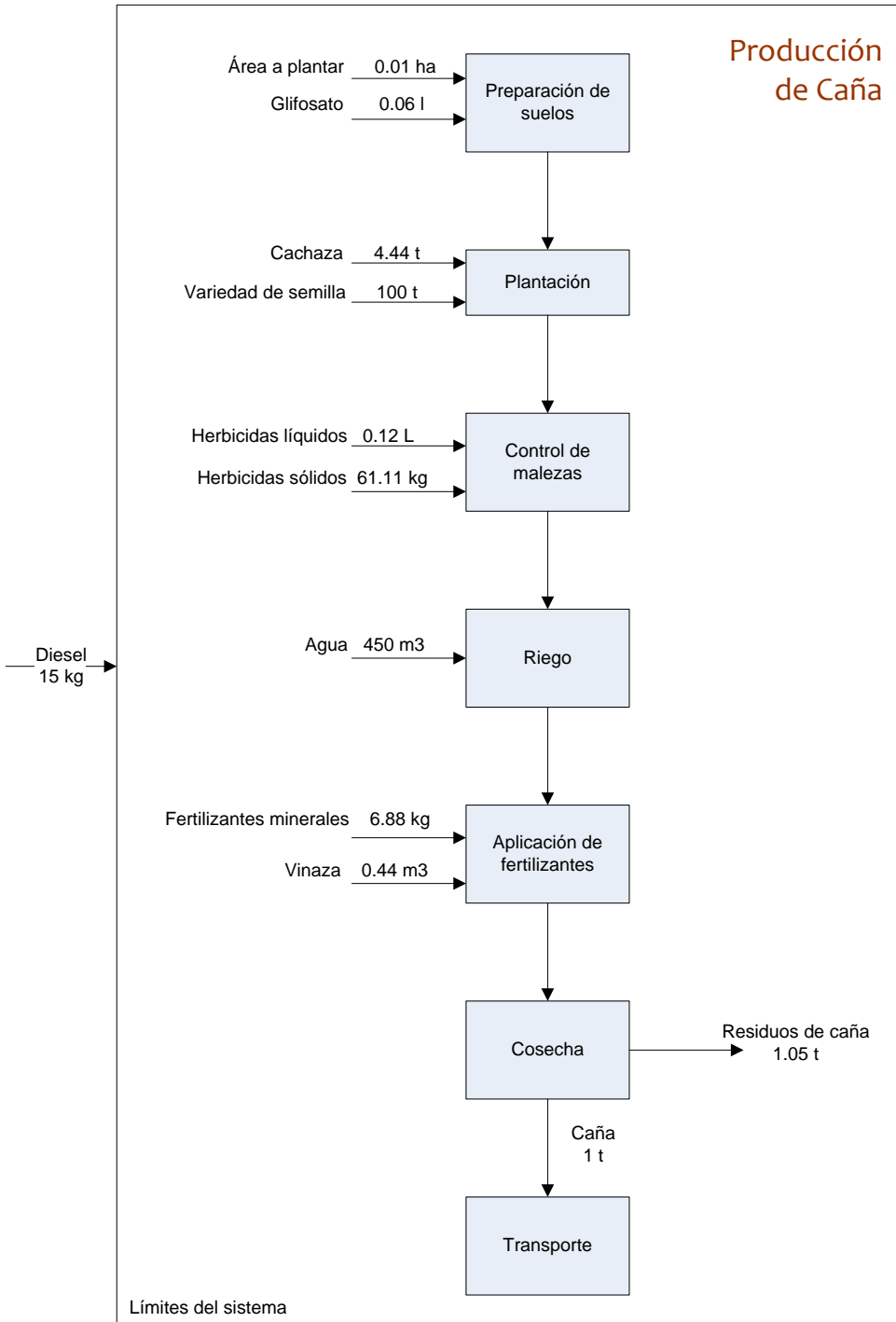


Figura 4.2. Diagrama de proceso de la elaboración de melaza.

Fuente: Elaboración propia

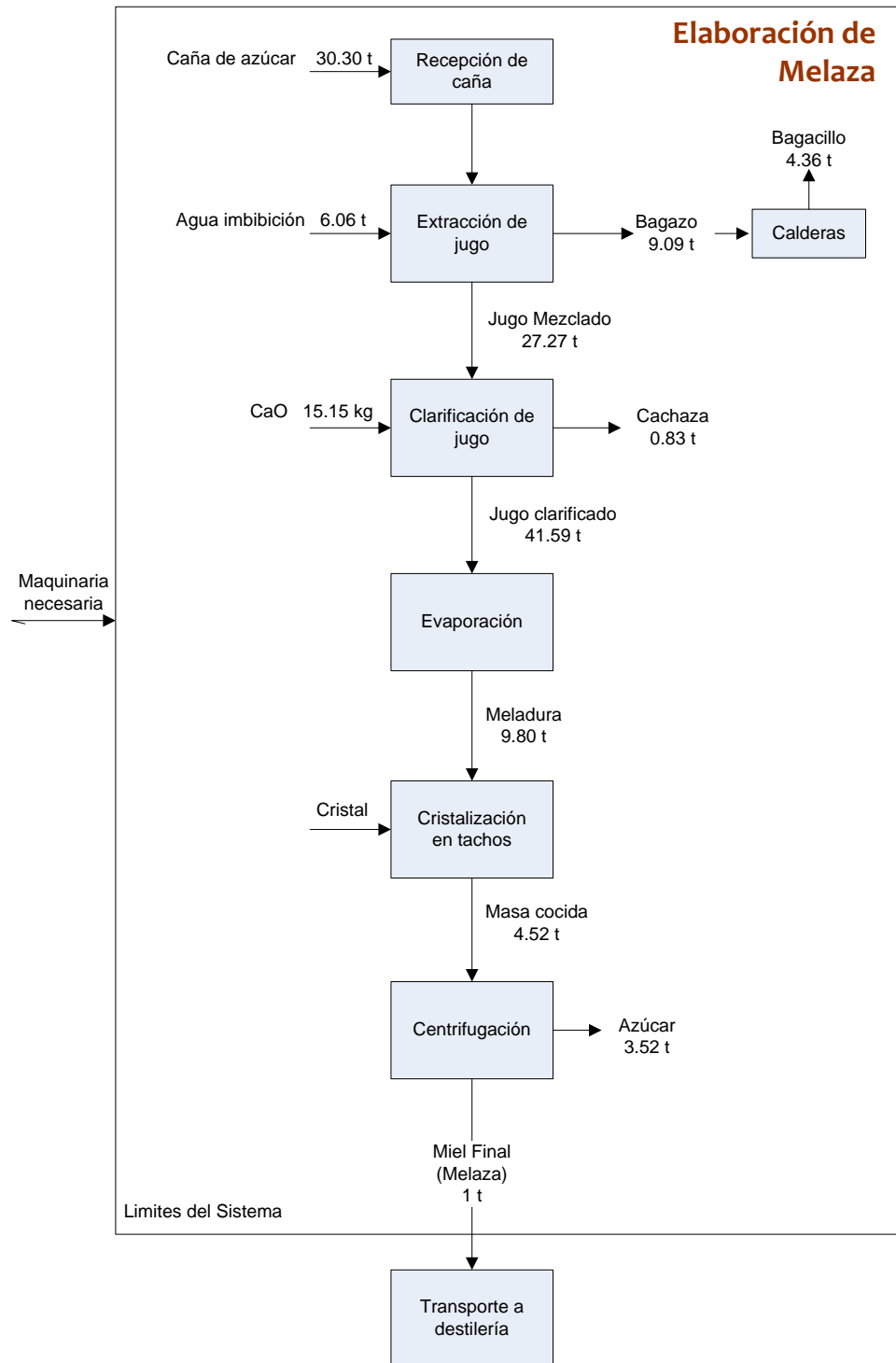
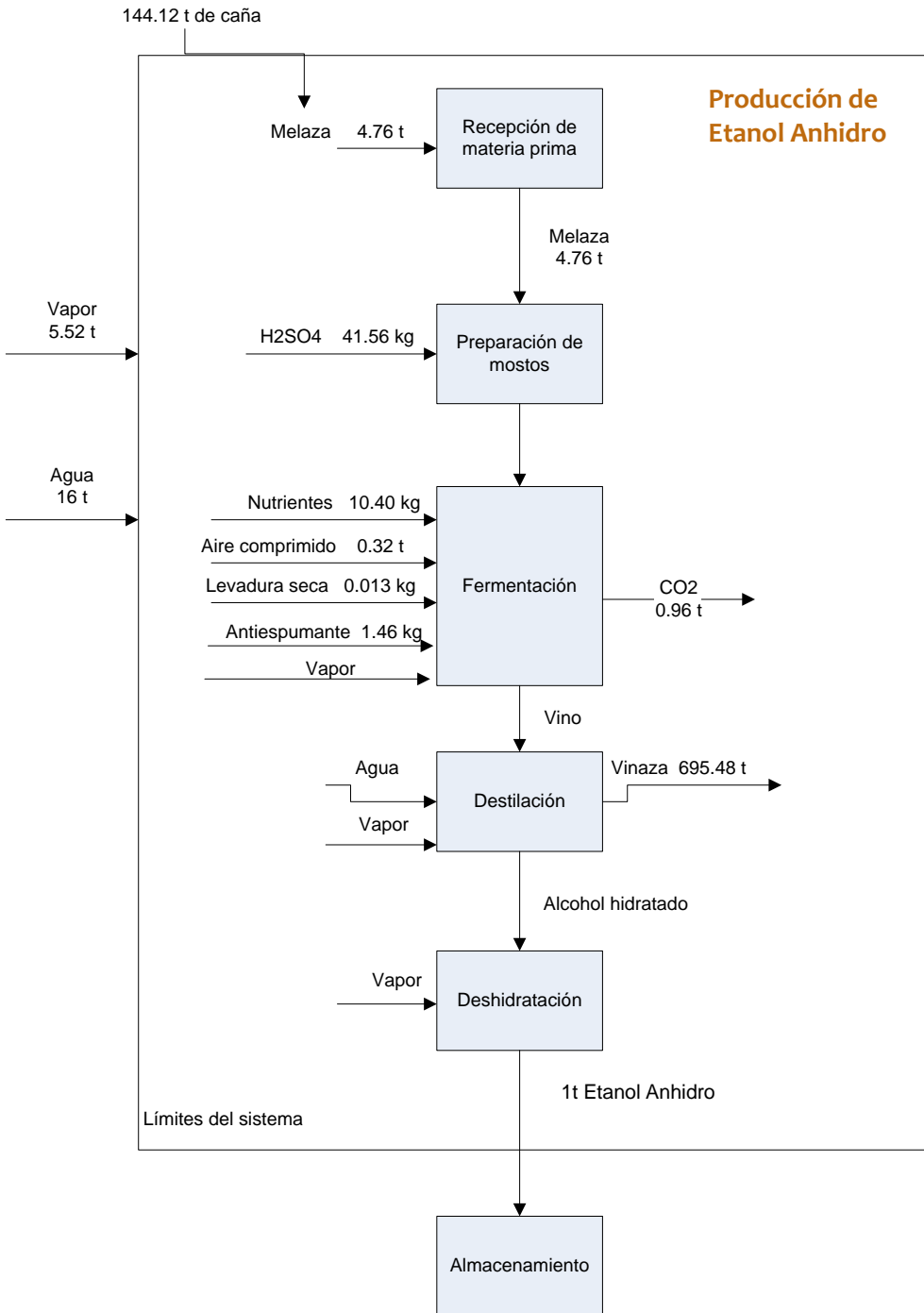


Figura 4.3. Diagrama de proceso de la producción de etanol.

Fuente: Elaboración propia



4.2.3 Procesar los datos

Con toda la información necesaria para el estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados se procede a incluir los datos en el software SimaPro 7.1, con el cual se procesan los datos para evaluar el impacto ambiental de la producción de alcohol, para luego valorar variantes de mejora ambiental.

4.3 ETAPA 3 Evaluación del impacto

Una descripción de la relevancia ambiental de las categorías de impacto es esencial para cada análisis de ciclo de vida. En un análisis de ciclo de vida de la elaboración de etanol, los siguientes temas ambientales son relevantes:

- Uso de la tierra para la plantación de la caña de azúcar.
- Uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, el transporte de materiales y el empleo de equipos en las labores de cultivo.
- Calentamiento Global o Efecto Invernadero.
- Acidificación acuática y terrestre
- Eutrofización
- Respiración de sustancias inorgánicas

Además es conveniente conocer el daño que producen estas categorías principalmente los daños referidos a la salud humana, el cambio climático y el uso de recursos; de tal manera que pueda definirse que categoría de daño está siendo más afectada con la producción de alcohol. Según estas categorías de impacto se procede a comparar los procesos descritos anteriormente con cuatro métodos diferentes: CML, Eco-indicador, Edip, Impact 2002+, con el uso

del software SimaPro 7.1; con el objetivo de seleccionar el método más apropiado de acuerdo a las categorías descritas como relevantes.

En los Anexos No. 4, 5, 6 y 7 se muestran los gráficos correspondientes a la normalización obtenida en el software utilizado con cada uno de los métodos.

Todos los métodos analizados muestran en común los siguientes elementos:

- El cultivo de la caña de azúcar presenta mayor impacto en la eco-toxicidad debido a emisiones hídricas de ión Cadmio; en la toxicidad por emisiones atmosféricas de plomo y benceno principalmente; y la eutrofización por emisiones de fosfato y óxido de nitrógeno (NO).
- La producción de etanol tiene una mayor contribución a la acidificación, por las emisiones de óxido de nitrógeno (NO); mayor uso de combustibles fósiles; respiración de sustancias inorgánicas; y una mayor contribución al calentamiento global por emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Tiene el mayor impacto al uso de energías no renovables, el calentamiento global y la salud humana según los métodos Eco-indicador e Impact 2002+.

Tabla 4.2. Presentación de las diferencias fundamentales encontradas en cada uno de los métodos

Método CML	Eco-indicador 99	Método Edip	Impact 2002+
Evalúa pocas categorías de impacto y no evalúa categorías de daño	Incluye todos los aspectos necesarios a evaluar pero no analiza por separado la categoría de cambio climático.	Es un método amplio que analiza una gran cantidad de categorías de impacto pero no evalúa los daños, por ser un método de punto intermedio.	Es capaz de vincular las categorías de impacto con daños en un amplio rango y con mayor especificidad el cual le da un amplio poder de análisis.
Genera incertidumbre ya que no incluye las categorías de: uso de combustibles fósiles, respiración de sustancias inorgánicas y uso de la tierra.	Las unidad de medida utilizada es el DALY y Para el estudio que se está realizando se considera más conveniente la evaluación según la cantidad de las sustancias emitidas relacionadas entre sí por equivalencias de una sustancia específica, como kg de CO2 para la categoría de cambio climático.	Las categorías están enfocadas a la toxicidad y eco-toxicidad; no incluye el uso de la tierra, el uso de combustibles fósiles, ni la respiración de sustancias inorgánicas	Es el único que incluye por separada la categoría de daño cambio climático, toxicidad humana y eco-toxicidad, situación muy esencial para la valoración que se pretende realizar.

Según la comparación realizada entre los diferentes métodos de evaluación de impactos, se concluye que el método más apropiado para realizar el estudio del ciclo de vida del etanol es Impact 2002+, ya que propone un enfoque combinado impacto/daño y con una evaluación comparativa de toxicidad

humana y eco-toxicidad, también utiliza el uso del suelo como indicador, por tal razón aporta todos los datos necesarios e indispensables para el análisis de este estudio.

4.3.1 Selección y definición de las categorías del impacto, indicador de la categoría y modelos de estimación

Con el método Impact 2002+ se analizan 15 categorías de impacto, en la tabla 4.3 se muestra cada una de estas relacionadas con categorías de daño y con el ámbito de acción.

Tabla 4.3 Categorías de impacto y de daño. **Fuente:** Elaboración propia.

No.	Categoría de Impacto	Categoría de Daño	Ámbito de Acción
1	Efectos Carcinogénicos	Salud Humana	Efecto Local
2	Efectos No-Carcinogénicos	Salud Humana	Efecto Local
3	Respiración de Sustancias Inorgánicas	Salud Humana	Efecto Local
4	Respiración de Sustancias Orgánicas	Salud Humana	Efecto Local
5	Radiación Ionizante	Salud Humana	Efecto Regional
6	Energías No-Renovables	Recursos	Efecto Regional
7	Extracción de Minerales	Recursos	Efecto Regional
8	Eco-toxicidad Terrestre	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
9	Acidificación Terrestre	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
10	Uso del Suelo	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
11	Acidificación Acuática	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
12	Eutrofización Acuática	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
13	Eco-toxicidad Acuática	Calidad del Ecosistema	Efecto Regional
14	Deterioro de la Capa de Ozono	Salud Humana	Efecto Global
15	Calentamiento Global	Cambio Climático	Efecto Global

a. Cálculo de los indicadores de categoría

Después de asignadas todas las cargas ambientales del sistema y determinadas las categorías de impacto en el software SimaPro 7.1, se evalúa la categoría de mayor incidencia según el impacto identificado.

En la Tabla 4.4 se aportan los datos normalizados para cada proceso según las categorías de impacto. Los datos fueron obtenidos del procesamiento de las entradas y salidas de cada una de las fases del proceso, agregados a la base de dato del software SimaPro 7.1.

Tabla 4.4 Valores correspondientes a la Normalización de las categorías de impacto. **Fuente:** Elaboración Propia.

Categoría de impacto	Unidad	Caña	Melaza	Etanol
Efectos Cancerígenos	Pt	0.00625	0.00626	0.00636
Efectos No Cancerígenos	Pt	0.00793	0.00794	0.00799
Respiración de Inorgánicos	Pt	0.43358	0.43427	0.43668
Radiación Ionizante	Pt	0.00102	0.00102	0.00103
Deterioro de la Capa de Ozono	Pt	3.90E-05	3.91E-05	3.98E-05
Respiración de Orgánicos	Pt	0.00016	0.00016	0.00016
Eco-toxicidad Acuática	Pt	0.00085	0.00085	0.00086
Eco-toxicidad Terrestre	Pt	0.00992	0.00994	0.01002
Acidificación/Nutri-Terrestre	Pt	0.01058	0.01059	0.01065
Uso del Suelo	Pt	0.00086	0.00086	0.00086
Acidificación Acuática	Pt	-	-	-
Eutrofización Acuática	Pt	-	-	-
Calentamiento Global	Pt	0.36982	0.37041	0.47014
Energía No Renovable	Pt	0.91985	0.92131	0.92520
Extracción de Minerales	Pt	2.94E-06	2.94E-06	2.94E-06
Total	Pt	1.76087	1.76365	1.87001

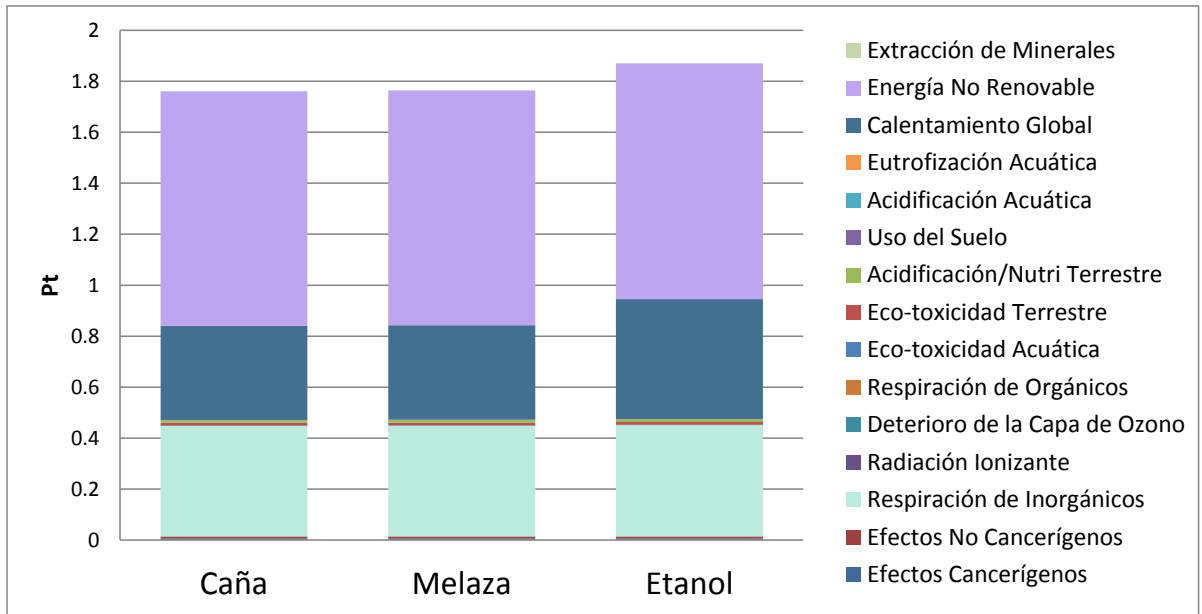
Con la caracterización y la normalización es posible entonces ponderar, paso opcional del análisis de ciclo de vida, desarrollado para tener una mayor visión de los impactos que más inciden, como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Valores correspondientes a la Ponderación de las categorías de impacto.

Fuente: Elaboración Propia.

Categoría de impacto	Unidad	Caña	Melaza	Etanol
Efectos Cancerígenos	Pt	0.006	0.006	0.006
Efectos No Cancerígenos	Pt	0.008	0.008	0.008
Respiración de Inorgánicos	Pt	0.434	0.434	0.437
Radiación Ionizante	Pt	0.001	0.001	0.001
Deterioro de la Capa de Ozono	Pt	0.000	0.000	0.000
Respiración de Orgánicos	Pt	0.000	0.000	0.000
Eco-toxicidad Acuática	Pt	0.001	0.001	0.001
Eco-toxicidad Terrestre	Pt	0.010	0.010	0.010
Acidificación/Nutri-Terrestre	Pt	0.011	0.011	0.011
Uso del Suelo	Pt	0.001	0.001	0.001
Acidificación Acuática	Pt	-	-	-
Eutrofización Acuática	Pt	-	-	-
Calentamiento Global	Pt	0.370	0.370	0.470
Energía No Renovable	Pt	0.920	0.921	0.925
Extracción de Minerales	Pt	0.000	0.000	0.000
Total	Pt	1.761	1.764	1.870

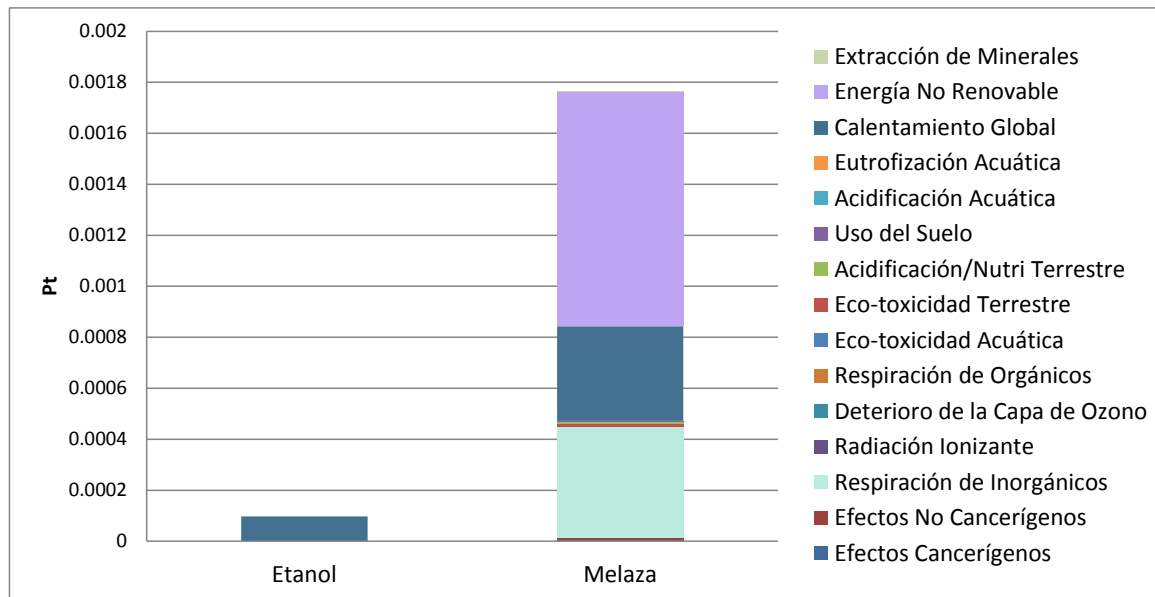
En un gráfico acumulativo de las tres fases del ciclo de vida del etanol con los factores ponderados (ver gráfica 4.1), que se muestran en la tabla anterior. Se puede apreciar que para la producción de 1t de etanol las categorías con una mayor incidencia están las energías no renovables, el calentamiento global y a la respiración de inorgánicos.



Gráfica 4.1 Representación gráfica acumulativa de la comparación entre las distintas fases del ciclo de vida del etanol. **Fuente:** Elaboración Propia.

Como se muestra en la figura 4.1 las sustancias de cada uno de los procesos se suman en todo el ciclo de vida resultando un impacto directo en el producto final.

En la gráfica 4.2 se compara el proceso de etanol y melaza para analizar cuáles de las categorías de la son las que pueden afectar al ciclo de vida de este producto.



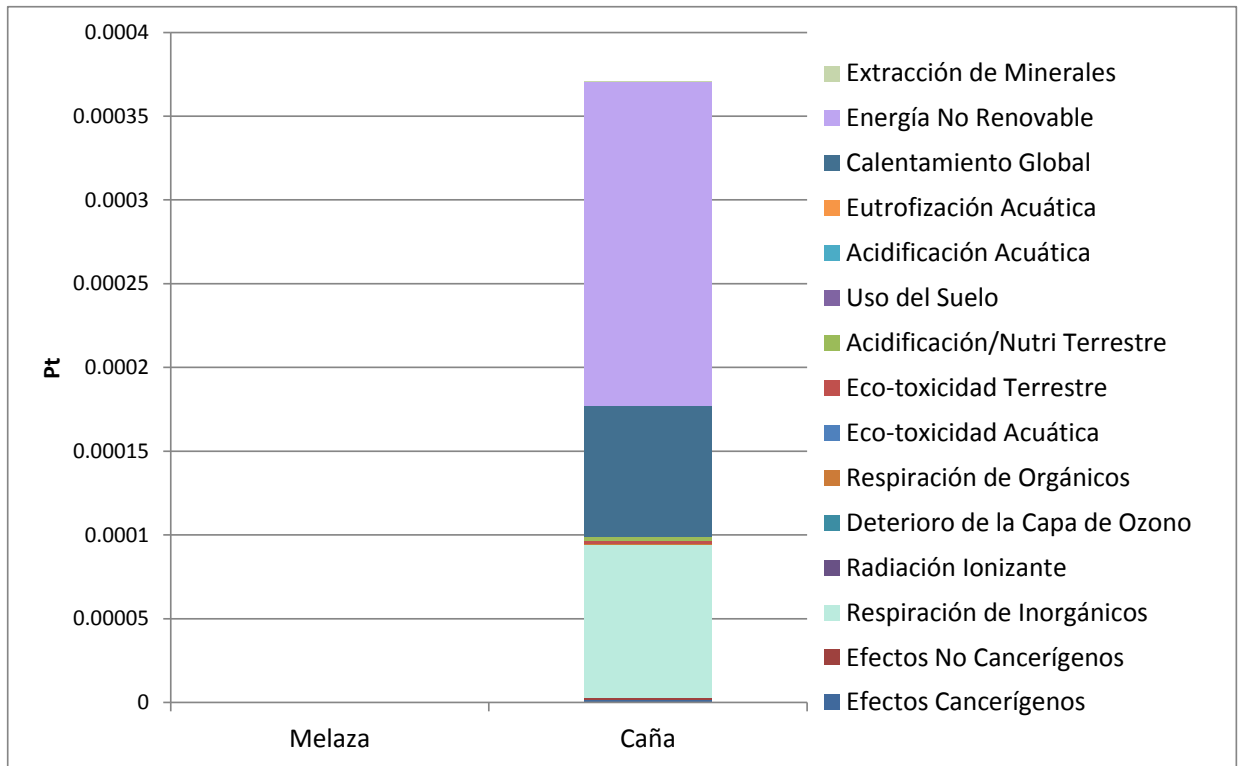
Gráfica 4.2. Análisis comparativo entre el proceso de etanol y la melaza.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica 4.2., la producción de etanol afecta directamente a la categoría de calentamiento global debido al proceso de fermentación, el cual aporta CO₂ a la atmósfera. En el Anexo 1 se muestra una tabla con los datos recolectados de producción.

También se puede observar que la producción de melaza aporta el mayor impacto en cada una de las categorías en la producción de etanol.

A continuación, en la gráfica 4.3, se compara la producción de caña y de melaza para analizar cual es el impacto que la producción de caña tiene hacia la melaza, comprobando así la comparación de los tres procesos en la gráfica 4.1.

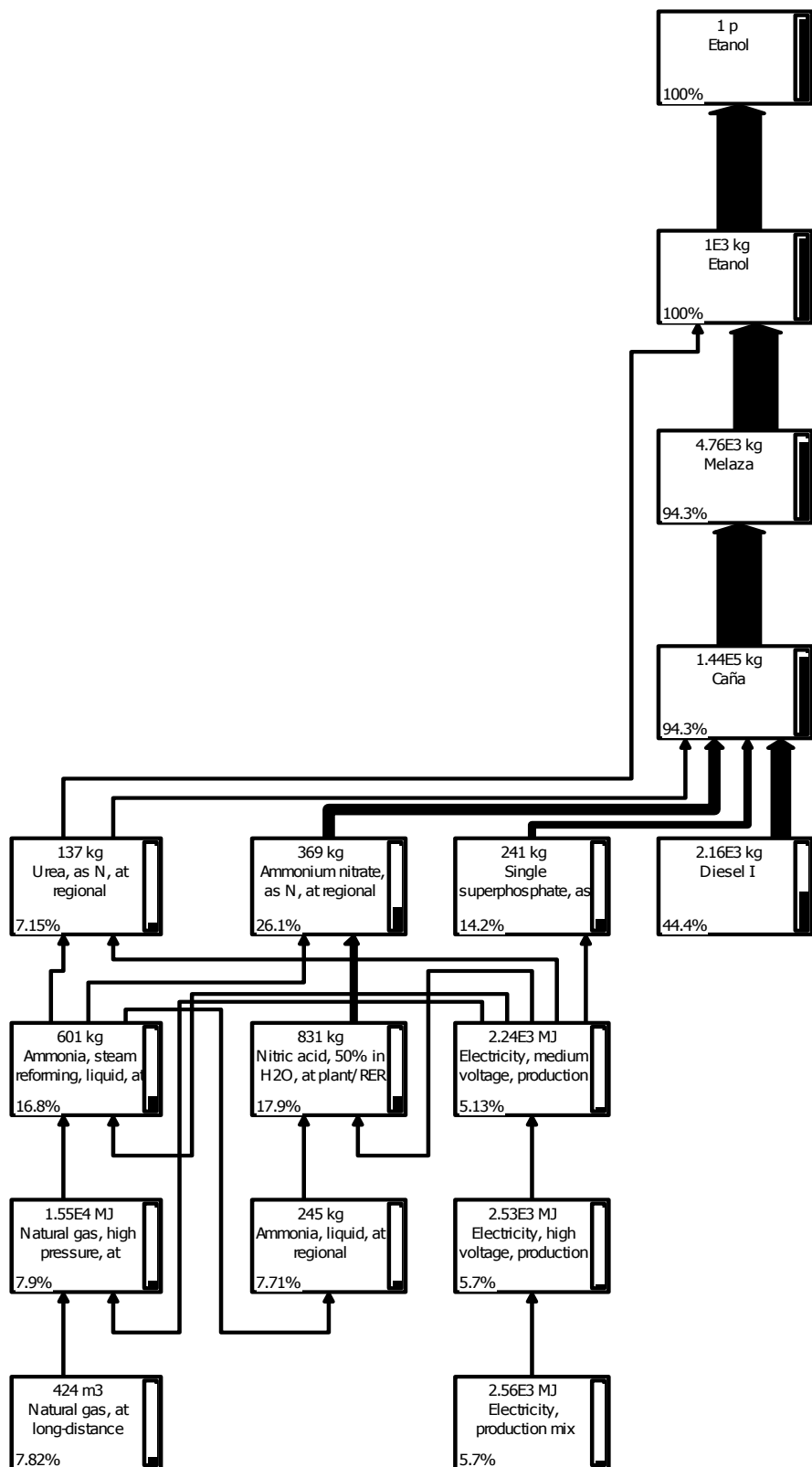


Gráfica 4.3. Análisis comparativo entre la producción de melaza y la producción de caña. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica 4.3, la producción de melaza no aporta impactos significativos en su producción, por lo tanto la producción de caña es la que aporta, de forma acumulativa, el impacto en cada uno de los procesos.

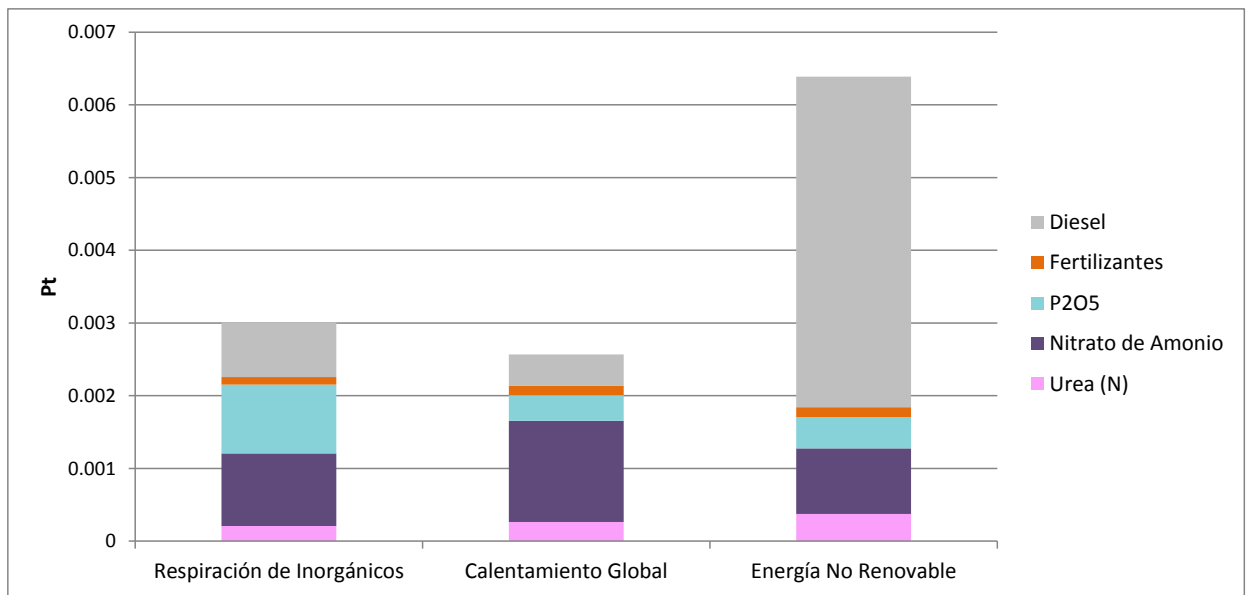
A continuación se muestra el diagrama de flujo de la producción de 1t de etanol en el cual se observa el proceso y la sustancia con mayor impacto en el producto.

Figura 4.4. Diagrama de flujo del ciclo de vida de la producción de 1t etanol



Como se observa en la figura 4.1, el mayor porcentaje de contribución de impacto en la producción de etanol proviene de la quema caña, y de esta un 44% proviene del uso del diesel y el restante proviene del uso de los fertilizantes.

Según la figura 4.1, la producción de caña es uno de los procesos con mayor influencia en la producción de 1t de etanol. Realizando una comparación de cada una de las categorías de impacto y de las sustancias que influye en el proceso caña, se puede tener una visión más clara de cómo estas sustancias pueden influir en cada categoría, como se muestra en la gráfica 4.4.



Gráfica 4.4. Análisis comparativo por sustancia según categoría de impacto.

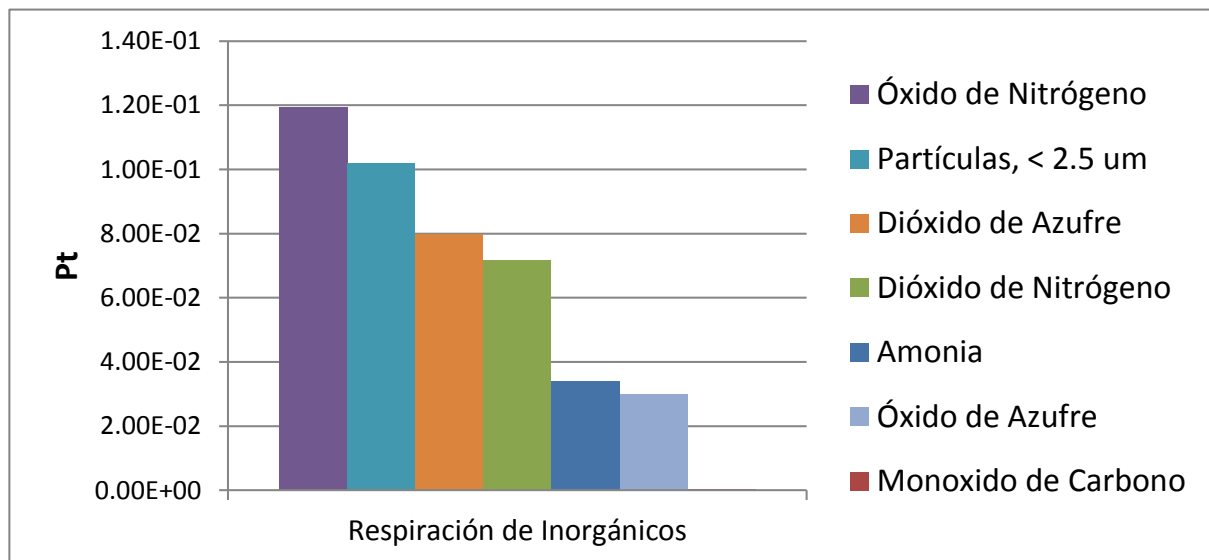
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica 4.4 el uso del diesel es las sustancias que aporta mayor impacto. En la categoría de energía no renovable, el uso de diesel como combustible fósil, en la producción de caña es muy común, esto es referente a toda la maquinaria utilizada desde la preparación de tierra hasta el transporte de la caña a la fábrica.

En esta categoría también influye el uso de combustible fósil en la fabricación de los fertilizantes con mayor influencia según la gráfica 4.4.

En la categoría de calentamiento global, el compuesto de nitrato de amonio, en el peor de los casos de que no fuera aplicado correctamente en los campos, resulta ser uno de los compuestos con mayor impacto, ya que su nivel de persistencia en el tiempo es mayor al CO₂.

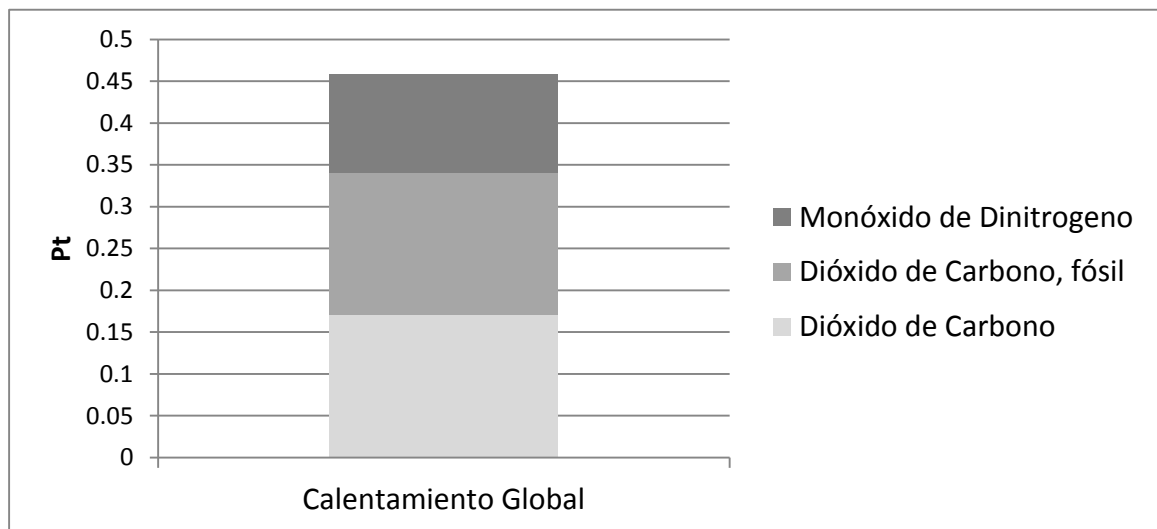
En la respiración de inorgánicos, los gases que puedan producir un impacto a la salud humana son los producidos por los fertilizantes, es por esto que esta categoría está entre las tres de mayor influencia en el proceso. Desglosando esta categoría, la gráfica 4.5 muestra las sustancias que más influyen.



Gráfica 4.5. Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de Respiración de Inorgánicos. **Fuente:** Elaboración propia.

Esta categoría de impacto, respiración de inorgánicos, está relacionada con la categoría de daño sobre la Salud Humana, por lo que las sustancias que aportan impacto, como se observa en la gráfica 4.5, afectan directamente la salud humana y son sustancias producidas por el uso de fertilizantes..

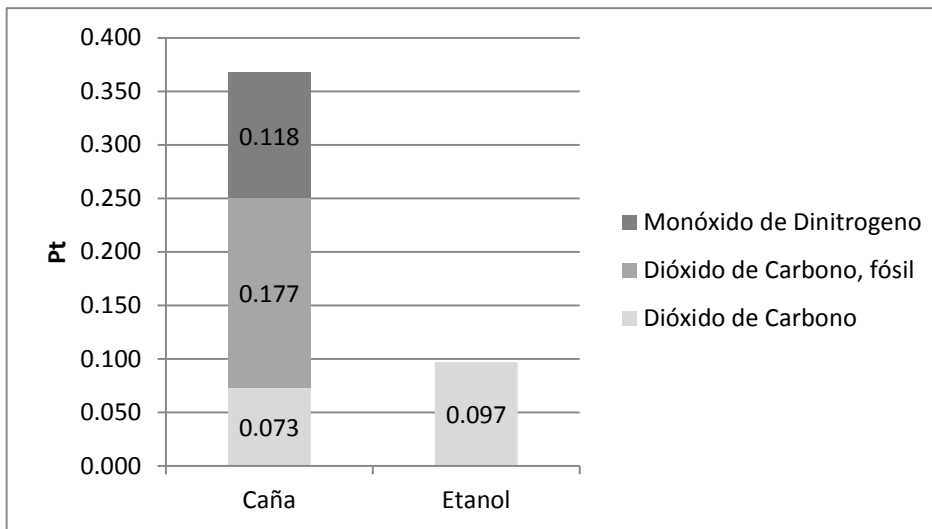
Para la categoría de impacto de calentamiento global, las sustancias que mayor incidencia tienen en este ciclo de vida, se muestran en la gráfica 4.6.



Gráfica 4.6. Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de calentamiento global. **Fuente:** Elaboración propia

Esta categoría de impacto incide directamente a la categoría de daño llamada Cambio Climático, y como se muestra en la gráfica 4.6, la sustancia que mayor impacto aporta es el dióxido de carbono.

Para tener un mejor panorama de esta categoría de impacto, se desglosa en las sustancias que por proceso tienen mayor influencia y se representa en la gráfica 4.7



Gráfica 4.7 Análisis comparativo de los procesos con mayor influencia en la categoría de Calentamiento Global. **Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica 4.7 se comprueba que el dióxido de carbono (CO₂) es emitido tanto de la producción de caña como en la producción de etanol. Las sustancias que mayor influencia tienen en la producción de caña es el diesel, aportando 0.5 ton de CO₂ por cada tonelada de diesel consumido, y en la producción de etanol, el proceso de fermentación produce 0.96 toneladas de CO₂ por cada ton de etanol producido.

Estudios realizados sobre el balance de gases de efecto invernadero a la industria azucarera, se ha calculado que la caña de azúcar libera a la atmósfera 40 toneladas de oxígeno y remueve 60 toneladas de CO₂e al año. Por lo que, es un cultivo que reduce las emisiones de gases contaminantes precursores del calentamiento global. (38)

Aun así, el uso de combustible fósil sigue siendo una limitante en términos de beneficio ambiental, porque analizando el ciclo de vida del diesel como tal, según la gráfica 4.7, este aporta una cantidad considerable de CO₂e a la atmósfera que, viéndolo por separado, no cierra su ciclo.

4.4 ETAPA 4 Análisis de mejora

Según los resultados obtenidos las mejoras deben estar encaminadas a la disminución del uso de combustibles fósiles, causantes principales del elevado impacto en la categoría de energía no renovable y calentamiento global, así como el uso de fertilizantes y el control de estos al ser aplicados en los campos.

Variante I

Esta variante de solución consiste en implementar el sistema de riego por goteo en busca de lograr la máxima eficiencia en el aprovechamiento de combustibles, agua y fertilizantes incrementando notablemente la producción y la calidad de los productos.

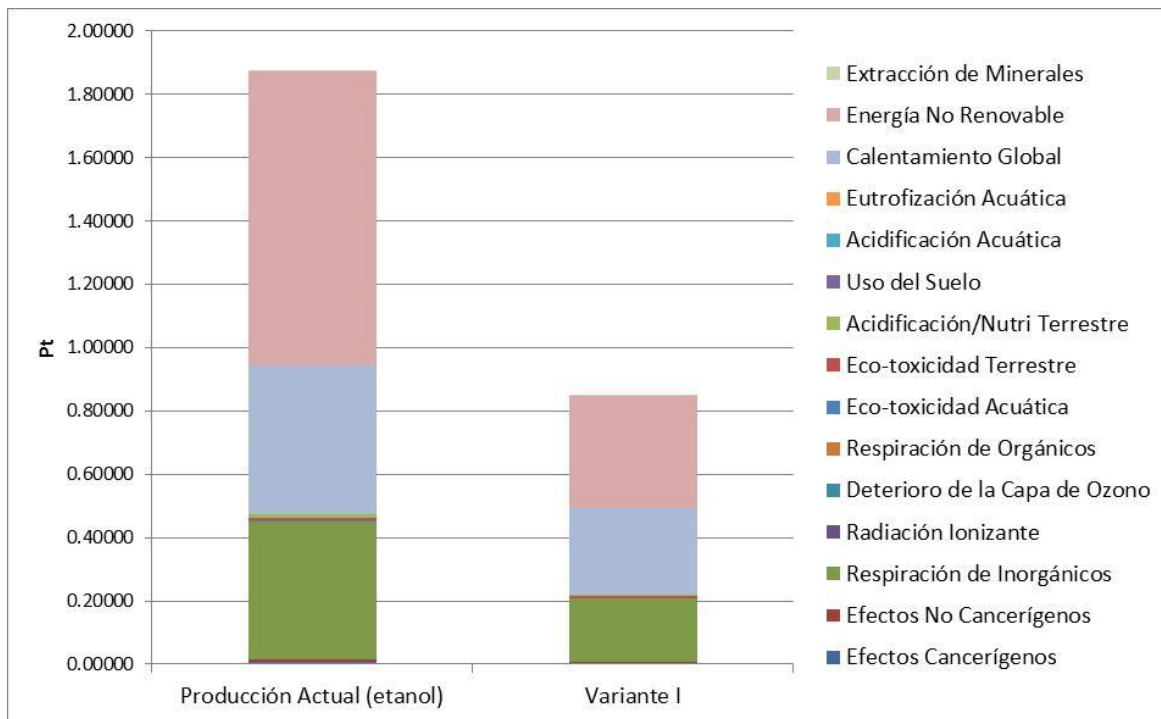
El impacto directo de esta medida, se puede ver manifestado en la disminución de los fitosanitarios y abonos. En riego por goteo, la utilización de abonos tradicionales en superficie es casi ineficaz, así los sistemas de goteo mezclan el abono líquido o pesticidas en el agua de riego facilitando el control del aporte de nutriente sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo (fertirriego).

El impacto sobre el índice de consumo de agua que tiene esta medida implica la reducción de entre un 40 y 60% en comparación con otros sistemas de riego, permite la utilización de aguas de baja calidad (aguas residuales), en otras épocas consideradas inservibles para estos fines, ya que evita que se dispersen gotas con posibles patógenos en el aire.

La implantación de esta medida permite una reducción en un 50%

del consumo de herbicidas líquidos y de sólidos; por concepto de fertilizantes se ahorra un 30% además implica una disminución del consumo anual de combustible, en lo referente al transporte para el riego de estos fertilizantes, en un 70%. También se requieren un menor número de obreros para las labores de cultivo.

En el Gráfico 4.8 se pueden apreciar la comparación entre el proceso actual y la propuesta de mejora, destacándose que el empleo del riego por goteo disminuye significativamente el impacto de las energías no renovables, el calentamiento global y la respiración de inorgánicos.



Gráfica 4.8 Comparación entre la Producción actual de etanol y la Variante I.

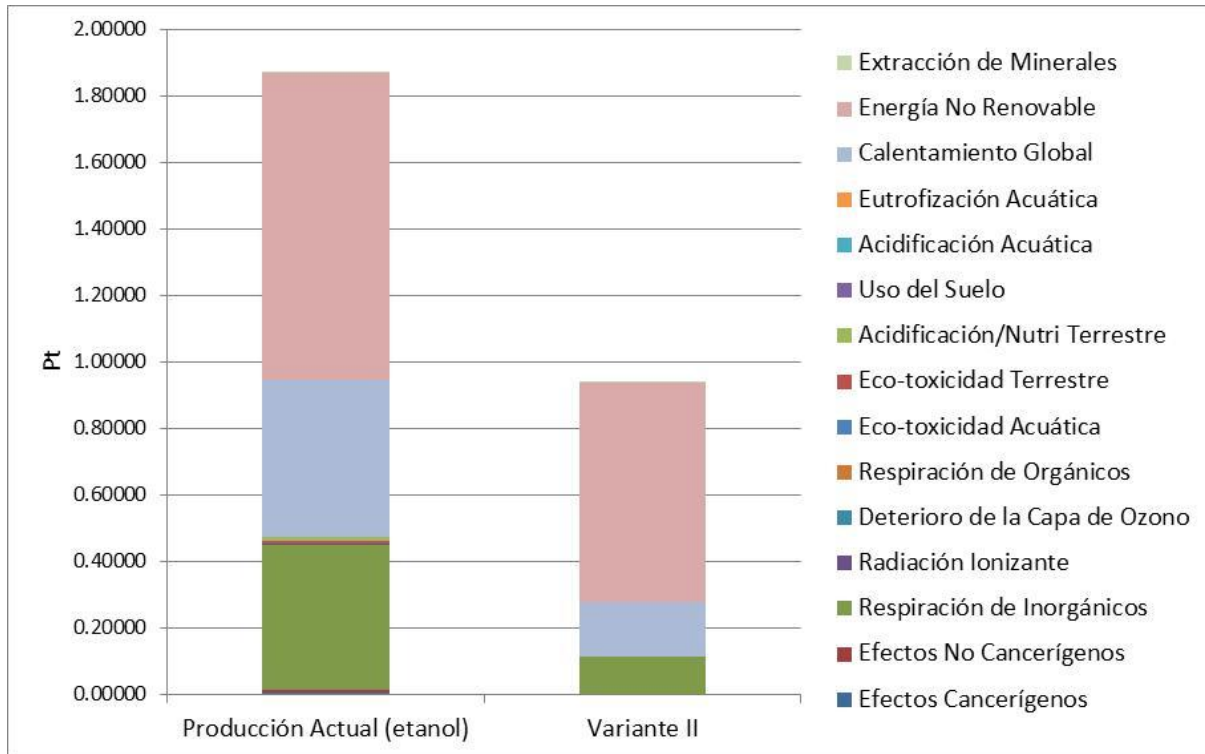
Fuente: Elaboración Propia.

Variante II

Esta variante consiste en la sustitución de fertilizantes inorgánicos a fertilizantes orgánicos utilizados en la producción de caña. Los fertilizantes inorgánicos son utilizados debido a su rápida asimilación de nutrientes ya que se encuentran en concentraciones mucho más grandes y específicas. La desventaja en el uso de estos fertilizantes, es que pueden llegar más rápidamente a contaminar las fuentes de agua de la zona por los lixiviados, así como las emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera, que afectan a la salud humana y contribuyen al calentamiento global. Entre otras desventajas en el uso de estos fertilizantes son las materias primas que se utilizan, las cuales consisten principalmente en petróleo y el gas natural.

Debido a esto, se propone el uso de fertilizantes orgánicos, los cuales, por su composición, ayudan a retener los nutrientes del suelo, mantener la humedad necesaria que cada tipo de suelo necesita para el desarrollo adecuado de las plantaciones. Los fertilizantes orgánicos son de origen vegetal o animal, por lo que en este tipo de fertilizantes no se necesitan el uso de recursos no renovables para su producción. Además de las ventajas que ya hemos nombrado ayuda a recomponer toda la estructura del suelo a diferencia de los fertilizantes inorgánicos que solo aportan los nutrientes que se necesitan para solucionar el problema inmediatamente.

A continuación se presenta la gráfica comparativa entre el proceso actual del etanol y la variante II, en la cual se muestra el impacto que produce por el cambio de fertilizantes químicos a fertilizantes orgánicos.

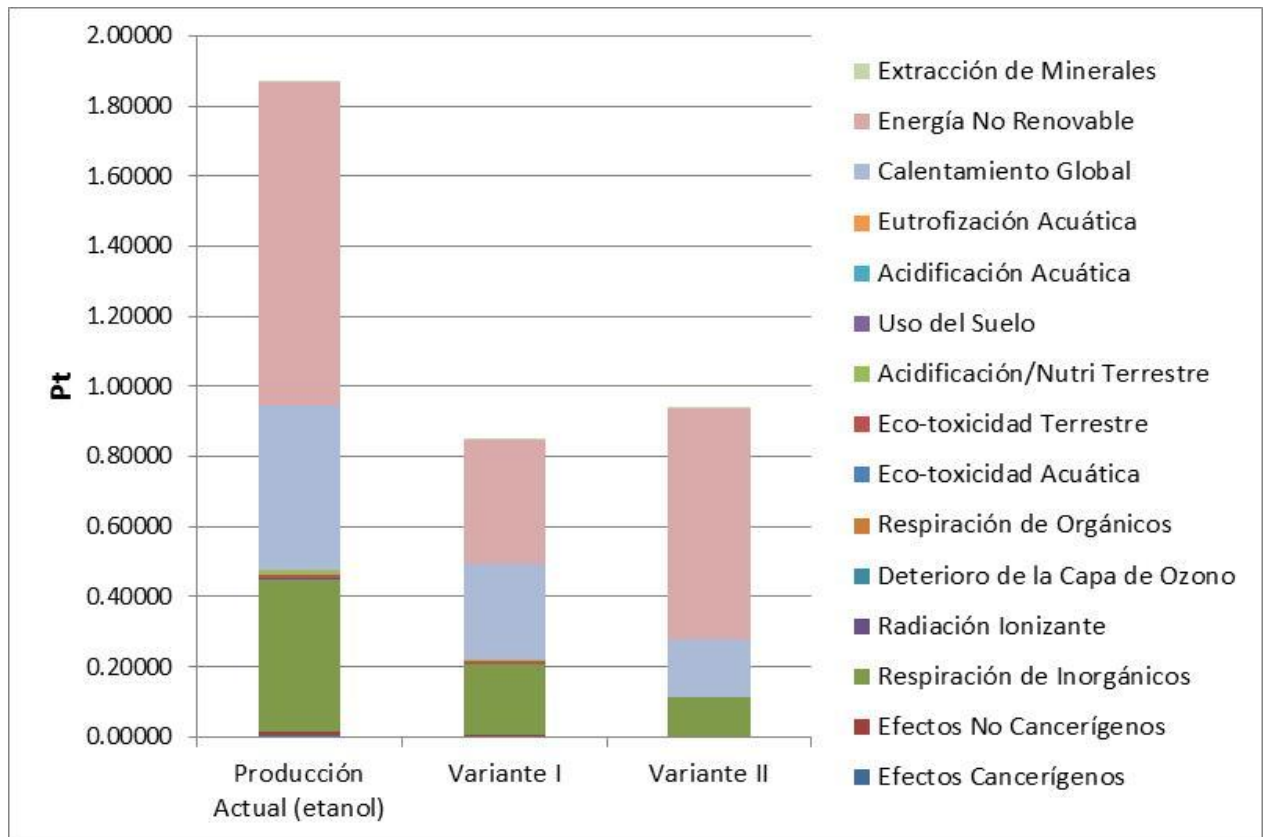


Gráfica 4.9 Comparación entre la Producción actual de etanol y la Variante II
Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica 4.9 se puede observar que la reducción de los impactos por el cambio de fertilizantes inorgánicos a orgánicos en cada categoría es considerable. Se observa una reducción de un 29% en el uso de energías no renovables y para la categoría de calentamiento global existe una reducción de un 66%. Pero el mayor efecto positivo se observa en la reducción de casi un 80% para la respiración de inorgánicos, considerando así un efecto positivo tanto ambiental como en la salud humana.

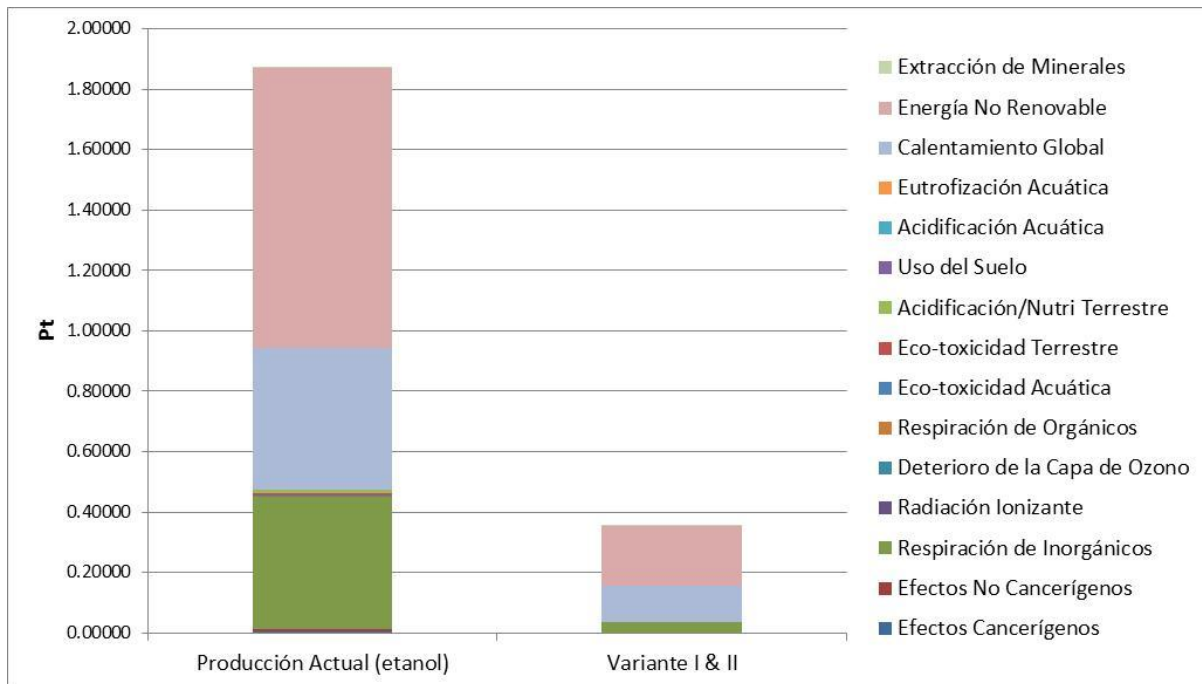
Comparación entre la Variante I y II

Evaluando las dos variantes propuestas en esta etapa del análisis, observamos, como se muestra en la gráfica 4.10, que la variante I presenta un menor impacto, reduciendo a casi un 50% de los impactos producidos por la producción actual. Respecto a esto, se observa que la variante I reduce de forma integral los impactos, mientras que la variante II aún presenta un impacto significativo hacia los recursos debido al uso de energías no renovables.



Gráfica 4.10 Comparación entre la Producción actual de etanol y las dos variantes de mejora. **Fuente:** Elaboración Propia

Si se logrará combinar las dos variantes, los impactos se reducirían a casi un 85% en cada una de las categorías afectadas, por lo que los resultados serían menos significativos y la mayoría de los impactos producidos provendría de la fabricación de los insumos que se utilizaran, como se muestra en la gráfica 4.11.



Gráfica 4.11 Comparación entre la Producción actual de etanol y la realización de la Variante I y II. **Fuente:** Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. Se demuestra conceptual y teóricamente que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental capaz de valorar la sustentabilidad de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar y sus posibles análisis de mejoras.
2. Se define prácticamente a partir de la metodología propuesta en las normas ISO 14 040 y usando el software SimaPro 7.1, una metodología capaz de valorar el ciclo de vida de cualquier producción de etanol bajo las condiciones de Guatemala.
3. Se definió el alcance del estudio según los aspectos que se analizaron, para esto la unidad funcional del sistema fue la producción de 1 tonelada de etanol para el año 2009 bajo las condiciones de Guatemala, utilizando el enfoque de la tumba a la puerta.
4. Se elaboró un inventario de cada uno de los procesos que intervienen en la producción de etanol; producción de caña, elaboración de melaza y producción de etanol. Logrando con este inventario realizar los diagramas de procesos correspondientes a cada uno y obteniendo la información necesaria para el análisis.
5. Una comparación de cuatro métodos de evaluación de impacto con el uso del software SimaPro 7.1, demostró que el método Impact 2002+ es el más apropiado para este estudio debido a que es el único que evalúa por separado la categoría de daño de cambio climático, es el único que analiza el uso de suelo y cuenta con más categorías de impacto que los otros métodos.

6. El análisis del ciclo de vida del etanol mostró que las categorías de impacto más afectadas son; el uso de Energía no Renovable, el Calentamiento Global y la Respiración de sustancias Inorgánicas, resultando que las categorías de daño más afectadas son los Recursos, el Cambio Climático y la Salud Humana. De los tres procesos estudiados el más contaminante es la producción de caña.

7. Como estrategias de mejora se proponen dos variantes, la primera propone realizar un sistema de riego por goteo, disminuyendo notablemente el impacto ambiental a casi un 50% en las categorías de uso de energía no renovable, calentamiento global y respiración de inorgánicos. La segunda variante propone la sustitución de fertilizantes inorgánicos a orgánicos reduciendo significativamente los impactos sobre la categoría de respiración de inorgánicos.

RECOMENDACIONES

1. A la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala, se recomienda investiguen técnicas específicas de análisis de ciclo de vida para cada una de las distintas destilarías del país para contar con una base de datos comparativos en el tiempo, como un ejemplo de caso en los proyectos de valoración integral de biocombustibles.
2. Al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, se recomienda profundizar en las metodologías existentes para el análisis de ciclo de vida y desarrollar una propia para los procesos productivos existentes en el país.
3. A las universidades del país, se recomienda contar con capacitación en la aplicación del ciclo de vida para todo tipo de producciones en el país.
4. Se recomienda continuar con la valoración de otras estrategias de mejora añadiendo un análisis económico y social a las propuestas de mejora en la metodología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Honty, Gerardo; Gudynas Eduardo. 2007. *“Agrocombustibles y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: Situación, Desafíos y Opciones de Acción”*.
2. Suppen, N. 2007. *“Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño”*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. www.lcamexico.com
3. Dufey, Annie. 2006. *“Producción y Comercio de Biocombustibles y Desarrollo Sustentable: Los Grandes Temas”*. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, Londres.
4. Jank, M.S. 2007. *“EU and US policies on biofuels: potencial impacts on developing countries”*. German Marchall Fund for the US, Washington
5. Torre Ugarte, D.G. de la. 2006. *“Bioenergy and agriculture: Developing bioenergy: economic and social issues”*. Biofuels and the global food balance. IFPRI Focus 14, No. 2, Washington.
6. www.olade.org
7. Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala
<http://acrguatemala.com/etanol.shtml>
8. Solera, Marco Chávez. 2004. *“La caña de Azúcar como materia prima para la producción de Alcohol Carburante”*. Memorias Seminario “Antecedentes y Capacidad Potencial de Cogenerar Energía y Producir Etanol por Parte del Sector Azucarero Costarricense”
9. Horta Nogueira, L. A. (2004). *“Perspectivas de un programa de biocombustibles en América Central”* [Electronic Version], p. 84. Retrieved Diciembre, 2008.
<http://agrocombustibles.org/conceptos/CepalBiocombustiblesLac2004.pdf>.
10. Niederl Anneliese; Narodoswasky Michael. 2004. *“Life Cycle Assessment – study of Biodiesel from Tallow and Used Vegetable Oil.”* BIODIEPRO

11. Chen, James C. P. 1991. *“Manual del azúcar de caña. Para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados”*. Editorial Limusa, S.A. De C.V.
12. Perez, Ovidio; Melgar Mario. *“Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización con potasio en plantillas de suelos andisoles, entisoles y molisoles de la región cañera de Guatemala.*
13. Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala. 2007, 2008, 2009. www.cengicana.org.
<http://www.cengicana.org/Portal/Documents/Documents/2007-06/368/309/Grupos de manejo original.pdf>
14. Saballo Daniel, E. A. (2005). *“Procedimiento para realizar estudios de procesos en Empresas Hoteleras”*. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
15. Zaratiegui, J. R. (1999). "La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa". *Revista Economía Industrial, Vol. VI*, España. p. 82.
16. NC-ISO9000, 2001
17. Pérez Rave, J. I., Ruíz C., J. A. y Parra M., C. M. 2007. *“Uso del enfoque por procesos en la actividad investigativa”*. Revista chilena de Ingeniería, Vol. 15, pp. 260-269.
18. González Glez, A. y. I. G., C. L. (2006). *“Enfoque para el diseño del Sistema de Gestión Integrado”*. Cuba: ISPJAE-Facultad de Ingeniería Industrial
19. Rodríguez Becerra, M. 2005. *“Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas”*. Chile: Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente.
20. Antón Vallejo, María Assumpció. 2004. *“Utilización del Análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto Ambiental del Cultivo Bajo Invernadero Mediterráneo”*.
21. Mailiu Díaz Peña. 2009. *“Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de Alcohol: ejemplo de caso AFLICSA”*. Universidad de Cienfuegos, Cuba.

22. Romero Rodríguez, B. I. 2004. *"El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental"*. www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf
23. Narayaswamy, Venky; Altham, William; Van Berkel, Rene. 2003. *"Methodological Framework for Application of Environmental Life Cycle Assesment (LCA) to Australian Grains"*.
24. Finnveden, G.; Ekvall, T. 2001. *"Allocation in ISO 14041 - a critical review. Journal of Cleaner Production"* vol. 9, n°3.
25. Serra, Luis; Raluy, R. Gemma; Uche, Javier; Valero Antonio. Julio 2003. *"Impacto Ambiental de Tecnologías de Producción de Agua. Análisis de Ciclo de Vida Comparado del trasvase del Ebro frente a la Osmosis Inversa"*.
26. Botero, E. 2000. *"Valoración exergética de recursos naturales, minerales, agua y combustibles fósiles"*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza.
27. PRé Consultants, 2001a. *"Database Manual SimaPro. General Introduction"*. The Netherlands.
28. Suárez Olivera, P. V. (2008). *"Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
29. PRé Consultants, 2000. *"Database Manual. Methods library"*. The Netherlands.
30. PRé Consultants, 1999. *"The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment"*. Methodology Report. The Netherlands.
31. Isaacs, Camilo H.; et.al. 2005. *"Misión Tecnológica a la Industria Azucarera de Guatemala"*.
32. Perez, Ovidio; Melgar, Mario. 2003. *"Fertilización fosforada y calibración de suelos para caña de azúcar cultivada en Guatemala"*
33. Aguilar, José Rodolfo; Pérez, Ovidio; Meneses, Adlai; Melgar, Mario. 2008. *"Estudio de Rentabilidad para el Área de Fertilización de"*

CENGICAÑA”.

34. Perez, Ovidio; Melgar Mario. *“Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización con potasio en plantillas de suelos andisoles, entisoles y molisoles de la región cañera de Guatemala.*
35. Mancheno, José Gnecco. 2006. *“Situación De La Producción De Etanol En Colombia, Sucromiles.”*
http://clayuca.org/training/pdf/060315_escenarios_de_produccion_de_etanol_en_colombia.pdf
36. Cardona, Carlos; Sánchez, Oscar; Montoya, María; Quintero, Julián. 2005. *“Simulación De Los Procesos De Obtención De Etanol A Partir De Caña De Azúcar Y Maíz”.* Scientia et Technica Año XI, No 28 Disponible en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/172045187-192.pdf>
37. Zambrano, Daniel Enrique. *“Diagnóstico De Sensibilidad Por El Montaje De Una Planta Productora De Alcohol Carburante En La Hoya Del Río Suárez”.*
www.uniboyaca.edu.co/FormNoticias/InvIngIndustrial.doc
38. Londoño, L.F. 2007. *Producción de etanol en Colombia.* Asocaña.
39. Espinosa Smith, Rodolfo. 2009. *Tecnología disponible para la producción de alcohol etílico (etanol)*”. CENGICAÑA.

ANEXOS

Anexo1. Datos utilizados para el análisis de la Producción de caña de azúcar

Fuente: Elaboración propia

Datos de entrada y salida del Cultivo de la Caña de Azúcar

Materiales	UM	Cantidad
		Índice
Entradas desde la tecnósfera		
Suelo	ha	0.01
Variedades de semilla	t	0.06
Herbicidas		
PROWL 45	kg	0.03
GESAPAX 500	l	0.03
2,4 D	l	0.01
ADHERENTE 810 SL	l	0.01
IGRAN 50	kg	0.03
HARNESS	l	0.03
KARMEX 80 WG	l	0.01
VELPAR	l	0.01
FINALE 15 SL	l	0.02
Madurantes e Inhibidores		
Glifosato	l	0.06
Fusilade	l	0.01
Roundup	l	0.01
Rooundup Max	l	0.01
Touchdown	l	0.01
Etefon	kg	0.01
Fertilizantes minerales		
NPK	kg	1.76
Urea	kg	0.89
Nitrato de amonio	kg	2.56
Pentóxido de fósforo (P2O5)	kg	1.67
Fertilizantes Orgánicos		
Vinazas diluidas	m3	0.44
cachaza	t	4.44
Consumo de agua		
agua	m3	0.002
Consumo de combustibles		
Diesel	t	15.00
Entrada desde la naturaleza		
Fijación de carbono	t	0.02
Residuos sólidos		
Paja	t	0.19
Otros residuos	t	0.05
Salida de la Tecnósfera		
Caña de azúcar	t	1.00

Anexo 2. Datos utilizados para la Producción de Melaza

Fuente: Elaboración propia

Datos de entrada y salida de la Producción de Melaza

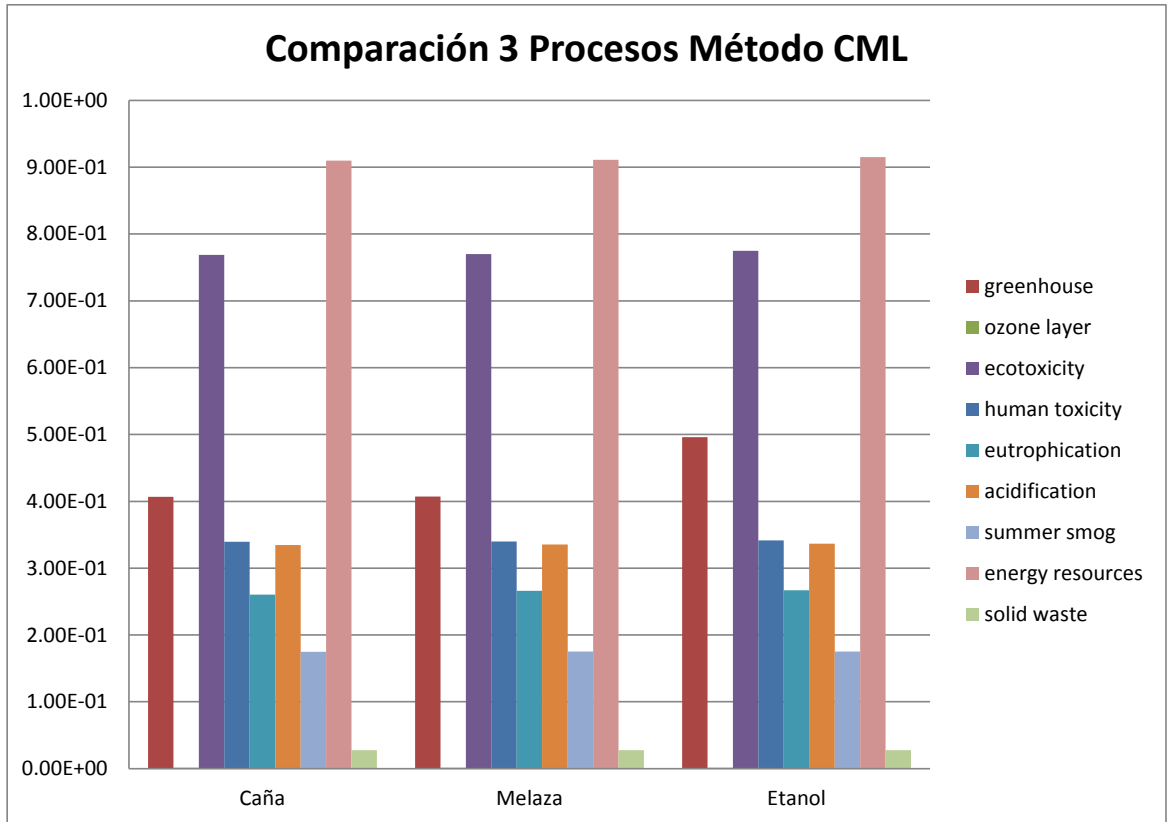
Materiales	UM	Cantidad
		Índice
Entradas desde la tecnósfera		
Caña de azúcar	t	30.30
Óxido de calcio	kg	15.15
Agua de Imbibición	t	6.06
Electricidad/Calor		
Energía Consumida	kWh	1.05
Energía Aportada	kWh	0.43
Vapor de biomasa	t	78.55
Emisiones al Agua		
Residuales líquidos	m3	6.06
DBO	kg	0.01
DQO	kg	0.01
Ntotal	g	0.09
Emisiones al Aire		
Bagacillo	t	4.36
Flujos finales de residuos		
Cachaza	t	0.83
Salida de la Tecnósfera		
Melaza (miel final)	t	1
Azúcar de caña	t	3.52
Bagazo	t	9.09

Anexo 3. Datos utilizados para la Producción de Etanol **Fuente:** Elaboración propia

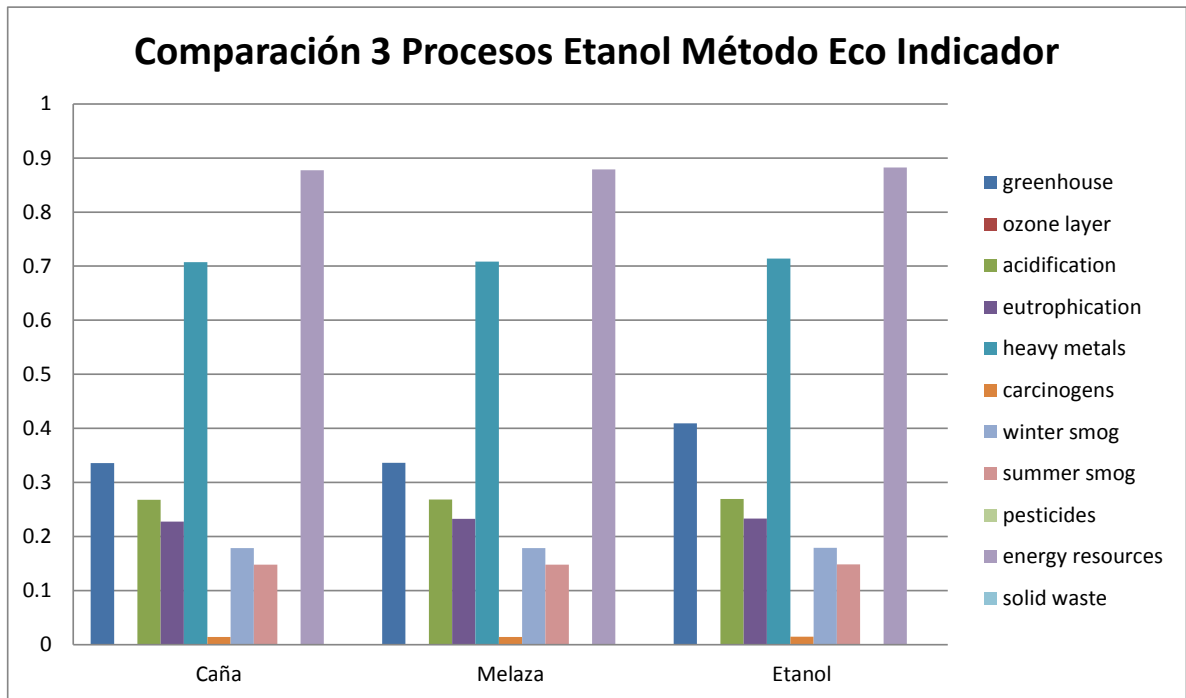
Datos de entrada y salida de la Elaboración de Etanol

Materiales	UM	Cantidad
		Índice
Entradas desde la tecnósfera		
Melaza (miel final o miel B)	t	4.76
Aire Comprimido	t	0.32
Levadura Seca Activa	kg	0.013
Antiespumante	kg	1.46
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	kg	41.56
Fosfato de Amonio	kg	1.66
Urea	kg	8.75
Ácido Clorhídrico (HCl)	kg	1.46
Electricidad/Calor		
Vapor	kg	5.52
Salida producto evitado		
Dióxido de Carbono	t	0.96
Residuos Líquidos		
Vinazas	t	695.48
Salida a la tecnósfera		
Etanol de caña	t	1

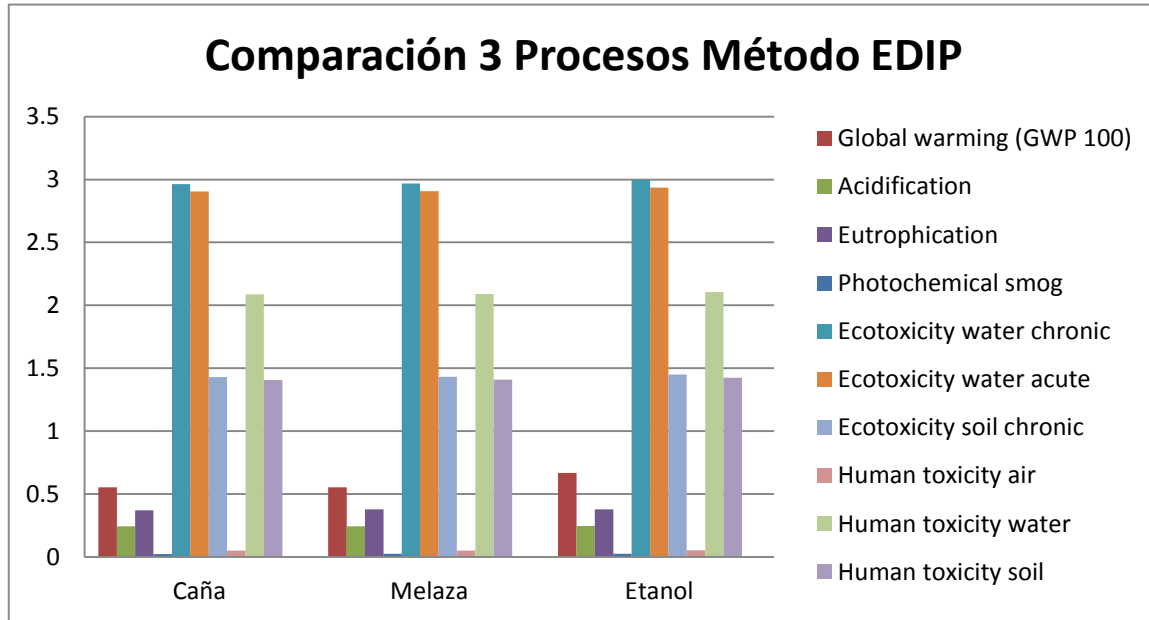
Anexo No. 4: Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método CML. **Fuente:** Elaboración Propia.



Anexo No. 5: Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Eco Indicador. **Fuente:** Elaboración Propia.



Anexo No. 6: Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Edip. **Fuente:** Elaboración Propia.



Anexo No. 7: Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Impact 2002+. **Fuente:** Elaboración Propia.

