



Maestría en Ingeniería Industrial Mención Calidad

Tesis en Opción a la Categoría de Máster en Ciencias

Comparación ambiental de seis
alternativas de producción de azúcar y sus
derivados en la provincia de Cienfuegos.

Autor: Ing. Carlos Pérez Noa

Tutor: MsC. Ing Berlan Rodríguez Pérez

Año 2013

Pensamiento

Pensamiento:

Este mundo es, de hecho, un ser viviente dotado con alma e inteligencia [...] una entidad única y tangible que contiene, a su vez, a todos los seres vivientes del universo, los cuales por naturaleza propia están todos interconectados.

[Platón](#), [Timeo](#) 29,30

Dedicatoria

Dedicatoria

Esta investigación quiero dedicarla a esas personas que siempre están ahí, esas que sufren tus caídas y celebran tus victorias, esas para las cuales eres perfecto, esas que tu nunca quieres defraudar, a ellas les dedico esta investigación:

A todos mis abuelos por siempre estar ahí para mí.

A mis dos hermanos para que sepan seguir este camino.

A mis padres esos que han dado todo de si para hacer realidad mis sueños y darme un buen ejemplo.

Y en especial a mi esposa (mi Bruji) y a mi hijo que son lo mejor que me ha pasado.

Agradecimientos

Agradecimientos

En esta investigación fueron muchas las personas que de una forma u otras me ayudaron, por eso quiero agradecerle a todas esas personas y en especial:

A los trabajadores del MINAZ y en especial a Ada, Juan Miguel y Javier.

A los profesores de la universidad entre ellos: Aníbal, Jenny, Henry y Orquídea.

A Dairon amigo como los que ya no quedan.

A el Yoan ejemplo de sencillez.

A Richard y Dayamy siempre listos para sacarme de algún apuro.

A los siempre dispuestos para todo, Carlito, Ada, Plinio, Ara, David y Gretel.

A Clau, por su seguridad y apoyo incondicional.

A Rosy, sin ti no estuviera hoy aquí.

A mis suegros, por dejarme ser uno más de la familia, no los quiero mejores.

A mis hermanos siempre esperando haber en que pueden ayudarme.

A mi esposa, por tanto amor, paciencia y comprensión que me ha brindado en todo este tiempo.

A mis padres, siempre voy a estar en deuda con ustedes.

Resumen

Resumen:

La presente investigación tiene como objetivo general el análisis de la producción de azúcar y sus derivados, en los tres centrales de la provincia de Cienfuegos, orientado a la comparación de los impactos ambientales de seis alternativas de producción de azúcar, empleando el análisis de ciclo de vida. Técnicas como la entrevista, los estudios bibliográficos, la tormenta de ideas y el trabajo en equipo fueron utilizadas como soporte a la aplicación de los mapas de procesos, diagramas de flujo, Análisis de Ciclo de Vida así como el análisis económico. La metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) tomada como referencia fue la presentada en la serie de normas NC-ISO 14 040, complementada con un método de evaluación de impacto seleccionado. A partir del análisis de impacto ambiental, fueron identificados y cuantificados los principales impactos asociados al ciclo de vida del azúcar, al mismo tiempo se analiza la propuesta de mejora que consiste en la implantación del riego por goteo, destacando en su factibilidad económica y ambiental. Los resultados del ACV muestran que los menores impactos son logrados con la aplicación de las alternativas que garantizan la mayor utilización de los desechos para obtener productos secundarios.

Abstract

Abstract

The present investigation has like general objective the analysis of the production of sugar and it's derives products in the three sugar companies of Cienfuegos province, the comparison was guided of the environmental impacts of six alternatives of sugar production, using Life Cycle Assessment (LCA). Techniques as he interviews her, the bibliographic education, brainstorming and teamwork were used as support to the application of the maps of processes, diagrams of flow, LCA as well as the economic analysis. LCA take as reference the presented standards of NC ISO 14 040, complemented with an appraisal method of selected impact. From the analysis of environmental impact, the main impacts associated to be identified and quantified to the life cycle of sugar at the same time the improving proposal that consists in the implantation of the trickle irrigation, standing out in its cost-reducing and environmental feasibility. The results of the ACV show that the minor impacts are realized with the application of the alternatives that guarantee the bigger utilization of the waste matter to obtain byproducts.

Indice

Índice

Pensamiento:.....	3
Dedicatoria	5
Agradecimientos	7
Resumen:	9
Abstract	11
Índice.....	13
Introducción	16
Capítulo 1: Consideraciones Teóricas.	4
1.1 Análisis de Ciclo de Vida generalidades.	4
1.1.1 Surgimiento y evolución del Análisis del Ciclo de Vida	4
1.1.2 Normativas que rigen el ACV.....	5
1.1.3 Metodología General de Análisis de Ciclo de Vida.....	6
1.1.4 Importancia del ACV	9
1.1.5 Problemas no resueltos en ACV	11
1.2 Metodologías de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida.	12
1.2.1 Eco-indicador99.....	12
1.2.2 Impact 2002 +.....	13
1.2.3 CML.....	14
1.2.4 EDIP 2003	14
1.2.5 LIME	16
1.2.6 ReCiPe 2008	16
1.3 Estructura matemática del ACV	17
1.4.1 Etapa de caracterización	18
1.4.2 Etapa de Normalización.....	20
1.4.3 Tratamiento de la Incertidumbre y la Subjetividad en el ACV.....	21
1.4 Herramientas Informáticas para el Análisis del Ciclo de Vida.	23
1.4.1 GaBi 5	23
1.4.2 SimaPro 7.3.3.....	24
1.4.3 OpenLCA.....	24
1.5 Aplicaciones de Análisis de Ciclo de Vida.....	25
Capítulo 2: Caracterización del Objeto de Estudio.	28
2.1 Caracterización del objeto de estudio.....	28

2.1.1- Caracterización de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez.....	29
2.1.2- Caracterización de la Empresa Azucarera 14 de Julio.	30
2.1.3- Caracterización de la Empresa Azucarera 5 de Septiembre.	30
2.2 Necesidad del estudio	31
2.3 Procedimiento Análisis del Ciclo de Vida.....	33
2.3.1 Etapa I: Definición del objetivo y alcance	34
2.3.2 Etapa II: Análisis de Inventario.....	36
2.3.3 Etapa III: Evaluación del impacto.	38
2.3.4 Etapa IV: Análisis de mejoras.	44
Conclusiones Parciales	45
Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados	46
3.1 Etapa 1: Definición de objetivos y alcance.....	46
3.2 Etapa 2: Análisis del inventario.....	47
3.3 Etapa 3: Evaluación del impacto	47
3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras	50
3.2 Comparaciones de los resultados empleando distintos escenarios.	59
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Bibliografía.....	71

Introducción

Introducción

Actualmente la sociedad está acostumbrada a ciertos modos de vida que son pilares fundamentales para el desarrollo, estos pilares son entre otros: el transporte, la construcción, la electricidad, las comunicaciones, el abastecimiento de agua y el confort. Para garantizar estas condiciones se requiere de la extracción de recursos, ya sean minerales o energéticos, se requiere de la agricultura y la ganadería a gran escala para satisfacer la demanda de alimentos y otros productos provenientes de esas actividades, los residuos de todas las actividades requieren de un espacio para su disposición; todo lo que conlleva a una presión sobre el medio ambiente.

Sin embargo, muy pocas personas estarían dispuestas a perder las comodidades que brinda el desarrollo por tal de proteger el medio ambiente. Además, perder el desarrollo no es una opción, no es necesario renunciar a las comodidades, lo que se debe lograr es poder vivir en armonía con la naturaleza y emplear sus recursos de forma sostenible, para garantizar la futura existencia de las condiciones que soportan la vida.

Existen varias formas de minimizar el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente, quizás las más conocidas son las tres erres: reciclar, reducir y reutilizar. Pero está demostrado que sin un enfoque integral de trabajo, que permita buscar el punto óptimo en el cual un producto impacta menos como resultado de todas las actividades requeridas para su ciclo de vida, las mejoras que se logran no son suficientes.

En el 2002, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, UNEP por sus siglas en inglés) se une a la labor de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC, por sus siglas en inglés) para lanzar la Iniciativa del Ciclo de Vida, creando una alianza internacional diseñada para poner en práctica el concepto del ciclo de vida. La iniciativa responde al llamado que hicieron diversos gobiernos mediante la Declaración de Malmö (2000) para crear una economía de ciclo de vida, y constituye una aportación al marco de programas de diez años para promover patrones sostenibles de consumo y producción, uno de los compromisos de la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo (2002)(PNUMA, 2004). Esta iniciativa toma como base los estándares de ISO 14040 y busca establecer enfoques de mejores prácticas para una economía de ciclo de vida.

En Cuba desde 1998 el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha venido realizando esfuerzos para promover, introducir e implementar estrategias de producción acordes con las normas internacionales en los sectores prioritarios de la economía, enfocando sus productos a la eco-eficiencia y el desarrollo sostenible.

La producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos está concentrada en las tres empresas azucareras: Antonio Sánchez, 14 de Julio y 5 de Septiembre, las cuales aspiran lograr mejoras en sus procesos; se conoce que:

- No se evalúa el impacto ambiental de la producción de azúcar con un enfoque holístico, que considere todos los componentes involucrados desde el cultivo de la

caña hasta la elaboración y uso del producto final.

- En cada fase del ciclo vida del azúcar están identificadas los problemas ambientales que ocurren en la zafra 2012, como promedio, en las tres empresas azucareras:
 - Consumo de más de 1 700 000 litros de Diesel para las labores de cultivo.
 - Generación de más de 140 000 m³ de residuales líquidos, con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y acidez.
 - Emisión de alrededor de 80 toneladas de bagacillo.
 - Rendimiento del suelo alcanzado como promedio es de 24,5 t/ha, siendo el potencial de 80t/ha.
- No está cuantificado el impacto generado a las distintas categorías que pueden ser evaluadas: respiración de inorgánicos, uso de la tierra, uso de combustibles fósiles, calentamiento global, acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y otras.

Según la situación problemática antes expuesta se plantea el problema científico de la investigación.

Problema Científico:

¿Qué alternativas de producción de azúcar y sus derivados son más factibles desde el punto de vista ambiental?

Hipótesis:

Con la aplicación del análisis del Ciclo de Vida, se podrá determinar cuál de las alternativas de producción de azúcar y sus derivados en la provincia de Cienfuegos impacta menos al medio ambiente.

Esta hipótesis contiene una relación entre **variables**, la cual se explica a continuación:

Variable Dependiente:

Impacto al medio ambiente del proceso. El que se mide utilizando la evaluación de impacto de ciclo de vida del producto a través de la metodología Eco-speed. Este impacto está evaluado en las 18 categorías de impacto y las 5 categorías de daño que tiene Eco-speed. Las formas en que se calculan los impactos y su definición específica se encuentra explicada a lo largo del trabajo.

Variables Independientes:

Las variables independientes de la presente investigación se consideran como las seis alternativas de producción de azúcar y sus derivados. Estas alternativas están claramente definidas en el trabajo y constituyen una serie de iteraciones de integraciones de los flujos de desechos con procesos que los utilizan para generar productos alternativos.

Objetivo General:

Aplicar el análisis del ciclo de vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos para determinar mediante un estudio comparativo cuál es la que menos impacto tiene al medio ambiente.

Para el cumplimiento de este objetivo se desarrollan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Diagnosticar la situación actual del objeto de estudio en cuanto a criterios organizativos y ambientales.
2. Evaluar el ciclo de vida del azúcar en las tres empresas azucareras objetos de estudio.
3. Elaborar variantes que tengan factibilidad ambiental y económica.
4. Evaluar la factibilidad de las mejoras ante escenarios alternativos.

Para darle cumplimiento a estos objetivos se utilizan técnicas para la búsqueda de información: revisión crítica de información secundaria, consulta de documentos como instructivos técnicos del cultivo de la caña de azúcar, y las normas de ACV de la NC-ISO 14 040 a la NC-ISO 14 043. Además se utilizan diagramas de flujo para la representación de los procesos, se utilizan herramientas de análisis económico y se emplea el software para ACV: SimaPro 7.1.

Al concluir la investigación, queda estructurada de la siguiente manera: Capítulo I: “Marco teórico” En este capítulo se realiza un análisis conceptual sobre gestión ambiental y se abordan sus herramientas, encontrándose las más utilizadas a escala mundial. Luego se fundamenta en la importancia, aplicación, ventajas y desventajas del Análisis de Ciclo de Vida, debido a su potencialidad para gestionar los aspectos medioambientales de un producto o servicio.

Capítulo II: “Caracterización del objeto de estudio y procedimiento a utilizar.” Se desarrolla una caracterización de los centrales Antonio Sánchez, 14 de Julio y 5 de septiembre y se describe un procedimiento para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del azúcar basado en las normas NC-ISO 14 040.

Capítulo III: “Resultados de aplicación” En este último capítulo se aplica el procedimiento para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del azúcar en la provincia de Cienfuegos, se comparan diferentes métodos de evaluación ambiental, se cuantifican e identifican las categorías de impacto afectadas y se valoran variantes de mejora para la producción de azúcar y sus derivados en las empresas objeto de estudio, comprobándose la factibilidad ambiental y económica de las mismas.

Capitulo 1

Capítulo 1: Consideraciones Teóricas.

1.1 Análisis de Ciclo de Vida generalidades.

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

En la bibliografía consultada se encuentran diferentes conceptos, algunos de los cuales se destacan en el Anexo 1. Puede apreciarse que existe concordancia entre los diferentes autores en que el ACV es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales de un producto, así como sus impactos, usando como herramienta un inventario de entradas y salidas, para evaluar los impactos potenciales que tiene este producto o servicio sobre el ambiente, teniendo en cuenta los impactos de los materiales y materias primas que se necesitan para su elaboración, así como los impactos en que se incurre en su etapa de producción, distribución y uso final.

1.1.1 Surgimiento y evolución del Análisis del Ciclo de Vida

A pesar que el ACV se ha tomado en cuenta con especial atención desde el principio de los años 90, los primeros desarrollos metodológicos datan de los años 60. En 1969 Harry E. Teasley, de *Coca Cola Company*, encarga un estudio al *Midwest Research Institute* (MRI), con el objeto de cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del ciclo de vida completo del envase, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. A este trabajo se le denomina “Análisis del perfil ambiental y de recursos” (*Resources and Environmental Profile Analysis*, Repa) (Hunt & Franklin, 1996); (Ayres, 1995). A partir de este estudio en Estados Unidos se empieza a llamar REPA a la metodología para cuantificar los recursos y las descargas ambientales de los productos, al tiempo que se buscaba perfeccionar cada vez más dicha metodología en ese país.

En Europa, estudios similares se realizan en la década de los sesenta. En Gran Bretaña, Lan Boustead realiza un análisis de la energía consumida en la fabricación de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) de bebidas. Pero fue a partir de los años ochenta cuando la aplicación del ACV se incrementa. En esta misma década se desarrollan dos cambios importantes: primero, los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas

categorías de problemas ambientales (tal como el calentamiento global y agotamiento de los recursos); y segundo, los estudios de ACV comenzaron a estar disponibles para uso público (Chacón Vargas, 2008).

En 1990 se desarrolla el primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Setac*), organización líder en el desarrollo y promoción de metodologías para el ACV, para discutir la metodología y utilidad de los Repa. Un resultado que cabe destacar de este encuentro fue la adopción en Estados Unidos del término "*Life Cycle Assessment*" (evaluación de ciclo de vida o análisis de ciclo de vida), acogido posteriormente por la comunidad internacional estudiosa de este tema. Dentro de las actividades que realiza el SETAC, se puede destacar la creación de un círculo de apoyo de miembros industriales llamado SPOLD (*Society for the Promotion of LCA Development*) para promover el desarrollo de la metodología (Chacón Vargas, 2008).

Para ajustar los diferentes conceptos involucrados el SETAC establece las reglas para el ACV aprobadas internacionalmente, de esta forma se crea el "código de práctica" en 1993 en Sessimbra (Portugal). Esto fue un incentivo importante para la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la cual se responsabiliza, y en mayo de 1997 diseña la norma ISO 14040: Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Aplicaciones, la cual fue aprobada por 60 países. El ACV es ahora la herramienta de análisis ambiental más utilizada que posee un estándar internacional (Chacón Vargas, 2008).

En el 2000 se incrementa la elaboración de estudios de ACV en todo el mundo, con énfasis en el tema de los combustibles fósiles, biocombustibles, energía nuclear y energías renovables para producir electricidad, y perfeccionamiento de la metodología para hacer ACV (Chacón Vargas, 2008). Países del Asia son también líderes en la adopción del ACV.

Muchos han sido los eventos, asociaciones y publicaciones (artículos, revistas) que han surgido y desarrollado en todo el mundo con el objetivo de difundir el estudio del ACV como una herramienta útil y factible para la gestión ambiental. En el Anexo 2 se encuentra una cronología detallada del del análisis de ciclo de vida, que ofrecen una idea del impulso y tendencias que partir de los años noventa ha tenido esta herramienta de gestión ambiental.

1.1.2 Normativas que rigen el ACV.

La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por "*International Standards Organisation*", ISO, 1993. En 1994, se estableció dentro de ISO el comité técnico (TC) 207

relacionado con la normalización de herramientas ambientales, incluido el ACV. Dentro de la normalización ISO deberán distinguirse entre normativas e informes técnicos.

Actualmente se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

- NC-ISO 14040 (1997): especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalle (ISO-14040 1997).
- NC-NISO 14041 (2001): en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV (LCI) (ISO-14041, 1998).
- NC-ISO 14042 (2001): en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV (LCIA). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV (NC-ISO-14042, 2000a).
- NC-ISO 14043 (2000): esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (NC-ISO-14043, 2000b).

Además de documentos técnicos para ayudar a la elaboración de estudios de ACV como son:

- ISO TR 14047 (2002): proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042 (ISO-14047, 2002).
- ISO/CD TR 14048 (2002): este documento proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV (ISO-14048, 2002).
- ISO/TR 14049 (1998): este informe técnico proporciona ejemplos para realizar un ICV de acuerdo con ISO 14041.

Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un ICV (ISO-14049, 1998).

1.1.3 Metodología General de Análisis de Ciclo de Vida.

A partir del análisis del epígrafe anterior, se pudo constatar que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida (Figura 1.1), desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados.

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

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



Figura 1.1: Etapas del Ciclo de Vida para un Producto.

Fuente: Eco-diseño Centroamérica 2008

El medio de transporte, la distancia y los tipos de empaques son determinantes del impacto ambiental durante la **fase de distribución**. Especialmente para productos que requieren energía y/o necesitan agua u otros aditivos para su funcionamiento **la fase del uso** puede resultar como una de las fases prioritarias en el impacto ambiental.

El tratamiento en la última fase del ciclo de vida, la **disposición final** juega un papel importante respecto al impacto ambiental para los casos en los que la vida útil del producto es muy corta. Especialmente para los envases y los empaques esta fase determina gran parte del impacto total durante el ciclo de vida (Nydia Suppen & van Hoof, 2005).

The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) define al ACV como “Proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para

determinar su impacto en el medioambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental”. Con las definiciones analizadas se está totalmente de acuerdo.

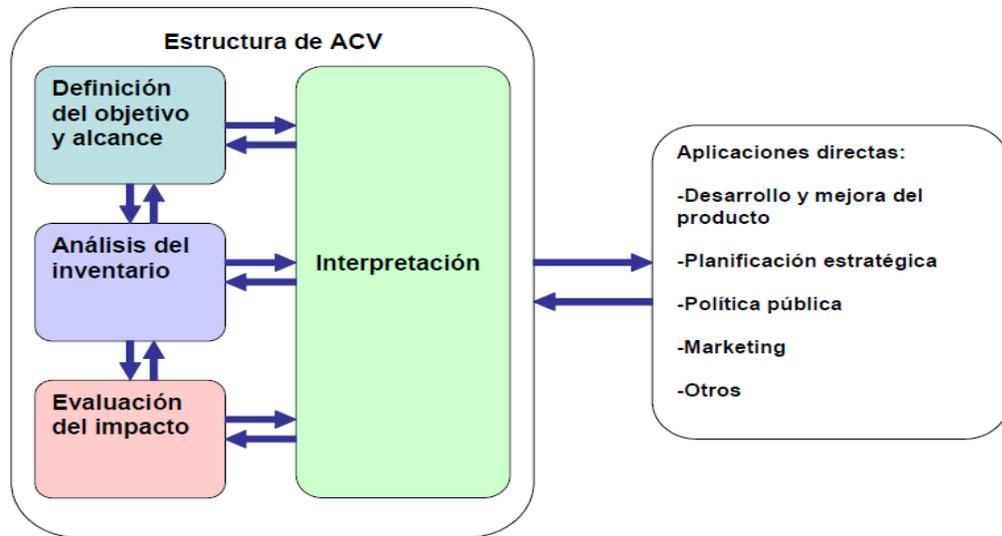


Figura 1.2: Fases del Análisis del Ciclo de Vida.

Fuente: (NC ISO 14 040, 1999)

El ACV es un proceso en el que se reconocen las siguientes etapas (ISO 14040, 2006):

- Definición del objetivo y alcance
- Análisis del inventario del ciclo de vida
- Evaluación del impacto del ciclo de vida
- Interpretación del ciclo de vida

En la Figura 1.2 se ilustran las conexiones entre estos cuatro pasos y se puede reconocer que se trata de un proceso iterativo, el cual permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones (Güereca Hernández, 2006).

El primer paso, **definición de objetivo y alcance**, debe expresar claramente el propósito y la extensión del estudio, además debe describir el o los sistemas estudiados y la unidad funcional.

La unidad funcional se refiere a la cantidad de productos o servicios necesarios para cumplir la función que se compara, sirve de base para la comparación entre sistemas ya partir de ella se cuantifican las entradas y salidas funcionales de un sistema productivo o de servicios.

Debido a su naturaleza global, un ACV completo puede resultar extensísimo. Por esta razón se deben establecer unos límites que deben estar perfectamente identificados. Los límites del

sistema determinan qué procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y las limitaciones económicas y el destinatario previsto (Güereca Hernández, 2006).

El análisis de inventario del ciclo de vida (ICV), comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema, tomando como referencia la unidad funcional. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema a lo largo del ciclo de vida, es decir, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final. Las interpretaciones pueden sacarse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV. Esos datos también constituyen las entradas para la evaluación de impacto de ciclo de vida (NC ISO 14 040, 1999).

La Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV), va dirigida a evaluar la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario. En general, este proceso implica la asociación de datos del inventario con impactos ambientales específicos tratando de valorar dichos impactos. El nivel de detalle, la elección de impactos evaluados y las metodologías usadas dependen del objetivo y alcance del estudio (NC ISO 14 040, 1999).

Finalmente, **la interpretación** que es la fase de un ACV donde se evalúan los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio (NC ISO 14 040, 1999).

El término Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es todavía joven pero por sus aplicaciones y factibilidad se ha propagado por el mundo en un corto período de tiempo.

1.1.4 Importancia del ACV

Existen diferentes usos y aplicaciones del ACV, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares (Sonnemann, Castells, & Schuhmacher, 2003). Las aplicaciones generales incluyen:

- Comparación de diferentes alternativas
- Identificar puntos de mejora ambiental
- Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas

- Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
- Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el medio ambiente lo más pronto posible
- Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.

Las aplicaciones particulares incluyen:

- Definir el desempeño ambiental de un producto en su ciclo de vida
- Identificar los pasos más relevantes en un proceso de manufactura relacionados a un impacto ambiental
- Comparar el desempeño ambiental de un producto con otros que den un servicio similar.

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 (Güereca Hernández, 2006):

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los productores pueden fabricar productos de menor impacto ambiental.

La ventaja del ACV es que al usarle, los tomadores de decisiones pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al corregir otros, o crear problemas ambientales en otras etapas del ciclo de vida (Norris, N. Suppen, do Nascimento, & Ugaya, 2004).

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser útil para disminuir los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promueve una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía. (Cordero Hernández & Pérez Noa, 2010).

Conforme los especialistas, el ACV es una herramienta importante en la obtención de información detallada para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial (Carvalho Filho, 2001).

Una gran importancia de la metodología es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece “más limpio” que otro, simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (fenómeno conocido como “problema *shifting*”) (Iglesias, 2005).

1.1.5 Problemas no resueltos en ACV

Algunos estudios como el de (Reap & Roman et al 2008) indican problemas en el Análisis de Ciclo de Vida por cada una de sus etapas, los cuales pueden verse resumidos en la tabla 1.1. De estos problemas se pueden señalar algunos como “Problemas pivotes”, pues pueden tener consecuencias en las siguientes etapas del estudio. En general se consideran como pivotes los relacionados con la etapa de selección de objetivos y alcance, además de los problemas en la valoración e interpretación de los resultados. El mayor inconveniente es que dependen de una decisión humana, por lo que no existe una vía técnica para prevenirlos, a pesar de su importancia para el estudio.

Tabla 1: Principales problemas que pueden ocurrir en cada fase del ACV.

Fase	Problemas
Definición de objetivos y alcance	Definición de la unidad funcional
	Selección de los límites del sistema
	Impactos económicos y sociales
	Consideración de escenarios alternativos
Análisis del Inventario de Ciclo de Vida	Localización
	Criterio de corte para contribuciones insignificantes
Análisis de Impacto de Ciclo de Vida	Singularidad técnica de las localidades
	Selección de las metodologías y las categorías de impacto
	Variación espacial
	Dinámicas del ambiente
	Horizontes de tiempo
Interpretación del Ciclo de Vida Todas	Evaluación y ponderación
	Incertidumbres en los procesos de decisión
	Disponibilidad y calidad de los datos

Adaptado de: (Reap & Roman et al 2008).

La ocurrencia de alguno de estos errores puede tener múltiples causas, como se puede ver en la figura 1.3; además un error en una etapa temprana del estudio implicará una distancia entre los resultados obtenidos y la realidad del proceso, por lo que se podrían tomar acciones de mejora en base a los resultados obtenidos, que no serían óptimas o incluso pudieran empeorar el perfil ambiental del producto estudiado.

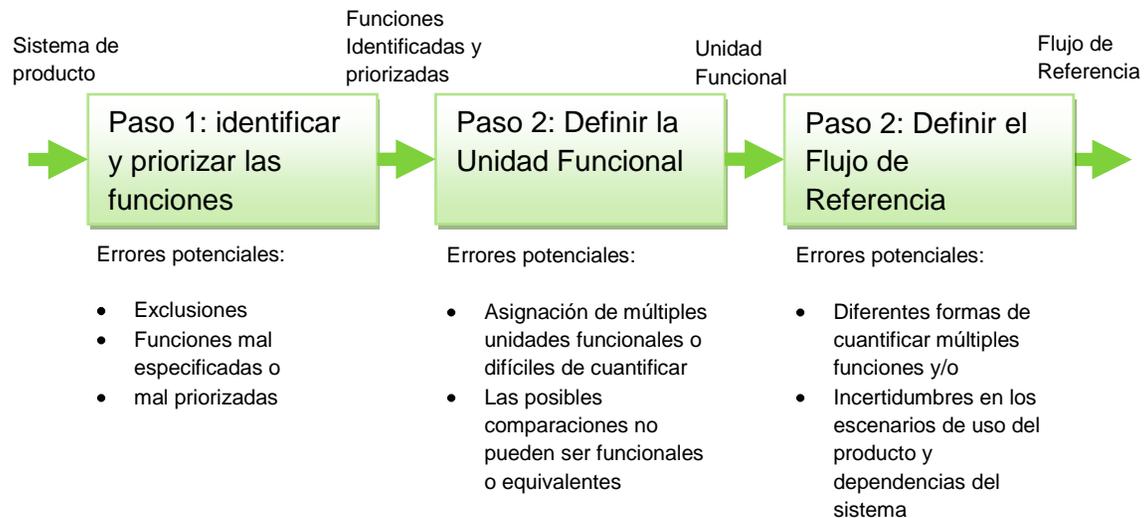


Figura 1.3: Causas Potenciales de ocurrencia de errores en la selección de la unidad funcional. Adaptado de: (Reap & Roman et al 2008).

1.2 Metodologías de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida.

Diversas metodologías han surgido para el desarrollo del ACV, en el anexo 3, se muestra una tabla resumen de las que están actualmente programadas en los principales programas informáticos de ACV mostrados en el anexo 4, de las cuales, en este epígrafe se comentan las más utilizadas.

1.2.1 Eco-indicador99

El Eco-indicador 99 es un método ACV especialmente destinado al diseño de productos, y ha demostrado ser una poderosa herramienta para los diseñadores a la hora de interpretar los resultados de los LCA mediante sencillos números o unidades, los llamados Eco-indicadores.

El Eco-indicador de un material o proceso consiste en un número que indica el impacto ambiental de dicho material o proceso, a partir de los datos obtenidos del Análisis de Ciclo de Vida. Cuanto mayor es el indicador, mayor es el impacto ambiental. En el Eco-indicador 99 se define el término “medio ambiente” según tres tipos de daños: a la salud humana, a la calidad del medio ambiente y a los recursos (Goedkoop & Spriensma, 2001).

La figura 1.4 ilustra los tres pasos a seguir para calcular los Eco-indicadores:

1. Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo de todos los procesos incluidos en el Ciclo de Vida de un producto. Es un procedimiento estándar de los LCA.

2. Cálculo de los daños que pueden causar esos flujos a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos.
3. Ponderación de las tres categorías de daño.

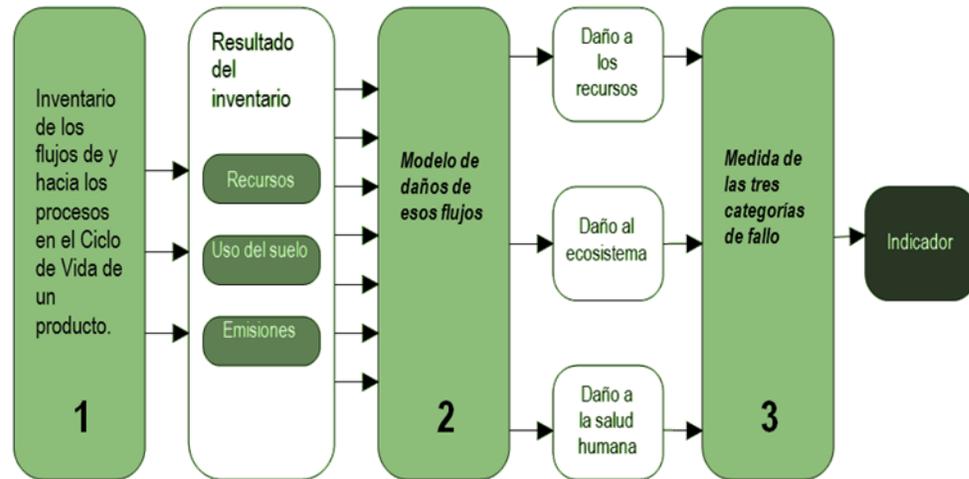


Figura 1.4: Procedimiento General del Cálculo de los Eco-indicadores.

Fuente:(Goedkoop & Spriensma, 2001)27

Para profundizar más en la metodología del Eco-indicador 99 se puede consultar (Goedkoop & Spriensma, 2001)27

1.2.2 Impact 2002 +

La metodología para análisis de impacto del Ciclo de Vida Impact 2002+ propone una implementación factible de la combinación de los puntos intermedios y aproximación de daños, uniendo todos los tipos de resultados de los recuentos (flujos elementales y otras intervenciones) a través de 14 categorías de puntos intermedios, hasta 4 categorías de daños (Jolliet, 2003).

Para el Impact 2002 +, han sido desarrollados nuevos conceptos y métodos, especialmente para la valoración comparativa de la toxicidad humana y eco-toxicidad. Los factores de daños humanos son calculados para carcinógenos y non- carcinógenos, empleando fracciones de entrada, los mejores estimados de factores de inclinación de respuesta ante dosis, así como también severidades (Jolliet, 2003).

La transferencia de contaminantes dentro del alimento humano no está basada ya más en la exploración de las fuentes de consumo pero cuenta para la agricultura y los niveles de producción de ganado. Las emisiones de gases internas y al aire libre pueden ser comparadas

y la calidad intermitente de las precipitaciones es considerada. Tanto la toxicidad humana y los factores del efecto de la eco-toxicidad se basan preferiblemente en dar respuestas a conjeturas conservativas.

Otras categorías de puntos medios son adaptadas por la caracterización de métodos existentes (Eco-Indicador 99 y CML 2002). Todos los resultados de los puntos medios son expresados en unidades substanciales de referencia y relacionados a 4 categorías de daños a la salud humana, calidad del ecosistema, cambios climáticos y recursos. La normalización puede ser desarrollada por ambas categorías los puntos medios o los niveles de daños. El método Impact 2002+ posee factores de caracterización para más de 1500 resultados de impactos de ciclo de vida diferentes. Para más información consultar (Jolliet, 2003).

1.2.3 CML

Esta metodología fue desarrollada por Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Leiden, Holanda a partir de 1992. Es la base de la mayoría de los métodos de EICV. Ha sido actualizado en 2001 y la más reciente actualización se realizó en el 2003. Es un método compatible con los estándares ISO. La clasificación se basa en principios científicos, dentro de la comunidad de la SETAC. Es un método de punto intermedio en el cual se definen las siguientes categorías de impacto:

- Agotamiento de la capa de ozono,
- Toxicidad humana,
- Eco-toxicidad,
- Calentamiento global,
- Acidificación,
- Eutrofización,
- Formación de smog foto-químico,
- Uso de energía,
- Residuos sólidos, y
- Reducción de recursos abióticos.

1.2.4 EDIP 2003

Enfocado al desarrollo de productos. Recomienda evitar la asignación de cargas ambientales. Planteando una relación entre causa y efecto, asigna los cambios ambientales a los procesos.

El consumo de recursos se expresa como recursos 100% puros. Los datos que utiliza corresponden a procesos unitarios.

Es un método de punto intermedio el cual representa diferentes categorías de impacto entre las que se encuentran:

- Calentamiento global
- Deterioro de la capa de ozono
- Eutrofización terrestre y acuática
- Toxicidad humana
- Eco-toxicidad
- Acidificación
- Formación de ozono foto-químico

Esta metodología propone el uso del ACV como herramienta clave de ayuda a la toma de decisiones de carácter medioambiental por parte del diseñador. Así aunque el ACV se considera generalmente como una herramienta de evaluación medioambiental, el EDIP realiza un esfuerzo de adaptación e integración de esta en el proceso de desarrollo de productos. Por este motivo las etapas en las que se estructura coinciden con las fases del ACV: objetivo y alcance, inventario, evaluación de impactos y propuestas de mejora.

Normalización

Para esta etapa, emplea como referencias de normalización: los impactos de la sociedad al ambiente cada año.

A fin de aplicar una escala comparable para categorías de impacto global (basado en emisiones globales) y local (basado en emisiones regionales), los impactos ambientales potenciales son divididos por la población de una región donde fueron calculados.

Ponderación

Utiliza dos niveles de impactos sobre el ambiente:

- Objetivos políticos: comprende las emisiones totales permisibles.
- Capacidad de impacto: emisión total que no provoca ningún impacto detectable en el medio ambiente.

1.2.5 LIME

De acuerdo con (Itsubo & Inaba 2003) esta metodología surge como resultado de un proyecto del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, el cual comenzó en 1998 y terminó en Marzo de 2003. El proyecto tenía además como objetivo, desarrollar una base de datos que permitiera a las industrias realizar el Análisis de Ciclo de Vida de forma sencilla y confiable. Las categorías de impacto que tiene este método son:

- Calentamiento Global
- Agotamiento de la Capa de Ozono
- Acidificación
- Eutrofización
- Creación de Oxidantes Fotoquímicos,
- Contaminación del Aire Urbano
- Toxicidad Humana
- Eco-Toxicidad
- Uso de la Tierra
- Consumo de los Recursos
- Residuos

Los factores de caracterización para las categoría locales fueron desarrolladas en el proyecto, no así el calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono.

1.2.6 ReCiPe 2008

ReCiPe 2008 es un método para el Análisis del Impacto en el Ciclo de Vida que provee una receta para calcular indicadores de categoría de impacto del Ciclo de Vida. Las siglas representan las iniciales de los institutos contribuidores principales para el proyecto y colaboradores muy importantes en su diseño: RIVM y la Universidad de Radboud, CML, y consultores de PRé.

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

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

1. El método propuesto por el Manual de Análisis de Ciclo de Vida (Guinée et al., 2002); referido a la aproximación a través de puntos intermedios.
2. El método Eco-Indicator 99 (Goedkoop & Spriensma, 1999), el cual emplea puntos finales.

ReCiPe Comprende 18 categorías de impacto las cuales están asociadas a los impactos de puntos intermedios, pero no todas lo están a las categorías de Daños o puntos finales, como se puede apreciar en la Figura 1.5.

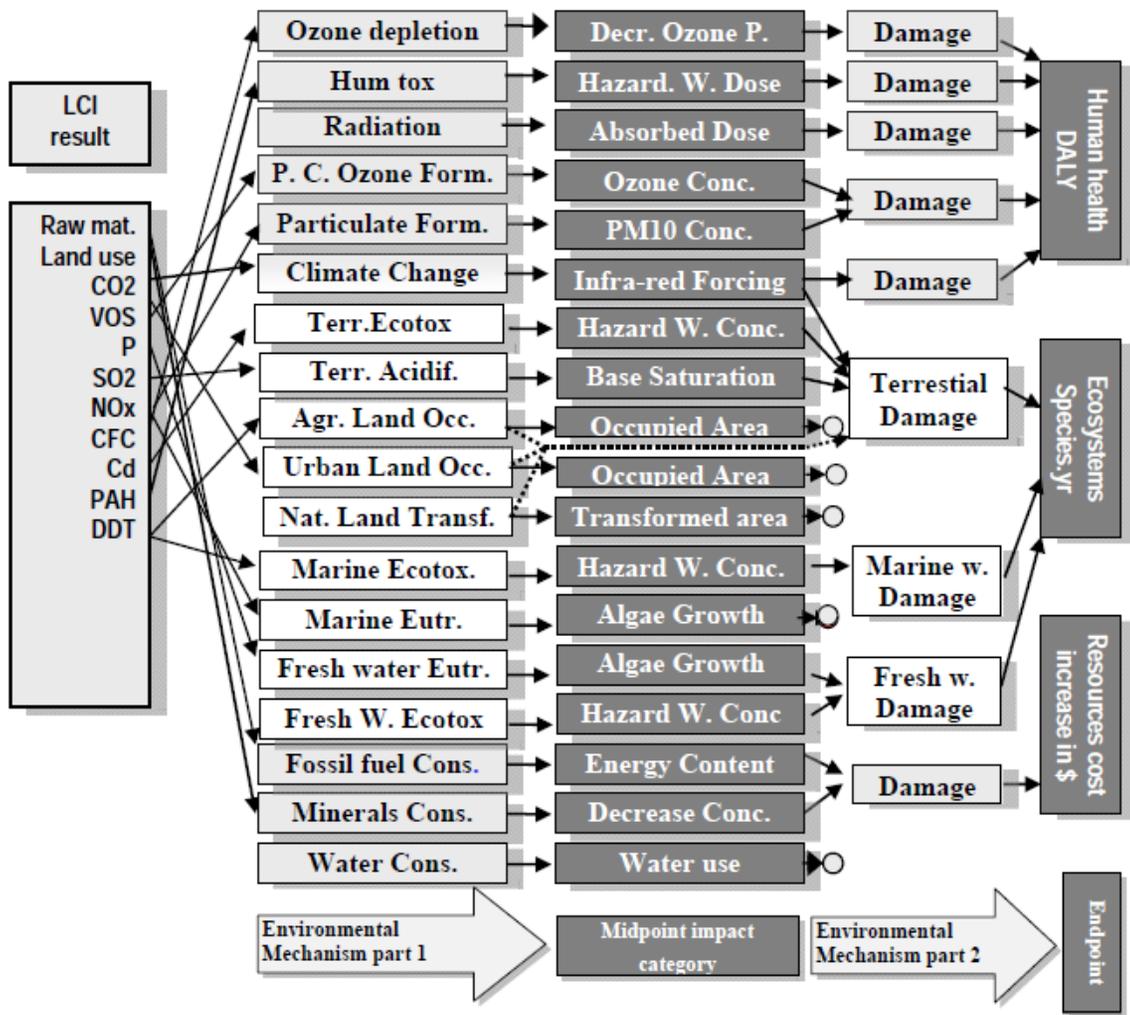


Figura 1.5: relación entre las categorías de impacto y de daño del método ReCiPe. (Goedkoop et al., 2009).

1.3 Estructura matemática del ACV

Según (Seppala 2003) la metodología de ACV se desarrolló con un vínculo débil a los análisis de decisión. En la primera literatura de ACV se mencionaba el análisis de decisión en el contexto de la ponderación. Luego (Heijungs et al. 1992) propone el Análisis Multi-Criterio (MCA por sus siglas en inglés) como una herramienta para la ponderación.

Sin embargo los métodos de ACV se han ido nutriendo de los avances

En muchos trabajos de ACV se utiliza la Teoría de los Valores Multi-Atributos (MAVT por sus siglas en inglés) como base teórica para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. (Seppala 2003) describe dos razones principales, la primera es que las bases teóricas de MAUT y MAVT están bien establecidas y fundamentadas y están basadas en axiomas en comparación con los métodos AHP (ver French 1988, Guitouni and Martel 1998); la segunda es que generalmente se realiza una agregación de datos de varias categorías de impacto a una categoría de daño, calculando un indicador general, lo cual corresponde directamente con MAVT.

1.4.1 Etapa de caracterización

Varios autores coinciden en que la regla básica para calcular el indicador de una categoría de impacto “j” es:

$$I_j = \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_j \quad (1)$$

Dónde: I_j : Resultado del indicador de la categoría de impacto “j”

C_{ij} : Factor de caracterización para la intervención “j” dentro de la categoría de impacto “i”

X_j : Cantidad de intervención (emisiones, extracciones de recursos, uso del suelo)

De acuerdo con la Teoría de los Valores Multi-Atributo MAVT, la ecuación (1) se puede escribir de la forma siguiente, la cual puede ser interpretada como un modelo de ponderación aditivo simple:

$$I_i = v_i(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m}) = \sum_{j=1}^m K_{ij} v_{ij}(X_j) \quad (2)$$

Dónde: I_i : Objeto de evaluación (en este caso es el resultado de la categoría de impacto “i”)

V_i : Valor en conjunto de la función (valor de la función multi-atributo) dentro de la categoría de impacto “i”.

K_{ij} : peso (constante de escala) del atributo X_j en la categoría de impacto “i”

V_{ij} : valor uni-atributo normalizado de la función para el atributo “j” dentro de la categoría de impacto “i”

x_j : medición del atributo X_j

En la MAVT, es habitual la normalización¹ de los valores en de un rango de [0;1]. El análisis de impacto para los niveles de resultados más deseados (X_j^0) está fijado a cero, a través de $v_{ij}(X_j^0)$

¹ La normalización (en inglés “normalization”) es tomada como el proceso en el cual los resultados se cambian a valores sin dimensión en un determinado rango [0;1] en el contexto de ACV existe el término “normalisation” el cual representa la fase en la que los indicadores de una categoría de impacto son

= 0 para todo "i" y "j". Además los niveles menos preferidos de resultados (X_j^0) tiene asignado uno, $v_{ij}(X_j^0) = 1$ para todo "i" y "j". De esta manera la idea es que las consecuencias de cada intervención dentro de las categorías de impacto sea analizado a través de dar valores a x_j que correspondan con la función uni-atributo $v_{ij}(\cdot)$ y que los resultados $v_{ij}(x_j)$ an las categorías de impacto esté dentro del rango [0;1].

Para entender los elementos de la ecuación (2), suponga que las condiciones para una otorgamiento numérico aditivo existen tales que $v_j(x_1, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m v'_{ij}(X_j)$ donde el valor de la función $v'_{ij}(\cdot)$ no está normalizado, a través de la normalización el valor de la función estará dentro de [0;1] por lo que la asignación aditiva puede ser escrita como lo hace (Salo and Hämäläinen 1997):

$$\begin{aligned}
 I_i &= v_j(x_1, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m v'_{ij}(X_j) \\
 &= \sum_{j=1}^m [v'_{ij}(x_j) - v'_{ij}(x_i^0)] \\
 &= \sum_{j=1}^m [v'_{ij}(x_j^*) - v'_{ij}(x_i^0)] \frac{v''_{ij(x_i) - v_{ij}(X_j^0)}}{v'_{ij}(X_j^*) - v'_{ij}(X_j^0)} \\
 &= \sum_{j=1}^m k_{ij} \cdot V_{ij}(x_j) \quad (3)
 \end{aligned}$$

Donde $k_{ij} = v'_{ij}(x_i^*) - v'_{ij}(x_i^0)$ es el peso del j-ésimo atributo (intervención) y $v_{ij} \in [0; 1]$ es el valor normalizado del j-ésimo atributo en la categoría de impacto "i", ya que:

$$V_{ij}(X_j) = \frac{v''_{ij(x_i) - v_{ij}(X_j^0)}}{v'_{ij}(X_j^*) - v'_{ij}(X_j^0)} \quad (4)$$

Asumiendo linealidad de la función uni-atributo ($v'_{ij}(x_j) = \alpha_{ij}x_j + \beta_{ij}$) en la ecuación 3, se puede mostrar que $v_{ij}(x_j) = \alpha_{ij}x_j$ comparado con el resultado de la ecuación (1) se puede obtener $C_{ij} = k_{ij}\alpha_{ij}$ la cual, utilizando la notación de normalización, puede ser escrita como:

$$C_{ij} = k_{ij}\alpha_{ij} = k_{ij} \frac{1}{x_j^* - x_i^0} = \frac{v'_{ij}(x_j^*) - v'_{ij}(x_i^0)}{x_j^* - x_i^0} \quad (5)$$

Suponiendo que existe un modelo de análisis de impacto, que puede describir la relación causa – efecto entre las intervenciones y el indicador de la categoría de impacto. Por ejemplo, para la categoría de acidificación, para un área desprotegida de un ecosistema, se utiliza el modelo RAINS, desarrollado por el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA por

expresados como términos relativos a un sistema de referencia bien definido, en las normas NC ISO 14 000 no aparece el término con "s" por lo que se utiliza "normalización" para ambos casos, por lo que en esta investigación se procede de la misma forma, ya que el término en con "s" en español no existe.

sus siglas en inglés) como modelo de la categoría de impacto (ver Potting et al. 1998). Este tipo de modelo permite la siguiente expresión para el cálculo del resultado del indicador de la categoría de impacto “i”:

$$I_j = f(x_1, x_2 \dots x_m) = \sum_{j=1}^m f_{ij}(x_i) \quad (6)$$

Donde la función $f_i(\cdot)$ identifica el modelo general de análisis de impacto en la categoría “i” y la función de daño $f_{it}(\cdot)$ la intervención “t”, tal que “t” pertenece a “i” en la categoría de impacto “i” puede ser calculada a partir de $f_i(\cdot)$ a través de disminuir las cantidades de intervención t desde x_t^* a x_t^0 manteniendo los valores de las demás intervenciones “i”.

En el Análisis de Impacto de Ciclo de Vida, los factores de caracterización pueden ser interpretados como tangentes de la función de daño en los puntos de trabajo (ver Heijungs et al. 1992):

$$C_{ij} = \frac{\partial f_{ij}(X_i(R))}{\partial X_j} \quad (9)$$

Donde el punto de trabajo es $(X_j, f_{ij}(X_j(R)))$ representan el total de las cargas causadas por las actividades humanas en el sistema de referencia “R”. la ecuación (9) forma las bases para la llamada “aproximación marginal” para determinar los factores de caracterización (ver Heijungs et al. 1992, Udo de Haes et al. 1999).

1.4.2 Etapa de Normalización

La normalización es utilizada generalmente como un paso separado de la interpretación de los resultados de las categorías de impacto. En este caso el propósito de la normalización es proveer una mejor comprensión de la proporción relativa o la magnitud de cada categoría de impacto para el sistema de producto investigado, según se plantea en la ISO 2000. En la normalización generalmente se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{I_i(a)}{N_i} = \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot X_j(a)}{\sum_{j=1}^m C_{ij} X_j(R)} \quad (10)$$

Dónde: $I_i(a)$: resultado del indicador de la categoría de impacto “i” para el sistema de producto “a”.

N_i : valor de normalización para la categoría de impacto “i”

C_{ij} : factor de caracterización de la intervención “j” en la categoría de impacto “i”

$X_j(a)$: valor de la intervención “j” en el sistema de producto “a”

$X_j(R)$: valor de la intervención “j” causada por el sistema de referencia “R”

Al utilizar la ecuación (10) se utilizan fuertes supuestos. Según (Seppala 2003), primeramente se asume que los cálculos de los resultados del indicador de la categoría “ I_i ” y los valores de normalización “ N_i ” se llevan a cabo a través de un modelo aditivo, que requiere independencia entre las diferentes intervenciones que la categoría de impacto “ i ” soporta. Si este supuesto falla, se deben aplicar los modelos multiplicativos o multi-lineales descritos en (von Winterfeldt and Edwards 1986).

En segundo lugar, los factores de caracterización son utilizados para el cálculo de los resultados de la categoría de impacto y los valores de normalización. En la práctica esto significa que, por ejemplo, un 10% de reducción en la intervención “ j ”, causa un decrecimiento en la categoría de impacto “ i ”. La suposición de linealidad no es obvia para las categorías de impacto regionales.

1.4.3 Tratamiento de la Incertidumbre y la Subjetividad en el ACV.

Cada una de las fases de un Análisis del Ciclo de Vida, junto con sus bases de datos y modelos, cuenta con importantes incertidumbres asociadas. Las decisiones hechas sin tener en cuenta estas incertidumbres pueden estropear un ACV.

Las decisiones tomadas en relación con el desarrollo del diseño y el mejoramiento, la planificación estratégica pública, la formulación de políticas, o la comercialización de productos sin reconocer las incertidumbres en el ACV pueden ser potencialmente defectuosas. La incertidumbre está sin duda presente en muchos de los aspectos del análisis, y su tratamiento de manera explícita ayuda de varias maneras, como se indica a continuación (Baker & Lepech, 2009):

- Apoyo a las decisiones.
- Transparencia en los resultados del ACV.
- Calidad de la competencia.
- Planificación de los ejercicios de recopilación de información.

La incertidumbre puede referirse a la falta de conocimiento (incertidumbre epistemológica) o la aleatoriedad intrínseca (incertidumbre aleatoria) en cualquier entrada del modelo. Una variedad de fuentes específicas de incertidumbres se enumeran a continuación, otras listas de fuentes de incertidumbre se proporcionan en (Björklund, 2002);(Lenzen, 2006).

- Incertidumbres en la Base de datos (por ejemplo, la falta o los datos no representativos). (Lenzen, 2006), (Danius, 2002); (M. Huijbregts, 2001); (Schuurmans, 2003).

- Incertidumbres en el Modelo: Modelos simplificados no pueden capturar mecanismos de causa y efecto exactos o la regresión de datos puede tener la forma funcional mal. Puede haber interacciones desconocidas entre los parámetros del modelo. (Asbjomsen, 1995).
- El error estadístico de medición: la estimación de las distribuciones de las propiedades de un número limitado de datos de muestra crea variabilidad estadística. Los datos de la muestra también pueden tener errores de medición, o las normas utilizadas para recoger y cuantificar los datos pueden no conocerse.
- La incertidumbre en las preferencias: las decisiones relativas a las definiciones del objetivo y el alcance del ACV (es decir, unidad funcional y reglas de límite de entrada), la asignación de los impactos de co-producto y las corrientes de reciclaje, la determinación del desempeño de la industria, y la evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA, por sus siglas en inglés) y la caracterización técnica pueden ser tratados como incertidumbres.
- La incertidumbre en un sistema físico futuro, en relación con el sistema diseñado: el ACV se realiza en un modelo conceptual que puede no representar exactamente el sistema físico que será construido. Las diferencias pueden surgir de la falta de conocimiento acerca de qué materiales se utilizarán en el sistema (por ejemplo, más de un proveedor de materiales puede cumplir con las especificaciones de diseño), el diseño de futuros cambios, y el error humano. La incertidumbre también se deriva del modelo inexacto de la fase de uso del producto en términos de servicio futuro o los programas de mantenimiento y al estimar el final de su vida útil.

Hay un número de ejemplos en la literatura donde los ACV se han llevado a cabo con un cuidado especial hecho para tratar incertidumbres. La mayoría de estos ejemplos se pueden encontrar en (Andræ, Möller, Anderson, & Liu, 2004); (Dones, Heck, Emmenegger, & Jungbluth, 2005); (Ferret, Mendoza, & Castilla, 2004); (Zhang & Vidakovic, 2005). Dentro de los métodos de propagación de las incertidumbres se encuentran (Jack W. Baker & Lepech, 2009):

- Simulación de Monte Carlo

Este parece ser el método más popular en ACV. Algunas plataformas de software de ACV, como SimaPro y Umberto, ahora ofrecen la posibilidad de calcular la incertidumbre con el análisis de Monte Carlo. La base de datos de LCA de Ecoinvent incluye los valores de incertidumbres cuantitativas para los parámetros en muchos de sus procesos.

- Métodos de análisis aproximado

Los resultados analíticos están disponibles en determinadas circunstancias como una relación lineal entre las variables de entrada y de salida (que se puede aproximar para cualquier problema con las ampliaciones de la serie de Taylor en el método primer orden de segundo momento). Este enfoque es menos costoso computacionalmente que el análisis de Monte Carlo, que puede ser una ventaja si alguna parte del modelo requiere complejos modelados numérico (Baker & Cornell, 2003). Utiliza las matemáticas un poco más complejas que el Monte Carlo.

- Análisis de sensibilidad

Este cálculo consiste en variar sistemáticamente parámetros de entrada, para determinar la sensibilidad de las salidas a cada entrada. Esto no es un procedimiento de propagación de incertidumbre completo, pero es útil para la comprensión de un sistema y que ayuda al analista a omitir el tratamiento de los parámetros de entrada que se ven rápidamente que no tienen importancia para los resultados finales.

1.4 Herramientas Informáticas para el Análisis del Ciclo de Vida.

Las herramientas informáticas poseen distintas necesidades de hardware y software. La mayoría de estas disponen de una base de datos muy completa que incluye datos de estudios realizados o de asociaciones industriales, pero hay que tener en cuenta la cantidad, la calidad, así como la procedencia de los mismos (Rodríguez Pérez, 2007).

1.4.1 GaBi 5

El programa de evaluación del ciclo de vida GaBi 5 es lanzado por la compañía de consultoría de sostenibilidad PE International. Esta nueva versión de GaBi proporciona una base de datos que detalla el impacto energético y ambiental de la contratación y el perfeccionamiento de todos los elementos de crudo o procesado de un producto manufacturado. También permite el análisis de impacto de un producto sobre el medio ambiente y presenta alternativas para la fabricación, distribución, reciclaje, la contaminación y la sostenibilidad. Las mejoras incluyen facilidad de uso, funcionalidad, modelado, elaboración de informes y mejoras de las comunicaciones, así como el acceso a las nuevas bases de datos de PE '11 - bases de datos profesionales y de extensión totalmente actualizados. Otros beneficios importantes son la toma de decisiones más precisas a partir de un modelado más rápido (más rápida y eficaz realización ACV) y fiable exactitud de los datos, cuenta con una herramienta de búsqueda inteligente para el acceso a objetos de las bases de datos PE'11.

1.4.2 SimaPro 7.3.3

SimaPro es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants, que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV), mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM). SimaPro 7.3.3 ofrece una herramienta profesional para almacenar, analizar y realizar un seguimiento del rendimiento ambiental de sus productos y/o servicios. Con esta herramienta se facilita el análisis y la representación gráfica de ciclos complejos de un modo sistemático y transparente. Cuenta con todas las características que se espera de un paquete de software LCA profesional: una familia de productos completa, con una solución SimaPro para cualquier necesidad; intuitiva interfaz del usuario; modelaje sencillo, con poderosos wizards que lo pueden asistir; modelaje con parámetros y análisis de escenarios; ACV híbrido con entradas y salidas para la información; conexión directa con Excel o bases de datos ASP; cálculos de evaluación de impacto directo en cada etapa de su modelo; análisis de Monte Carlo; análisis de resultados interactivos; agrupación de los resultados; vastas opciones de filtraciones para todos los resultados, entre otras funciones.

1.4.3 OpenLCA

Este software de Análisis de Ciclo de Vida, desarrollado por Green DeltaTC, es disponible como fuente abierta y diseñado como una estructura muy modular y flexible, permitiendo que diferentes tarjetas madre y módulos sean incluido. Algunos de los módulos se ejecutan como aplicaciones autónomas.

El marco de openLCA es desarrollado en Eclipse, que es de código abierto en sí. Eclipse provee un eficiente modelo de Arquitectura Orientada a los Servicios (SOA), de hecho, es la aplicación de referencia de SOA que frecuentemente es implementada en software de empresas muy importantes. La consecuencia práctica de SOA hace al software altamente modular, fácil adaptar a necesidades específicas, incluso en tiempo de ejecución, con módulos que se ejecutan, opcionalmente, como aplicaciones de software independientes. Esto permite implementar una variedad amplia de diferentes métodos y accesorios, dando ricas funciones marco y al mismo tiempo mantener la pequeña aplicación. Se suministra una intuitiva y rápida interfaz de usuario para aplicaciones, venciendo una desventaja vieja de programas de Java. Adicionalmente, se integran otros de código abierto y paquetes de software, por ejemplo, para visualizar el inventario red de procesos. El convertidor de formato se ejecuta como una aplicación independiente y puede convertir múltiples conjuntos de datos en modo batch. El carácter de fuente abierta del software permite modificar y adaptar el software a las

necesidades específicas. El software es libre de utilizar las aplicaciones de la licencia de apertura, donde las tasas son críticas. Los usuarios pueden, muy racionalmente, seleccionar el formato que mejor almacena los datos que necesiten para un propósito especial. Proveyendo el convertidor, se mejora la disponibilidad de datos, más fácil el intercambio de datos, y el modelo de LCA se beneficia de una mejor calidad de datos (Ciroth, 2007).

Algunos criterios útiles y que se pueden contrastar para el análisis de las herramientas informáticas anteriormente analizadas son: los requerimientos del software, la introducción del modelo, los datos (protección de los datos), la flexibilidad (utilización de distintas unidades, uso de fórmulas), cálculos y comparaciones (análisis de incertidumbre, evaluación de los impactos y la comparación de los resultados) y la salida (presentación de los distintos resultados)(Rodríguez Pérez, 2007). Para la investigación se dispone del software OpenLCA que cumple con los requisitos necesarios.

Si bien Latinoamérica no tiene los avances, desarrollo y conocimientos de algunos países desarrollados en materia del ACV, se ha fomentado la aplicación de esta herramienta en países como México, Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Cuba.

1.5 Aplicaciones de Análisis de Ciclo de Vida.

Las aplicaciones del ACV han sido amplias, además de los eventos científicos que se han desarrollado sobre la temática, en el presente trabajo se destacarán los sucesos e investigaciones más importantes en América Latina y Cuba.

Dentro de los eventos más conocidos se encuentran las Conferencias Internacionales de Análisis de Ciclo de Vida, la primera se desarrolló del 25 al 28 de abril de 2005 en Costa Rica (conocida también como Cilca 2005). En el 2007 se realiza una segunda conferencia (Cilca 2007) en São Paulo (Brasil), la tercera en Chile en abril de 2009 y una cuarta reunión se desarrolla en el 2011 en México.

Una institución importante en esta ciencia es la Red Latinoamericana de Ciclo de Vida, la cual nace en el año 2003 y produce en el 2004 la publicación titulada "El Análisis de Ciclo de Vida ISO 14040 en Latinoamérica".

Como evidencia de la importancia que está ganando el ACV en latino América se puede tomar la cantidad de trabajos que se han presentado en los principales eventos relacionados. Por ejemplo en Cilca 2011 se hicieron 94 presentaciones entre trabajos, paneles, conferencias y promociones.

A pesar de ser el ACV una herramienta que aún está en una etapa temprana de su desarrollo, se puede decir que Cuba presenta un buen avance en cuanto a estudios de este tipo. Se destaca la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, donde existe un grupo de profesores y colaboradores que han aplicado esta herramienta, como parte de investigaciones de tesis de grado, maestría y doctorado, entre ellos la doctora Elena Rosa Domínguez, directora del Centro de Estudios de Química Aplicada.

Los resultados de las aplicaciones de ACV en Cuba se evidencian en la última Conferencia Internacional de Ciclo de Vida en Latinoamérica, efectuada en México en el 2011 (CILCA 2011), donde participaron un grupo de investigadores cubanos que aportan sus experiencias en el tema, ejemplo de estos trabajos son:

- “El Análisis de Ciclo de Vida de los desechos sólidos generados en la playa Santa María” presentado por Ronaldo Santos Herrero
- “La huella ecológica e indicadores de sostenibilidad ambiental sobre el campus de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas” presentado por J. Leiva Mas
- “Desarrollo de los inventarios parametrizados del ciclo de vida y modelado de perfiles ambientales para la producción de azúcar cruda en Cuba” de MSc. Maylier Pérez Gil
- “Aplicación de la metodología de valoración del ciclo de Vida para la evaluación de un molino de azúcar cubano, por medio de inventarios parametrizados” de Ana Margarita Contreras Moya

En este encuentro también se presentaron resultados preliminares de la presente investigación.

La producción de alimentos contribuye a la disminución de los recursos naturales, a la contaminación del medio ambiente y al cambio climático como cualquier otro proceso industrial y las posibilidades de mejora constituyen uno de los principales retos más importantes de la industria alimentaria.

Conclusiones Parciales

1. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que brinda una base sólida para la toma de decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental, lográndose el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.
2. Deben aplicarse metodologías que permitan valorar integralmente las tendencias hacia una producción sostenible de azúcar y sus derivados, garantizando políticas a corto, mediano y largo plazo que mantengan un equilibrio entre crecimiento económico, sustentabilidad ambiental y equidad social.
3. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que además de medir impacto ambiental, permite a las empresas tener una visión más amplia sobre sus procesos, productos o servicios y de esta forma trazar las mejores estrategias ambientales para disminuir el impacto ambiental que tiene la industria azucarera hacia el ecosistema.

Capitulo 2

Capítulo 2: Caracterización del Objeto de Estudio.

En este capítulo se realiza la caracterización general de la entidad objeto de estudio, que en este caso son las Empresas Azucareras que se encuentran produciendo en estos momentos en la provincia. Además se estructura una metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la caña de azúcar basada en las normas NC- ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 042 y NC-ISO 14 043.

2.1 Caracterización del objeto de estudio

Con el triunfo de la revolución cubana en 1959, se inicia una nueva etapa en la historia azucarera en Cuba. Hasta esa fecha un grupo de compañías nacionales y extranjeras controlaban enormes extensiones de tierra dedicadas al cultivo de la caña. En cuanto a la industria, los intereses norteamericanos eran dueños de un grupo considerable de los centrales existentes.

En el período del 1961 a 1963 se desarrolla un considerable esfuerzo para la industrialización, acompañado de una diversificación agrícola, que conlleva a la destrucción de numerosos campos de caña, en 1964 se rectifica y pasa a un primer plano el desarrollo de la industria azucarera. En el III Congreso del PCC se plantea que la industria azucarera continúa ocupando un lugar preponderante en la economía nacional, tomando en cuanto las crecientes relaciones económicas con la URSS y otros países socialistas.

En 1992 la provincia cuenta con doce empresas agroindustriales cuyas producciones fundamentales eran Azúcar Crudo, Miel final y Levadura Torula. Con la caída del campo socialista y el establecimiento del período especial es necesario trazar estrategias que garantice la estabilidad de la producción en el sector y se empieza a producir un grupo de cambios estructurales.

En 1999 se crean los Grupos Empresariales Agroindustriales, en Cienfuegos se constituye con cinco empresas azucareras, tres empresas agropecuarias, una empresa de servicios técnicos y la empresa de glucosa. Nuevas misiones recibidas de la dirección del país trae como resultado el traspaso de las empresas agropecuarias al Ministerio de la Agricultura, por lo que el Grupo Empresarial queda conformado por cinco empresas azucareras, de las cuales muelen tres, declarando las dos restantes como fábricas paralizadas que tributan sus cañas a los centrales en activo, una empresa de servicios técnicos y la empresa de

glucosa.

2.1.1- Caracterización de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez.

La Empresa Azucarera “Antonio Sánchez” sita en García Menéndez #29, Covadonga, se encuentra ubicada al oeste de la provincia de Cienfuegos en el municipio Aguada de Pasajeros. Limita al norte con la Granja Agropecuaria "Primero de Mayo" del mismo municipio, al sur con el Plan Horquita, al este con la Empresa Azucarera "Guillermo Moncada" ambos del municipio Abreus; y al oeste con el Plan Arroz Colón Sur, de la provincia Matanzas.

Su extensión territorial se encuentra en el orden de 16 629 ha²⁷ (1 239.1 Cab²⁸). La superficie agrícola es de 14 513 ha (1 081.4 Cab) y dedicada al cultivo de la caña 10 179 ha (758.5 Cab) para un 70% de aprovechamiento del área agrícola para este cultivo; el resto del área agrícola se dedica a otros cultivos y a pastos naturales. La superficie no agrícola es de 2 116 ha (157.7 Cab) donde predominan los bosques naturales, el área dedicada a infraestructura (Instalaciones, caminos, vías férreas y bateyes) y la superficie acuosa.

La misión de la empresa se define como:

“Ser competitivos y eficientes en la producción de caña de azúcar y sus derivados, incrementando la producción de alimentos mediante la diversificación, con altos rendimientos agrícolas e industriales y con la calidad requerida; apoyado en un colectivo calificado, profesional y de experiencia que propicie el desarrollo de una cultura innovadora a nivel organizacional y el fomento de una agricultura sostenible que garantice el cuidado y preservación del medio ambiente.”

Visión

“Somos líderes en el mercado como complejo agroindustrial, con efectividad empresarial en la producción y comercialización de caña, azúcar y sus derivados con costos competitivos, suministrando a los clientes productos de alta calidad, contando para ello, con la modernización de la tecnología, la certificación de nuestros productos y procesos y la elevada capacitación de los Recursos Humanos.”

2.1.2- Caracterización de la Empresa Azucarera 14 de Julio.

La Empresa azucarera 14 de Julio se localiza en el municipio Cienfueguero de Rodas y forma parte del grupo empresarial Agroindustrial del MINAZ en Cienfuegos. Se encuentra ubicada a tres km de la carretera que conduce al municipio de Abreu, situada en el centro Sur de la Provincia de Cienfuegos, al norte se encuentra el poblado de Rodas, al sur la Refinería de petróleo Camilo Cienfuegos, al este el consejo popular Venta del Río, y al oeste el poblado de Abreu.

La misión de la empresa se define como:

Producir azúcar, alimentos y derivados a costos competitivos para satisfacer el consumo interno y las exportaciones, aumentando la calidad de las producciones, preservando el medio ambiente, elevando la capacitación de los trabajadores y mejorando la atención al hombre.

Visión:

Producir azúcar con eficiencia y de alta calidad, lograr diversificación industrial y agrícola al más alto nivel, elevar la preparación general y técnica de los trabajadores azucareros, así como la innovación formando parte de la cultura empresarial y de las personas, manteniendo la Implementación del Perfeccionamiento Empresarial.

2.1.3- Caracterización de la Empresa Azucarera 5 de Septiembre.

La Empresa “5 DE SEPTIEMBRE”, está situada al noroeste de la provincia de Cienfuegos, cerca del poblado de Turquino en el municipio de Rodas, Km. 208 de la Autopista Nacional. Limitan sus áreas cañeras, por el norte con el río Hanabana, límite de la provincia de Cienfuegos con Villa Clara, hacia el sur con el poblado de Rodas y áreas cañeras de la empresa “14 de Julio”, hacia el este con plantaciones cañeras de las empresas “Ciudad Caracas”, “Ramón Balboa” y “Elpidio Gómez”, al oeste con la empresa Pecuaria Aguada y áreas cañeras de la empresa “1 de Mayo.”

El macizo de sus plantaciones cañeras es atravesado de este a oeste por la Autopista Nacional. El central está comunicado por vía férrea con las empresas “1 de Mayo”, “Antonio Sánchez” y la extensa red ferroviaria interior que comunica los centros de acopio y limpieza, se enlaza con el Ferrocarril Nacional, Cienfuegos - Habana por el poblado de

Jabacoa, lo cual le permite tener acceso al puerto de Cienfuegos y la Terminal exportadora distante a 42 Km.

La misión de la empresa se define como:

“Satisfacer las necesidades de los clientes mediante la diversificación de nuestras producciones a partir de la caña de azúcar, obteniendo crecientes ingresos con competitividad, aprovechando los avances científicos y la innovación tecnológica, interactuando sostenidamente con el medio ambiente y elevando la calidad de vida de los trabajadores.”

Visión:

Empresa de producción azucarera que se diferencia por la calidad del azúcar, su eficiencia energética, la diversidad de sus derivados, entrega de altos volúmenes de energía eléctrica a la red y una alta eficiencia en el trabajo sobre la base de una planificación rigurosa reflejada por sus objetivos estratégicos. En el Anexo 5 se puede mostrar la localización de cada de las Empresas Azucareras analizadas en este estudio.

2.2 Necesidad del estudio

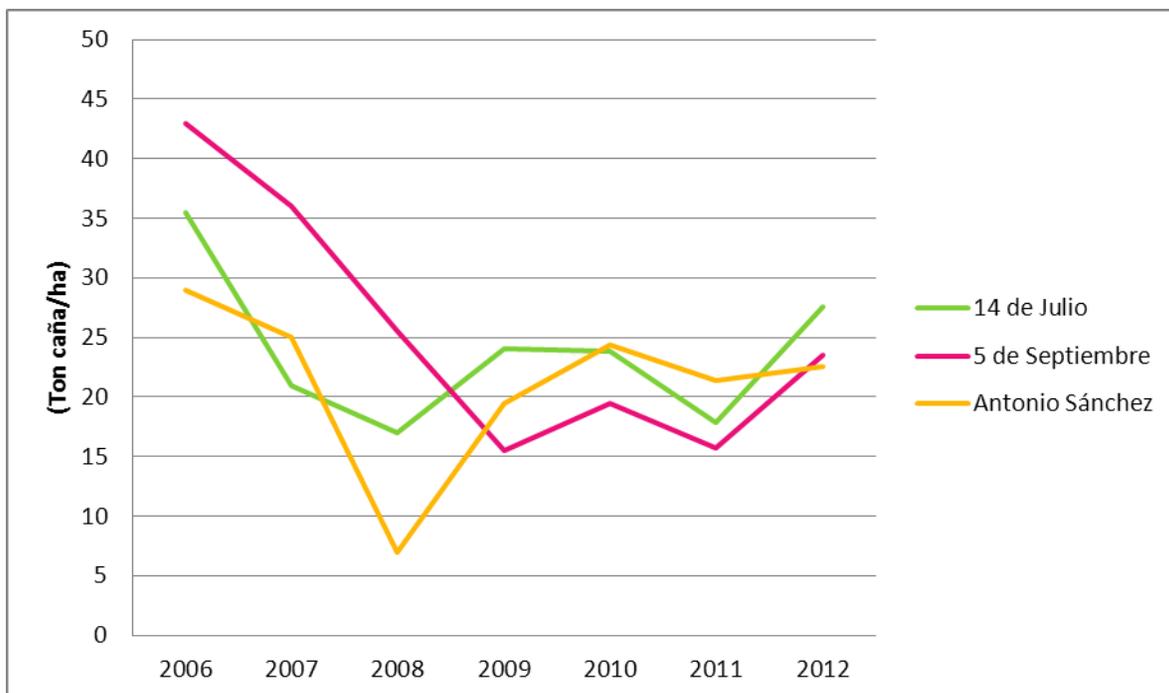
La producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos está concentrada en la tres empresas azucareras: Antonio Sánchez ,14 de julio y 5 de Septiembre, como se expuso anteriormente, los cuales aspiran lograr mejoras ambientales de sus procesos.

Se conoce que no se evalúa el impacto ambiental de la producción de azúcar con un enfoque holístico, que considere todos los componentes involucrados desde el cultivo de la caña hasta la elaboración y uso del producto final. En cada fase del ciclo vida del azúcar están identificadas los problemas ambientales que ocurren en la zafra 2009, como promedio, en las tres empresas azucareras: consumo de más de 1 151 739,51 l de Diesel para las labores de cultivo; generación de 139 943,47 m³ de residuales líquidos, con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y acidez; emisión de 76 866,32 t bagacillo; rendimiento del suelo alcanzado igual a 36,2t/ha, siendo el potencial de 80t/ha.

No está cuantificado el impacto generado a las distintas categorías que pueden ser evaluadas: respiración de inorgánicos, uso de la tierra, uso de combustibles fósiles, calentamiento global, acidificación, eutroficación, ecotoxicidad y otras.

A partir de un análisis desde el año 2006 al 2012, en la Figura No 2.1 se muestra cómo ha disminuido el rendimiento de los suelos con cultivos de caña, lo que puede estar asociado a un mal manejo de los mismos, esto ocasiona la cosecha de una caña cada vez menos eficiente y trae consigo una disminución en la producción de azúcar, producto muy demandado a escala global y local.

Figura 2.1 Comportamiento de rendimiento de los suelos. **Fuente:** Elaboración



Propia.

También se analizó el comportamiento del consumo de combustible (diesel) en 5 años. La Figura 2.2, muestra el aumento de éste, el cual en su ciclo de vida emite a la atmósfera como promedio 284g de CO₂, 1.8 SOX y 2.9 NOX por kg de diesel, gases causantes del efecto invernadero y las lluvias ácidas.

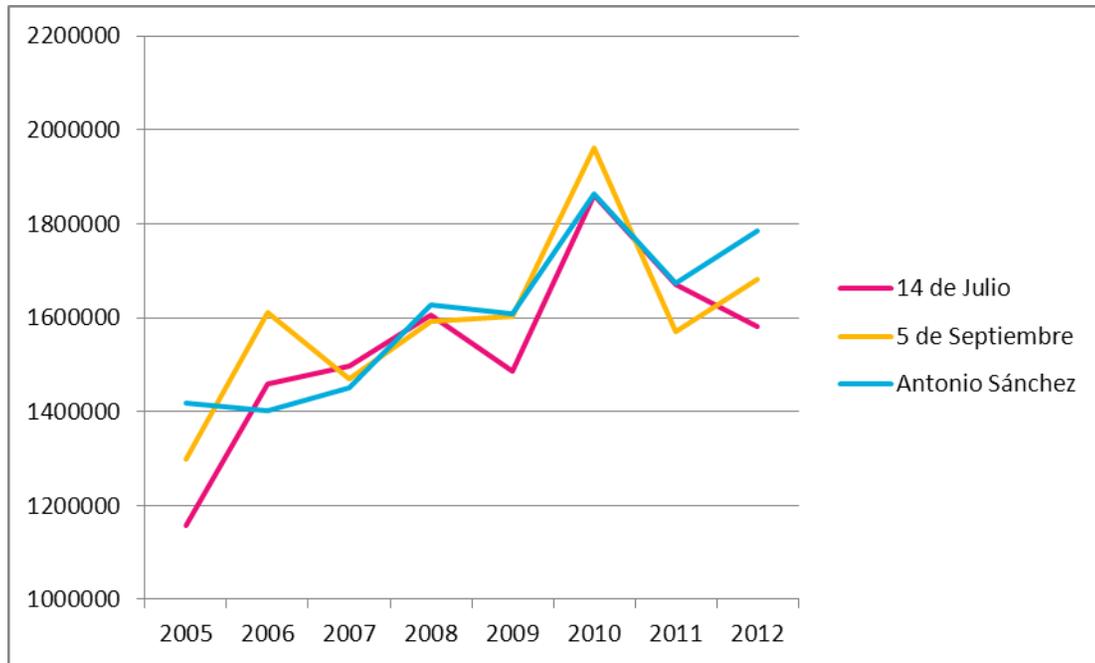


Figura 2.2 Comportamiento del consumo de combustible. **Fuente:** Elaboración Propia.

A causa de esto, se hace necesario considerar el impacto que tiene, sobre el medio ambiente, la producción de azúcar 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 final; con el fin de proponer variantes de mejora ambiental para mejorar la eco-eficiencia de su producción.

A continuación se muestra el procedimiento de ACV basado en la serie de normas NC ISO 14040, y se explica cada uno de los pasos a seguir para la aplicación de la misma.

2.3 Procedimiento Análisis del Ciclo de Vida

Según las NC-14 040:1999 la herramienta del ACV incluye cuatro etapas:

- Etapas I:** Definición del objetivo y alcance,
- Etapas II:** Análisis del inventario,
- Etapas III:** Evaluación del impacto
- Etapas IV:** Interpretación de los resultados.

A continuación se describen de manera detallada cada una de estas etapas de acuerdo a las NC-14 040, NC-14 041, NC-14 042.

2.3.1 Etapa I: Definición del objetivo y alcance

El objetivo y alcance de un estudio de ACV deben definirse claramente y ser consistentes con la aplicación que se persigue.

a) Objetivo del estudio:

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar sin ambigüedad 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.

b) Definir el alcance del estudio:

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente: las funciones del sistema producto, o en el caso de estudios comparativos, los sistemas; 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 de los datos; las hipótesis; las limitaciones; los requisitos iniciales de calidad de los datos; el tipo de revisión crítica, si la hubiera y el tipo y formato del informe requerido para el estudio.

El alcance debería estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio son compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo. El ACV es una técnica iterativa. Por lo tanto, el alcance del estudio puede necesitar ser modificado durante la realización del estudio a medida que se disponga de información adicional.

➤ Definir función y unidad funcional

Al definir el alcance de un estudio de ACV, es necesario hacer una especificación clara de las funciones (características de desempeño) del producto.

La unidad funcional define la cuantificación de estas funciones identificadas y debe ser consistente con el objetivo y alcance del estudio. Uno de sus propósitos primarios es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizados los datos de entrada y salida. Esta referencia es necesaria para asegurar la comparabilidad de los resultados del ACV. La comparabilidad de los resultados del ACV es especialmente crítica cuando se analizan distintos sistemas para asegurar que tales comparaciones se hagan sobre una base común.

Un sistema puede tener varias funciones posibles y la que se seleccione para estudio dependerá del objetivo y alcance del mismo. Por lo tanto, es necesario que la unidad funcional sea claramente definida y medible.

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos:

1. Identificación de las funciones del producto.
2. Selección de una función.

3. Determinación de la unidad funcional.
4. Identificación del desarrollo del producto.
5. 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.

- Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV. Dentro de los factores que determinan los límites del sistema se encuentran: la aplicación prevista del estudio que se va a realizar, las hipótesis planteadas, los criterios que se han tomado para la exclusión de determinados factores y condiciones fuera de los límites de análisis, los datos que serán validados y procesados, las limitaciones económicas para la ejecución del estudio, y el destinatario final que ha sido previsto para recibir el estudio.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deberán ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debe modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. En muchos casos no existe tiempo suficiente, datos o recursos para efectuar un estudio tan completo. Deben tomarse decisiones respecto a qué proceso unitario será modelado y el nivel de detalle con que estos procesos unitarios serán estudiados.

Los criterios usados para establecer los límites del sistema deben identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio. Si esto no se realiza adecuadamente pueden ser tomados para el análisis flujos secundarios y datos relacionados con ellos, esto solo retrasa el estudio y eleva el nivel de incertidumbre en la modelación del sistema.

A fin de reflejar la naturaleza iterativa del ACV, las decisiones referidas a los datos a incluir deben estar basadas en un análisis de sensibilidad, con el objetivo de determinar su importancia. Los límites iniciales del sistema producto deben ser revisados conforme a los criterios de corte establecidos en la definición del alcance. El análisis de sensibilidad puede conllevar a:

- la exclusión de etapas del ciclo de vida o de procesos unitarios cuando su insignificancia puede ser justificada por el análisis de sensibilidad;
- la exclusión de entradas y de salidas sin importancia para los resultados del estudio;
- la inclusión de nuevos procesos unitarios, entradas y salidas que se demuestren ser significativos en el análisis de sensibilidad.

Los resultados de este proceso de afinamiento y del análisis de sensibilidad deben ser documentados. Este análisis sirve para limitar posteriores manipulaciones de aquellos datos de las entradas y salidas que son determinados como significativos para el objetivo del estudio de ACV. Los criterios y las suposiciones sobre los cuales ellos son establecidos deben ser descritos claramente. El efecto potencial de los

criterios seleccionados sobre el resultado del estudio debe ser también evaluado y descrito en el informe final.

➤ **Requisitos de calidad de los datos**

Los requisitos de calidad de los datos deben ser especificados a fin de respetar el objetivo y alcance del estudio. Se recomienda que la calidad de los datos sea caracterizada por aspectos cuantitativos y cualitativos, así como por métodos utilizados para captar e integrar esos datos.

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

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

Los siguientes requisitos adicionales de calidad de los datos deben ser considerados con un nivel de detalle que depende de la definición del objetivo y alcance:

- precisión: medición de la variabilidad de los valores de los datos para cada categoría de datos expresados (por ejemplo, varianza);
- representatividad: evaluación cualitativa del grado en el cual el conjunto de datos refleja la población real de interés (por ejemplo, cobertura geográfica, período de tiempo y cobertura tecnológica);
- consistencia: evaluación cualitativa de cómo la uniformidad de la metodología de estudio es aplicada a los diversos componentes del análisis;
- reproducibilidad: evaluación cualitativa de la medida en la cual las informaciones sobre la metodología y los valores de los datos permiten a un realizador independiente reproducir los resultados reportados en el estudio;

Cuando un estudio es utilizado para apoyar una aseveración comparativa pública, todos los requisitos relativos a la calidad de los datos antes mencionados deben ser incluidos en el estudio.

2.3.2 Etapa II: Análisis de Inventario.

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

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

a) Recolectar los datos.

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentadas y comunicadas. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible. Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos.

b) Construir los diagramas de procesos.

La construcción de los diagramas de proceso es un paso vital para la comprensión y el análisis detallado de un ACV, un diagrama de procesos muestra las entradas, salidas y la concatenación de estas en un proceso determinado, a su vez pueden ser apreciados los datos que están siendo evaluados y el entorno en que se enmarcan estos datos, si el diagrama está bien realizado muestra a su vez los límites del sistema (producto). Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir, el comienzo del proceso al conocerse las entradas en forma de materias primas y de los productos intermedios que intervienen en el mismo, pueden describirse a su vez, las operaciones y transformaciones que ocurren dentro de cada proceso unitario y en función de las salidas que genera cada uno donde es que este termina y cuáles son los productos intermedios y finales.

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

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas, el cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.

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

Estas categorías enmarcan una calificación para satisfacer el objetivo del estudio por lo tanto las diversas categorías de datos deben ser ampliamente detalladas. Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV. Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado. Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden también ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, emisión de dióxido de carbono (CO₂).

c) Procesar los datos.

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

Las hipótesis deben ser claramente establecidas y justificadas.

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

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

2.3.3 Etapa III: Evaluación del impacto.

La Evaluación del Impacto de un Ciclo de Vida (EICV) tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, y de esta forma cuantificar posibles impactos medioambientales. La EICV, como parte del ACV global puede, por ejemplo, ser usada según la NC ISO 14 042:2001 para:

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

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

La EICV consta con elementos obligatorios que son descritos por la norma NC-ISO 14042:2001 estos elementos obligatorios incluyen la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización, asignación de los resultados del análisis del inventario (Clasificación) y los cálculos de los indicadores de categoría (Caracterización), como se puede observar en la Figura 2.3 existen elementos de análisis opcionales como son el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría en relación con la información de referencia (Normalización), agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos.

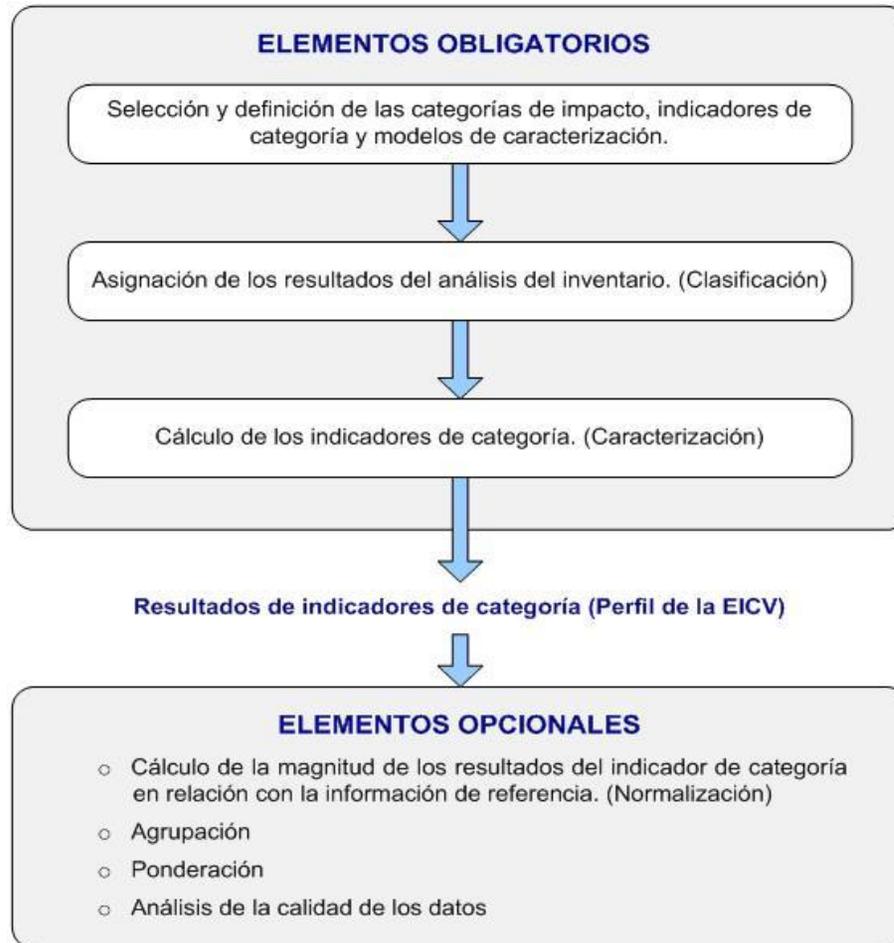


Figura 2.3: Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. **Fuente:** (NC ISO 14 042: 2001).

a) Definir las categorías de impacto.

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

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

b) Clasificar resultados del análisis del inventario.

El procedimiento consiste en asignar los estudios del ICV a las distintas categorías y así poder resaltar las cuestiones ambientales asociadas con los resultados del ICV, de esta forma es vista y asignada la totalidad de las cargas ambientales del sistema tratado. La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- La asignación de los resultados del ICV que sean exclusivos de una categoría de impacto.
 - La identificación de los resultados del ICV que se relacionen con más de una categoría de impacto.
 - La distinción entre mecanismos paralelos, por ejemplo, el SO_2 es asignado entre las categorías de impacto salud humana y acidificación.
 - La asignación entre mecanismos seriados, por ejemplo, los NO_x pueden ser asignados a la formación de ozono a nivel de superficie terrestre y a la acidificación.
- c) Calcular los indicadores de categoría.

Para calcular los resultados de los indicadores de categoría conocidos comúnmente como Caracterización, se aplican los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto. El cálculo implica la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la agregación de los resultados convertidos dentro de la categoría de impacto. En esta conversión se usan factores de caracterización. El resultado final del cálculo es un resultado indicador numérico. En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, mide la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

2.3.3.1 Eco-Speed, método para evaluar el impacto ambiental.

Este método presentado por MSc. Ing. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-velocidad. Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas por otros métodos como que afectan el mecanismo ambiental medido por la misma.

Eco-Speed cuenta con 5 categorías de daño, las que son afectadas por 18 categorías de impacto, la forma en que se relacionan se representa en el Anexo 6. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, como se presentan a continuación para cada una de las categorías de daño y de impacto.

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

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

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

Dónde:

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

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

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

Cada categoría incluye los impactos potenciales de las emisiones de sustancias carcinogénicas y no carcinógenas al aire, al suelo y al agua. Los factores de caracterización para cada sustancia representan los casos potenciales de problemas de salud que provocan por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por Casos/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra

Categoría de daño: Consumo de los recursos (*Resources Consumption*).

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

➤ **Categoría de impacto:** Uso del agua, del suelo, de la energía y de los minerales

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

Para el impacto del uso del suelo se ha considerado proponer una ponderación en dependencia del cambio de uso que se realice al utilizar el suelo. Se basa en las clasificaciones de su productividad, donde se utilizan 4 clasificaciones, muy productivo, productivo, poco productivo y muy poco productivo; estas clasificaciones son las utilizadas por las agencias que proveen los datos utilizados para el cálculo del indicador de la categoría (*Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009*) (*EUROSTAT, European Commission 2008*), por eso se mantienen como tal.

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

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

➤ **Categoría de impacto:** Ecotoxicidad del Aire, el Suelo y el Agua, Calentamiento Global y Reducción de la Capa de Ozono

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

En la categoría de impacto al calentamiento global el cálculo de los efectos potenciales que producen las sustancias conocidas como contribuyentes al efecto invernadero, resulta de la multiplicación de la masa emitida con su correspondiente factor de potencial de calentamiento global, estos factores son dados a conocer por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

En la Capa de Ozono se calculan los impactos potenciales de las sustancias probadas como agotadoras de la capa de Ozono, para este cálculo se utilizan los factores de potencial de agotamiento del Ozono brindados por la organización meteorológica mundial.

2.3.4 Etapa IV: Análisis de mejoras.

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

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

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

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

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

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

l) Reporte y análisis de mejoras.

En el reporte de la investigación deben definirse:

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

Conclusiones Parciales

- La producción de azúcar en la provincia presenta a lo largo de los últimos años una disminución sostenida de la productividad de los suelos y un aumento en la utilización de combustibles fósiles.
- Algunas empresas azucareras de Cienfuegos no cumplen con los límites máximos permisibles promedios para las concentraciones de las descargas de sus aguas residuales, violando así la Legislación Ambiental vigente en el país.
- Varias fuentes de contaminación en la etapa industrial aportan altas cargas contaminantes como el área de calderas donde se presentan emisiones de CO₂, CO y bagacillo, también se emite al aire una cantidad considerable de SO₂.
- Se define utilizar el Análisis de Ciclo de Vida junto con el método de evaluación del impacto Eco-Speed para la valoración de variantes de mejora en la producción de azúcar y sus derivados en Cienfuegos.

Capítulo 3

Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados

3.1 Etapa 1: Definición de objetivos y alcance

Objetivo del estudio

El presente estudio de análisis de ciclo de vida pretende realizar mejoras ambientales en el ciclo de vida de la azúcar producida en las empresas azucareras de la provincia de Cienfuegos, para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un inventario del ciclo de vida del azúcar en las empresas azucareras de la provincia de Cienfuegos.
2. Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de la elaboración de azúcar a lo largo de todo su ciclo de vida.
2. Valorar variantes de mejora para reducir los impactos ambientales asociados a cada fase del proceso estudiado.

Alcance del estudio

El presente estudio considera los inventarios de Ciclo de Vida para los procesos agrícolas e industrial de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos con sus tres empresas azucareras, Antonio Sánchez, 14 de Julio y 5 de Septiembre.

Unidad funcional

La unidad funcional del sistema analizado se define como la fabricación de 1 tonelada de azúcar. Para cada etapa se define una unidad funcional específica:

- Fase agrícola, cultivo de la caña de azúcar: t de caña de azúcar.
- Fase Industrial, producción de azúcar: t de azúcar.

- Definición de los límites del sistema

Límites geográficos

El Análisis de Ciclo de Vida presentado en esta investigación se limita a la elaboración de azúcar en las empresas Antonio Sánchez, 14 de Julio y 5 de Septiembre, ubicadas en los municipios Aguada de Pasajeros, Abreus y Rodas pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. En el mapa del anexo 5 se muestra la localización de las empresas y sus áreas de cultivo.

Límites temporales

El horizonte temporal considerado es desde el año 2009 al 2012, para los que se tomaron todos los datos que se utilizan en este estudio, considerando las dos etapas de zafra.

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, los vehículos de transporte, la producción de fertilizantes y herbicidas, y las de circulación, distribución y consumo del producto final.

Se ha incluido el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático al considerarlo parte del sistema productivo y parte del medio ambiente.

- Calidad de los datos

Los datos han sido recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos. Para ello se han solicitado datos a las siguientes entidades: - EA "Antonio Sánchez", Aguada de Pasajeros. - EA "14 de Julio", Abreus. - EA "5 de Septiembre", Rodas. - Grupo Extensión y Servicio Agrícola (GESA), Cienfuegos - Dirección Provincial de Cienfuegos del Ministerio de la Industria del Azúcar (MINAZ).

Todos los datos recogidos fueron analizados estadísticamente, a través de los análisis de bondad de ajuste se obtienen las distribuciones de probabilidad que más se ajustan, permitiendo de esta manera realizar análisis de incertidumbre.

3.2 Etapa 2: Análisis del inventario

Recolectar los datos

En el proceso de recolección de los datos necesarios para la investigación se procede primeramente a describir cada uno de los procesos involucrados en el ciclo de vida del azúcar, los cuales están representados en los diagramas de los anexos 7 y 8.

3.3 Etapa 3: Evaluación del impacto

La evaluación del impacto causado por el ciclo de vida del azúcar, con el uso de Eco-Speed permite determinar que los principales problemas ambientales que se derivan del proceso de producción azúcar, como se puede ver en el gráfico 3.4 son: la emisión de compuestos carcinógenos al aire, debido en gran medida a la emisión de bagacillo, seguido por la afectación a los combustibles fósiles y consecuentemente el calentamiento global, las emisiones de compuestos carcinógenos al aire, la formación de oxidantes fotoquímicos y la acidificación.

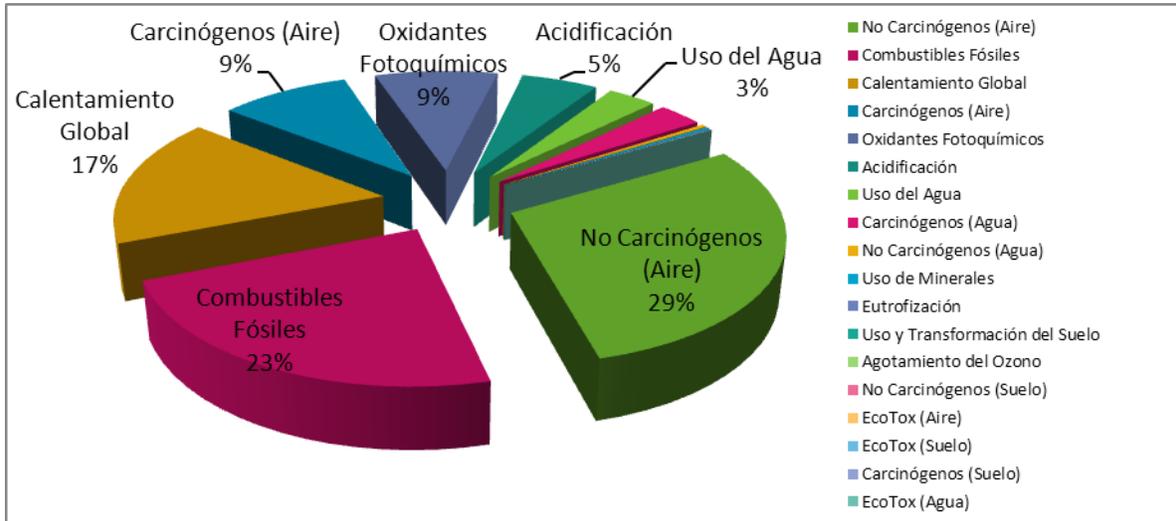


Figura 3.4 Análisis de Impacto de Ciclo de Vida, a través de Eco-Speed. Fuente Elaboración propia

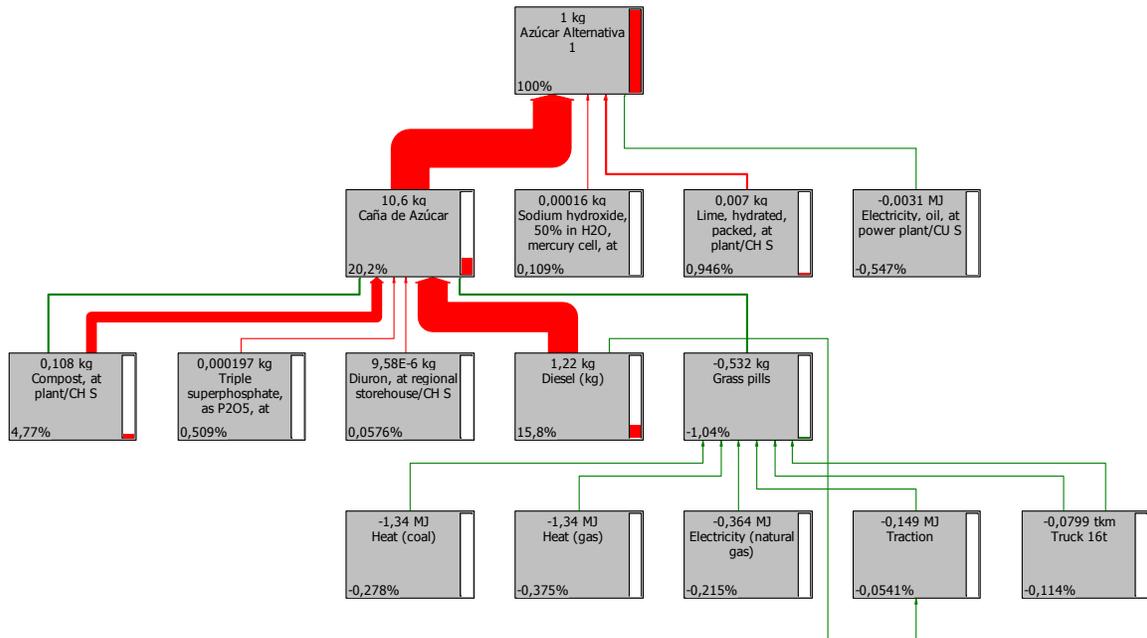
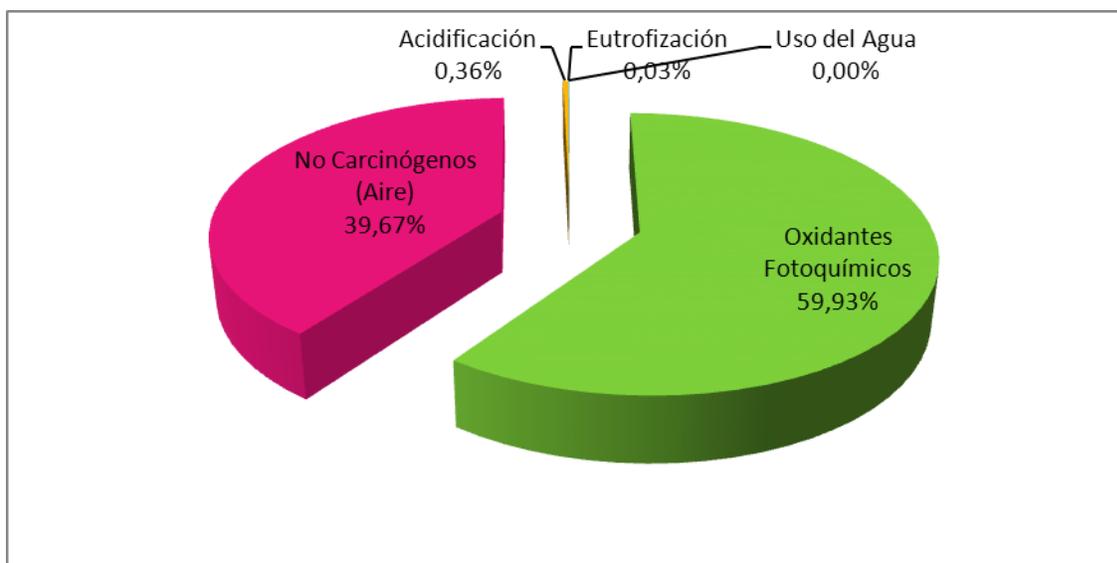


Figura 3.5 Análisis de Impacto de Ciclo de Vida, a través de Eco-Speed. Fuente Elaboración propia

Además del análisis de las principales influencias por categorías que tiene el proceso, es necesario conocer dónde se encuentran las mayores cargas ambientales hasta llegar a la producción final, para ello se emplea el gráfico de árbol que se presenta en la figura 3.5, dónde se puede ver que hasta la etapa de producción, se tienen los mayores impactos debido a la utilización de combustible para las actividades agrícolas, lo cual incluye sus emisiones por

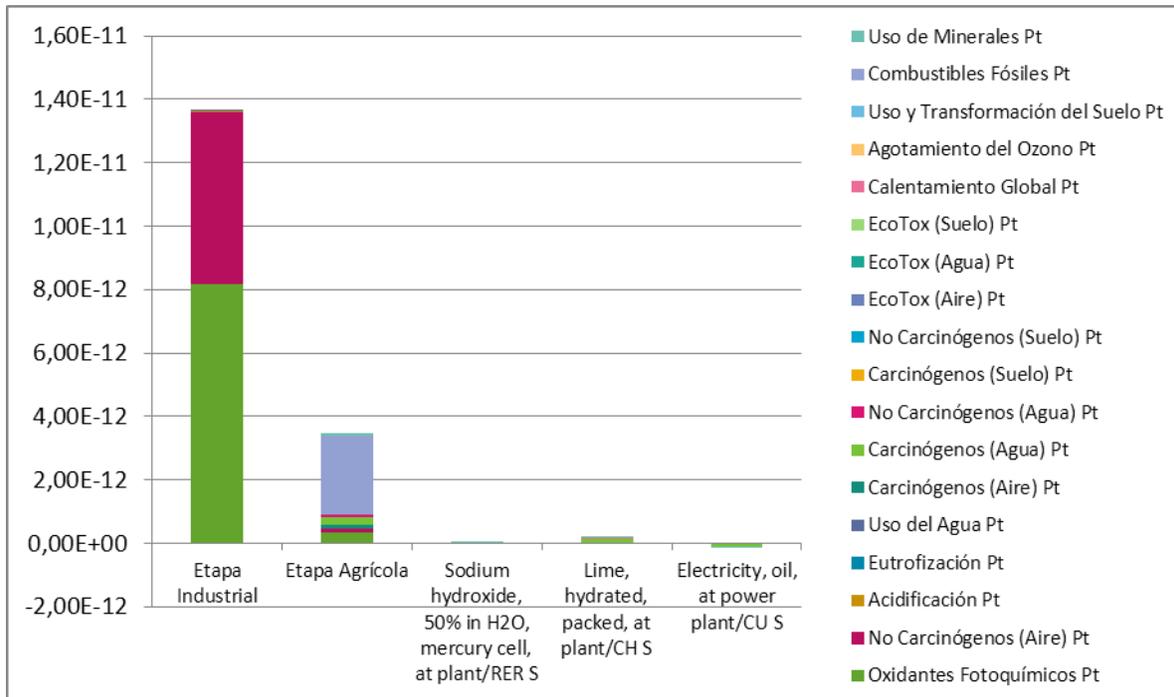
concepto de la quema de ese combustible en los motores de combustión interna de los vehículos; además de la utilización de fertilizantes y herbicidas; todo lo cual aporta un carga importante de contaminación ambiental al proceso industrial.

El proceso industrial por sí solo, afecta en mayor medida al medio ambiente con la emisión de oxidantes fotoquímicos y de elementos no carcinógenos al aire, ambos aspectos son causantes de problemas respiratorios a las personas, ver figura 3.6.



**Figura 3.6 Análisis de Impacto de Ciclo de Vida, a través de Eco-Speed. Fuente
Elaboración propia**

En adición si se comparan los efectos ambientales que tiene la etapa industrial con respecto a los efectos que se producen en las etapas anteriores para la producción de la materia prima (caña) y los principales insumos, es posible darse cuenta, como se ve en la figura 3.7, que el principal impacto ambiental ocurre durante la etapa industrial.



**Figura 3.7 Análisis de Impacto de Ciclo de Vida, a través de Eco-Speed. Fuente
Elaboración propia**

3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras

Según los resultados obtenidos en el apartado anterior, las mejoras deben estar encaminadas a la disminución de emisiones de bagacillo, oxidantes fotoquímicos y del uso de combustibles fósiles, causantes del impacto en la categoría de calentamiento global.

La función principal del proceso es la obtención de azúcar crudo, pero a la vez se obtienen una serie de subproductos que pueden utilizarse para la obtención de productos de gran valor. Atendiendo a dichas posibilidades de uso de los subproductos o residuos del proceso, se consideran seis alternativas para el estudio de comparación, con el objetivo de seleccionar la mejor, como se muestra en las Figuras 3.8 a la 3.13.

La Alternativa I corresponde a la producción de azúcar crudo de forma convencional, caracterizada por el uso de fertilizantes químicos, pesticidas y agua fresca para la irrigación en la etapa agrícola, así como, métodos tradicionales de siembra y cosecha. La etapa industrial, la constituye el proceso tradicional de producción de azúcar crudo, con uso del bagazo para la cogeneración. Aquí se considera el uso de las mieles y RAC para la alimentación animal. Los restantes residuos constituyen emisiones al agua, aire y suelo. La Alternativa II es similar a la

primera pero esta considera además, el uso de las aguas residuales para fértil-riego y los residuos sólidos (cachaza y cenizas) como fertilizantes.

Por su parte, la alternativa III introduce el funcionamiento de una planta de Miel-Urea-Bagacillo, con el fin de utilizar residuos peligrosos al medio ambiente, como lo es la emisión de bagacillo.

La Alternativa IV se agrega al sistema de producción anterior el uso de la cachaza y las aguas residuales azucareras para la producción de biogás, los lodos y aguas residuales de la digestión anaeróbica como fertilizantes y fértil-riego respectivamente.

La Alternativa IV integra el proceso de producción de azúcar crudo, la obtención de alcohol a partir de las mieles y en este caso el proceso de generación de biogás se realiza a partir de la cachaza y aguas residuales de ambos procesos.

Teniendo en cuenta que el proceso de producción de alcohol, a través de la destilación tiene un fuerte componente de emisiones de dióxido de carbono, se decide probar la alternativa VI, la que incluye la captación del CO₂ generado en la destilación de alcohol. La captación y embotellamiento de este gas, evita su producción a través de otras plantas de fabricación de gases industriales, el CO₂ que se obtiene puede ser empleado para la industria de producción de bebidas y refrescos.

Este sistema productivo presentado por la alternativa VI, es un ejemplo de como el empleo de los residuos de un proceso pueden ser utilizados para la creación de otros productos, esta integración de procesos productivos tiene la ventaja de disminuir los impactos ambientales que se generan al medio ambiente, además de que evitan otras contaminaciones que se producen al tener que producir los mismos bienes en procesos diferentes los cuales pueden además estar alejados espacialmente y necesitar de cadenas de transporte, aumentando así la demanda de energía fósil.

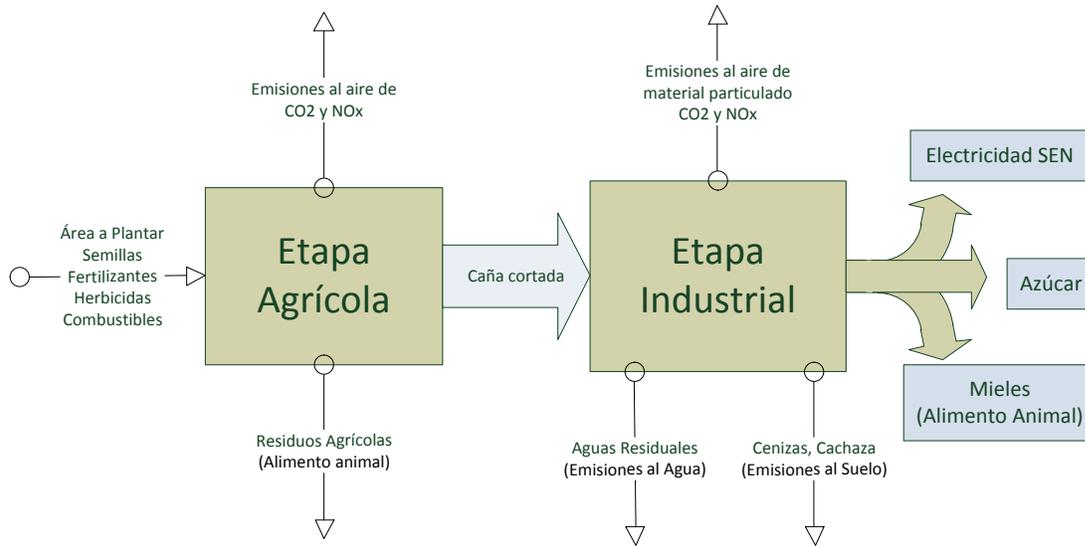


Figura 3.8: Alternativa 1 de producción de azúcar

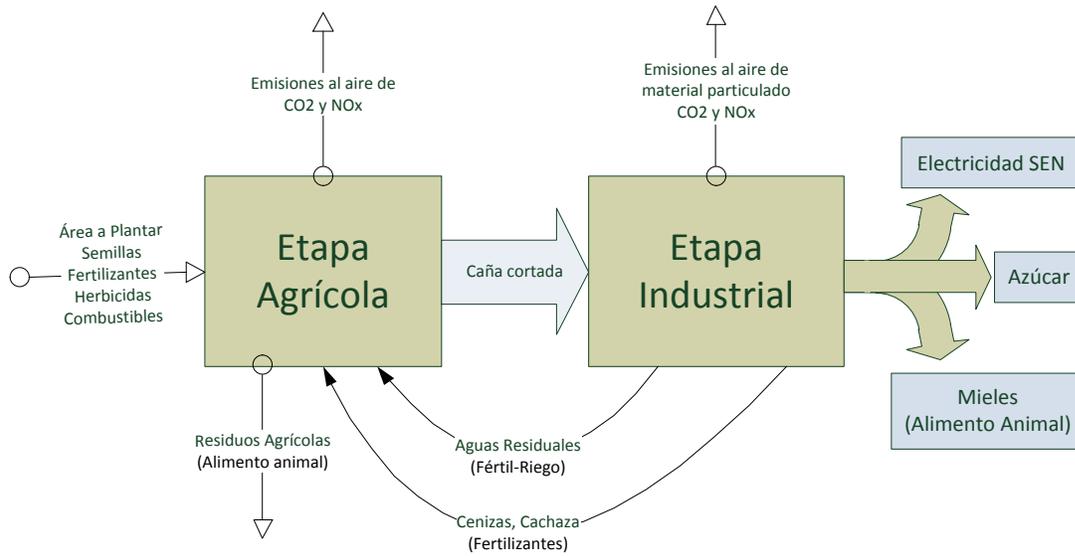


Figura 3.9: Alternativa 2 de producción de azúcar

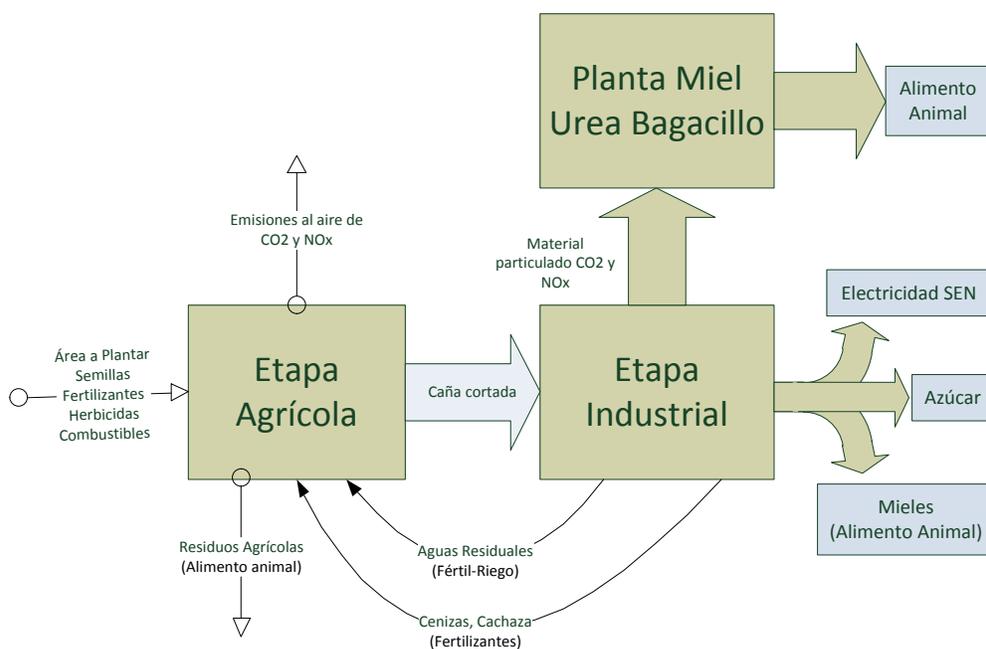


Figura 3.10: Alternativa 3 de producción de azúcar

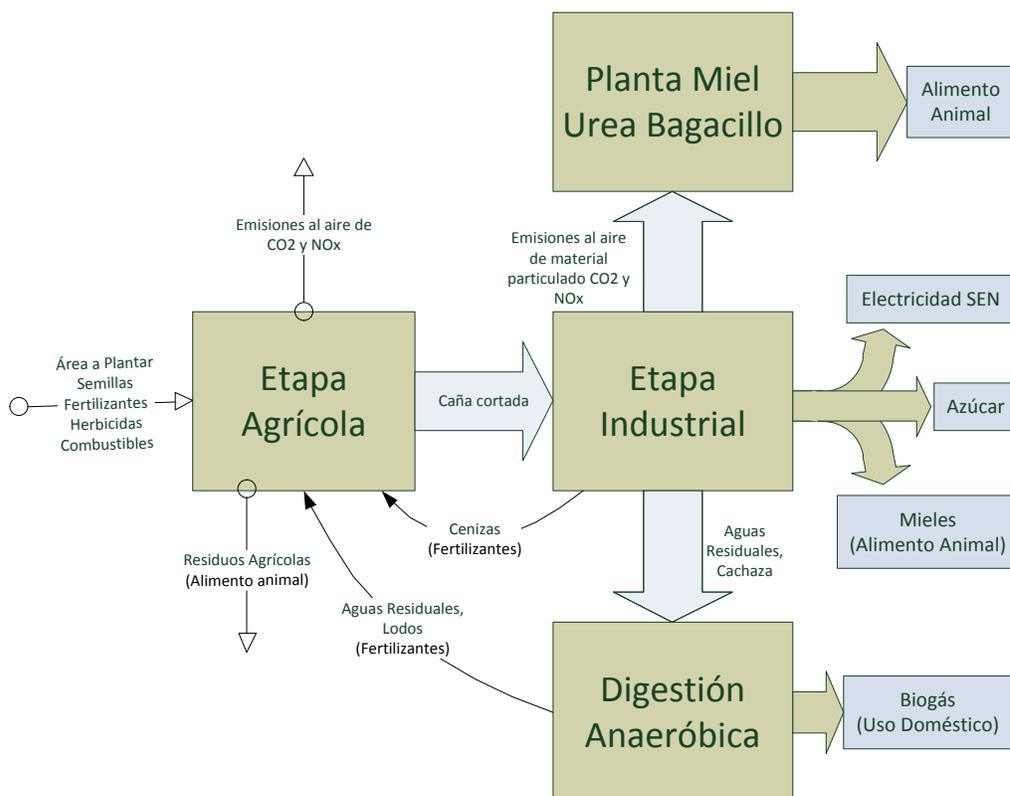


Figura 3.11: Alternativa 4 de producción de azúcar

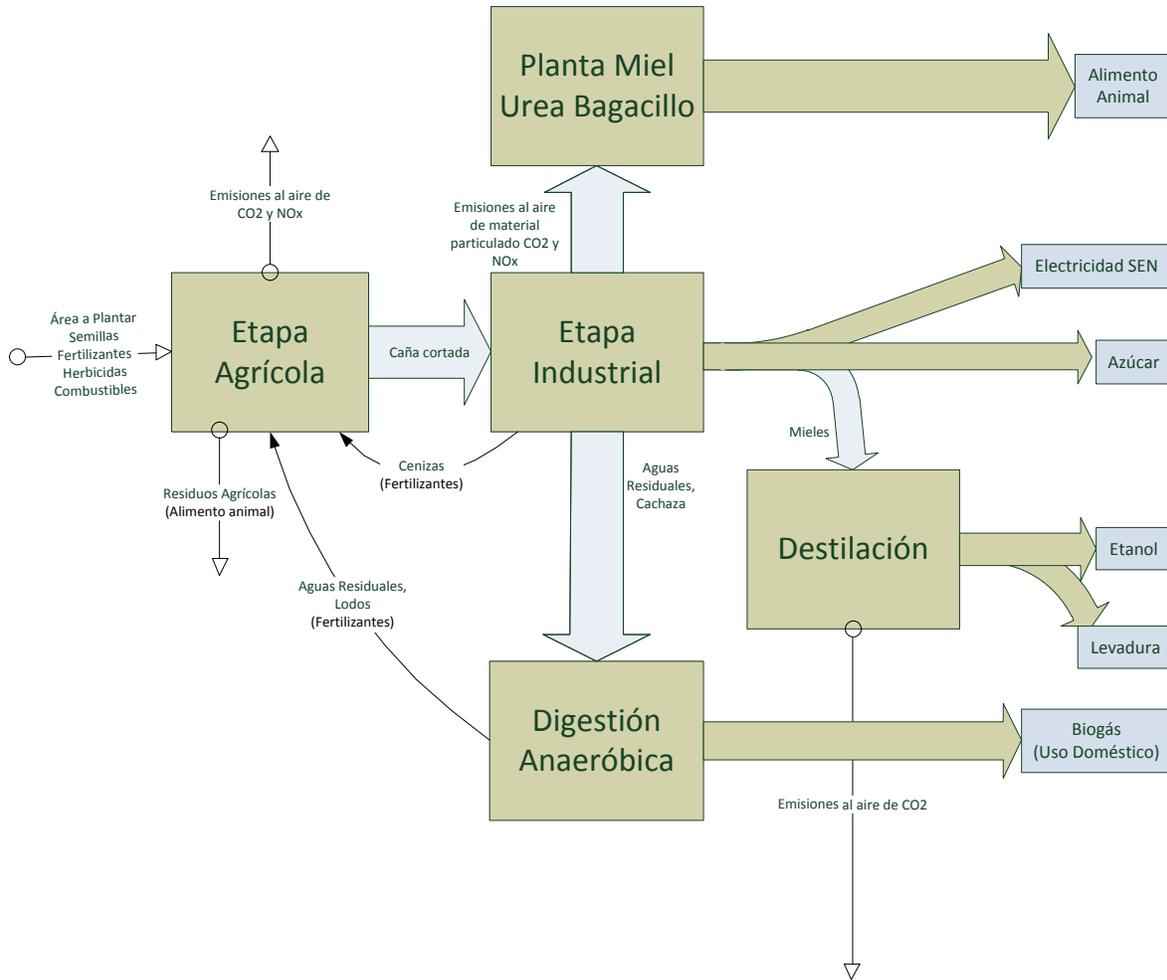


Figura 3.12: Alternativa 5 de producción de azúcar

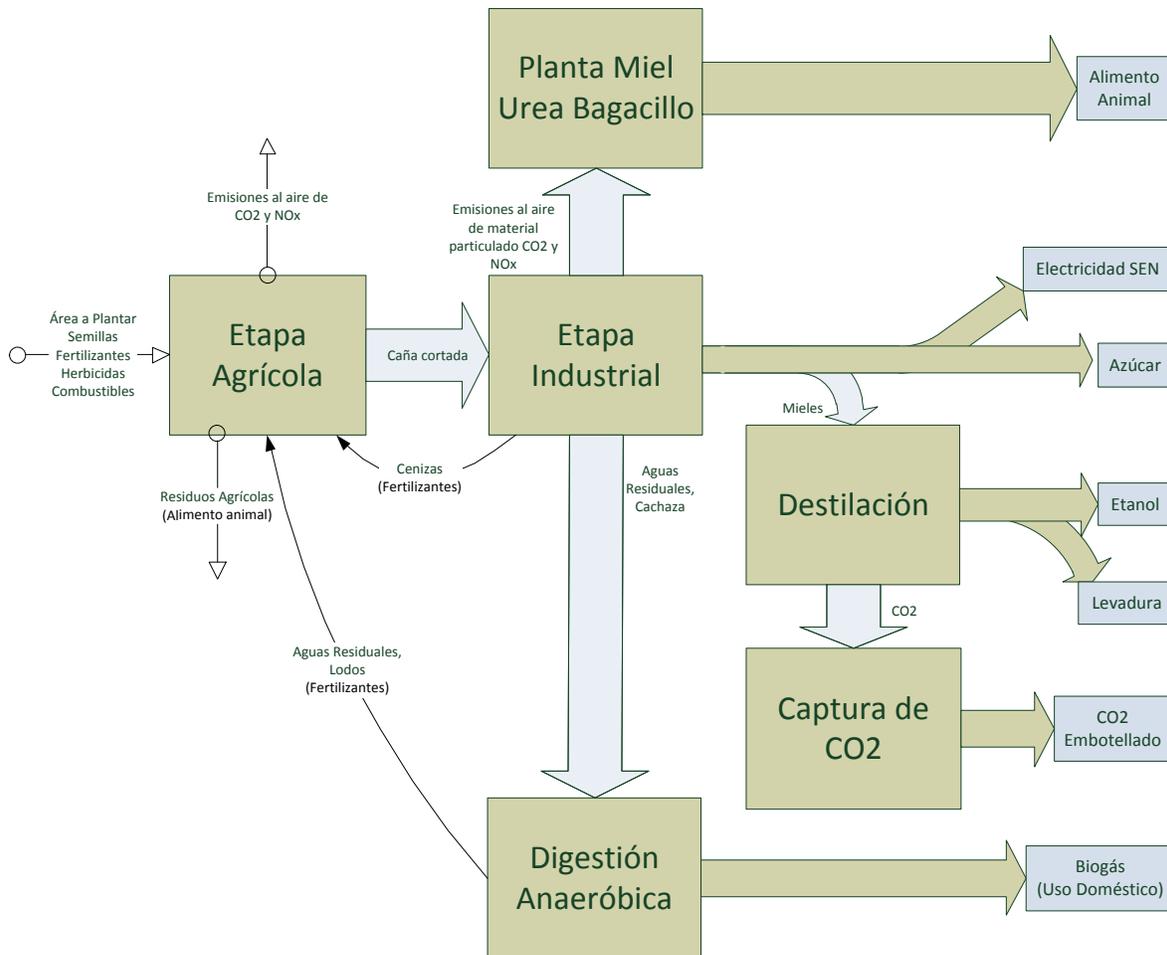


Figura 3.13: Alternativa 6 de producción de azúcar

El empleo y procesamiento de los productos residuales de cada etapa, se considera en el análisis como la generación de productos evitados, este concepto se basa en que si un residual del proceso es utilizado en vez de ser simplemente emitido al medio ambiente, se estará dejando de necesitar otros productos que se empleen con el mismo fin. Por ejemplo, las aguas residuales que se emplean en el fértil-riego evitan la cantidad de fertilizantes necesaria para dar a ese suelo la cantidad de nutrientes contenido en los residuales.

A partir de la idea anterior se analizan las seis formas de producción de azúcar, para ello se emplea el método Eco-Speed utilizando un escenario promedio de normalización y ponderación. Como se puede ver en la figura 3.14, a medida que se va aumentando la posibilidad de aprovechar los residuales, se van mejorando los impactos ambientales potenciales que se generan.

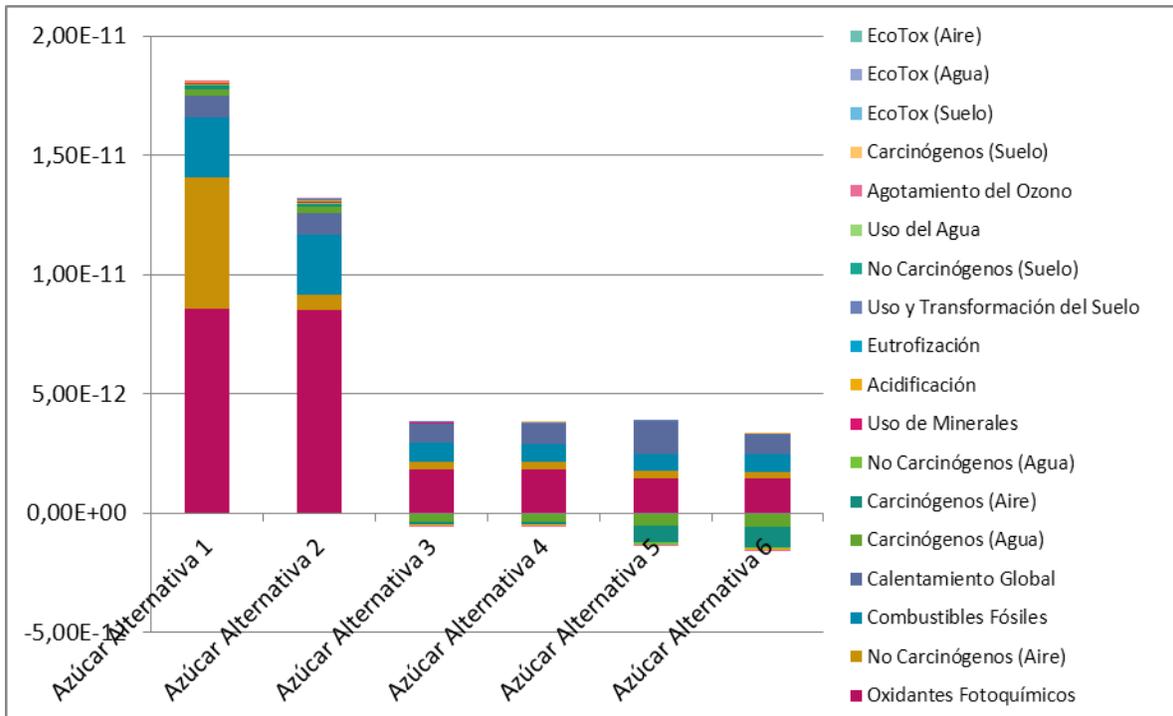


Figura 3.14: Comparación de las alternativas de producción de azúcar y sus derivados.

Por lo que la alternativa de producción que menos impacta al medio ambiente es la alternativa 6, ya que en ella casi todos los residuos son utilizados y además de azúcar se producen otras mercancías que tienen un valor de uso, además de que se evitan la generación de nuevas cargas al medio al tener que realizar esas producciones a través de otros procesos.

A partir del figura 3.15, donde se muestran los principales daños generados por las alternativas de producción se puede observar como inicialmente el mayor daño que se causa con la producción de azúcar es a las personas, el cual se disminuye significativamente a partir de la introducción de la planta de miel-urea-bagacillo, ya que de esta forma se impide que se emita a la atmósfera el bagacillo, el cual es causante de enfermedades como la bagazosis, caso especial de la alveolitis alérgica a los antígenos “*Thermoactinomyces sarachi*” y “*Thermoactinomyces vulgaris*” la que también produce neumoconiosis, episodios de almacenamiento del irritante, con reacciones inflamatorias alérgicas, a veces con cambios fibróticos.

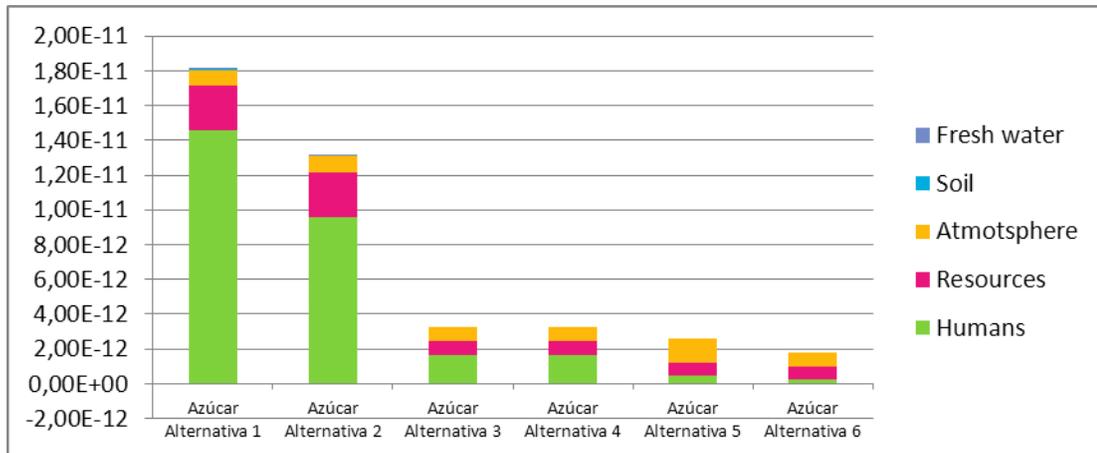


Figura 3.15: Comparación de las alternativas de producción de azúcar y sus derivados.

La mayor integración de los procesos productivos, utilizando los residuos de cada etapa del proceso para obtener otros, impacta positivamente en el medio ambiente, pues como se puede apreciar de los gráficos anteriores, los productos evitados reducen la contaminación, por ejemplo entre las alternativas 1 y 2, la diferencia es la utilización de los residuales como fertilizantes, y en este caso se puede apreciar la disminución que existe en la contaminación. La alternativa 6 es la que aprovecha en mayor medida los residuos de cada etapa del proceso, logrando de esta forma ser la de menor impacto y mayor variedad de productos obtenidos.

Las mejoras que se proponen al sistema de producción de azúcar por las alternativas estudiadas puede tener mayor cantidad de variantes, las cuales pueden incluir por ejemplo el uso del etanol como combustible para las actividades agrícolas. Otras variantes de mejora pueden estar encaminadas a mejorar el desempeño del proceso, a partir de mejorar su eficiencia y disminuir las cargas ambientales que supone.

En este sentido, Implementar el Sistema de riego por goteo en busca de lograr la máxima eficiencia en el aprovechamiento del agua y los suelos que se emplean actualmente en el cultivo de la caña es definitivamente una variante a tener en cuenta. Esta tecnología de avanzada posee la capacidad de adaptación a todo tipo de superficies y desniveles en su relieve natural sin inversión en la nivelación y transporte de tierras. Incrementando notablemente la producción y la calidad de los productos. Ya se encuentra en prueba la instalación del riego por goteo en 120 hectáreas de caña de la provincia, de donde se extraen los resultados que se presentan.

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 (fértil-riego). La comparación entre los procesos de obtención de caña de azúcar utilizando o no esta tecnología se puede ver en el Figura 3.16.

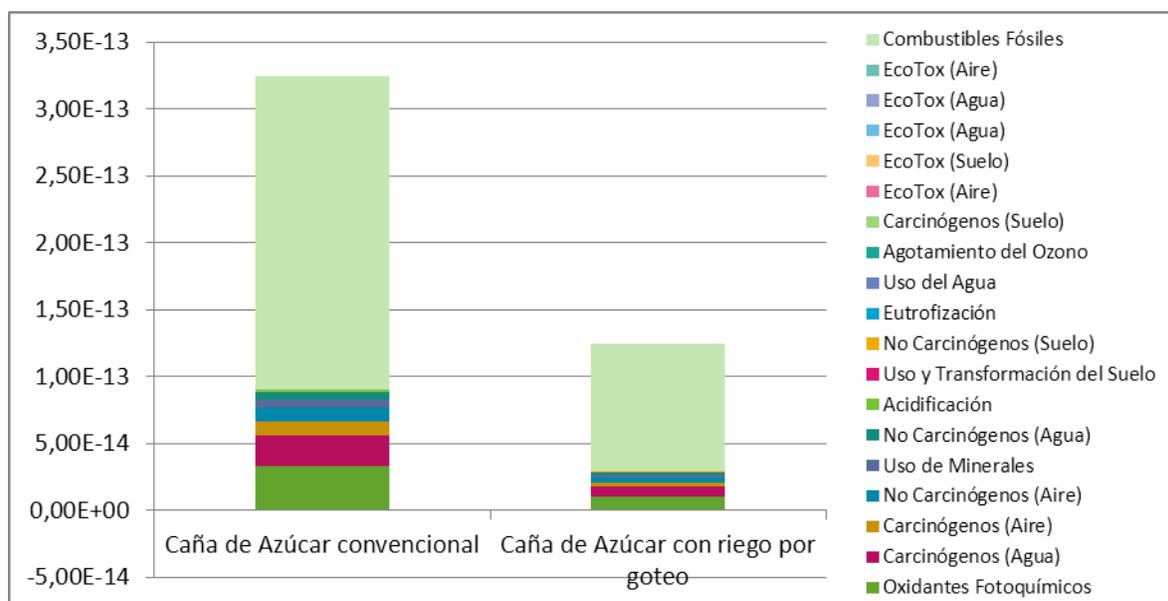


Gráfico 3.16: Comparación del impacto de ciclo de Vida de las dos alternativas de producción de Caña de Azúcar. Fuente Elaboración Propia.

La implantación de esta medida permite una reducción en un 50% del consumo de herbicidas líquidos que son 80174,8 l y de sólidos 37924,6 kg con un ahorro por el importe de \$ 1143465.312; por concepto de fertilizantes se ahorra un 30% que equivale a 671879 kg implicando un ahorro \$ 186995.5; además implica una disminución del consumo anual de combustible, en lo referente al transporte para el riego de estos fertilizantes, en un 70% que equivale a 178423,047l con un costo de \$102843,0443. También se requieren un menor número de obreros para las labores de cultivo, en la actualidad un obrero atiende dos hectáreas y con la propuesta es suficiente uno para 24 hectáreas.

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 patógenos en el aire.

Cómo se puede ver en el gráfico 3.17, la variante de mejora propuesta tiene un efecto positivo en el desempeño ambiental del proceso de producción de azúcar, reduciendo el impacto en muchas de las categorías, pero más significativamente en el uso de combustibles fósiles. Esta mejora está dada por el efecto en cascada que existe de mejorar el proceso anterior, ya que

como se sabe en ACV las cargas ambientales de un producto son acumulativas a todas las etapas del sistema.

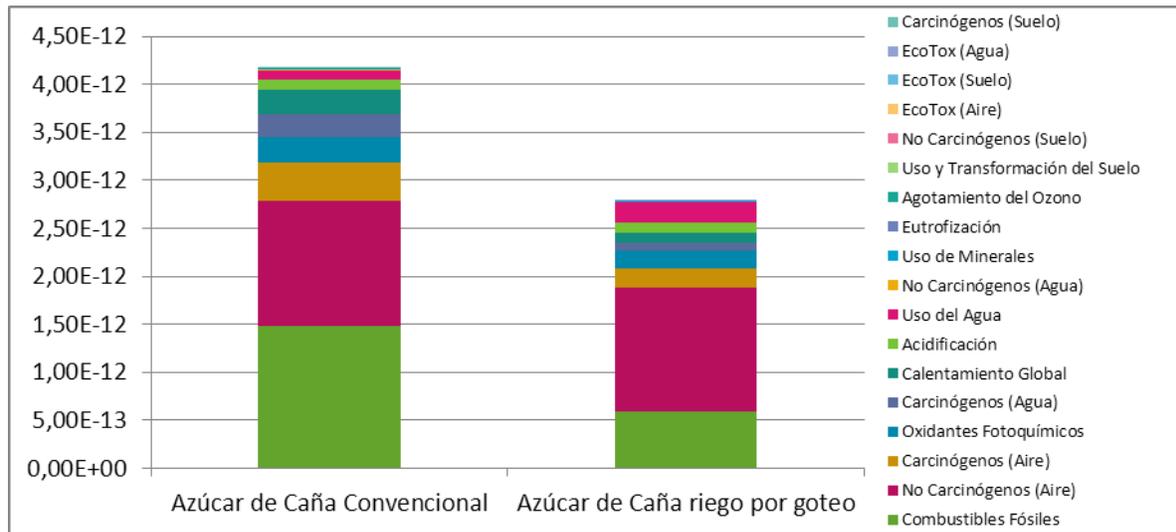


Gráfico 3.17: Comparación del impacto de ciclo de Vida de las dos alternativas de producción de azúcar. Fuente Elaboración Propia.

3.2 Comparaciones de los resultados empleando distintos escenarios.

Como se explicó en el capítulo anterior Eco-speed permite la creación de diferentes escenarios para evaluar los resultados del Análisis de Impacto de Ciclo de Vida (AICV). Para probar las variaciones que se producen al cambiar los datos por defecto, se muestra a continuación una serie de cálculos de los resultados de las categorías de impacto y de daño, introduciendo distintos escenarios.

Para la creación de los escenarios se emplean diferencias en los valores de los parámetros generales, datos toxicológicos y la línea base. Esta última se puede utilizar para identificar las particularidades de las regiones, ya que al ser cada región diferente los resultados de los factores de normalización y ponderación en consecuencia darán más o menos importancia a los problemas ambientales, según las particularidades de cada región.

En este epígrafe se comparan los resultados que arroja Eco-Speed utilizando diferentes escenarios, los cuales responden a dos comportamientos extremos: ambientalista y consumista; además de un escenario promedio, el cual es el recomendado a utilizar por defecto por los practicantes de ACV. Para el caso del ambientalista, es el que da mayor importancia a la conservación de los recursos naturales, prestando especial atención a las emisiones de gases de efecto invernadero, para evitar en la medida de lo posible el aumento de la temperatura, por su parte el comportamiento consumista está dado por un descuido a los efectos negativos al medio ambiente, permitiendo las emisiones y consumos elevados; consecuentemente el comportamiento promedio es una media de los dos extremos.

Los parámetros específicos de la construcción de los escenarios que se utilizan, se muestran en la tabla 3.1, es importante destacar que la cantidad de escenarios posibles de modelar es infinita, ya que se pueden cambiar los elementos de la línea base, para ajustarla a las particularidades de una región específica, por ejemplo la línea base los datos mundiales para el

año 2012. En este caso se han empleado los datos referentes a Cuba, los que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.1: Particularidades de los escenarios modelados. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros	Unidades	Escenarios		
		Ambientalista	Promedio	Consumista
Horizonte de tiempo	años	100	100	100
Aumento de la temperatura	°C	0.5	1	1.5
Afectación a recursos no renovables	%	10	25	50
Cambio anual en las extracciones de agua dulce	%	1	3	5
Cambio anual de la degradación de suelos	%	1	3	5
Crecimiento anual promedio de la población	%	0.01	0.10	0.5
Cambio en las emisiones de tóxicos al Aire	%	1	3	5
Cambio en las emisiones de tóxicos al Agua	%	1	3	5
Cambio en las emisiones de tóxicos al Suelo	%	1	3	5
Concentración inicial de Oxidantes Fotoquímicos	-	Alta	Media	Baja

Tabla 3.2: Ejemplo de los datos que se requieren para la confección de la línea base (Caso Línea Base “Cuba 2012”). Fuente: ONE 2012, USGS 2012, OPEC 2012, UN Stats División. PNUMA 2012.

Línea Base		UM
Población	1,1E+06	Pers
Crecimiento anual promedio	0,10%	%
Emisiones de CO2	2,5E+06	kg
Variación Anual	0,5%	%
Emisiones de CFC	3,31E+06	kg
Variación Anual	0,30	%
Reservas de agua dulce renovable	9,17E+09	m3
Extracciones de Agua	6,7E+09	m3
Recarga de las reservas	1,37+E10	m3
Intercambio neto	7,0E+9	m3
% de intercambio neto	76,82%	%
Área Suelo Total	1,09E+07	ha
Área inutilizable hasta el año base	4,73E+05	ha
Área Degradada en el año base	4,97E+3	ha
% Crecimiento de la degradación	5,00%	%
Reservas de Petróleo²	3,30E+11	kg

² Los datos de las reservas de recursos no renovables se calculan a partir de los valores per cápita mundiales.

Producción del año base	5,73E+09	kg
Crecimiento anual promedio	3,26%	%
Reservas de Hierro	4,29E+11	kg
Producción del año base	4,80E+09	kg
Crecimiento anual promedio	1,12%	%

Otra variación importante que se puede realizar, está dada por la utilización de los datos toxicológicos, los que permiten cambiar, en dependencia de las normas vigentes en cada región tal y como se presenta en la tabla 3.3, donde a partir de los valores de las normas se obtienen las afectaciones potenciales, que son el resultado de invertir los valores de la norma, obteniendo así la cantidad del recurso que se requiere para diluir a niveles nominales una unidad de emisión.

Tabla 3.3: Datos de normas toxicológicas y de Afectaciones Potenciales. Fuente NC-27 1999 y EPA 2012.

	Normas Toxicológicas	UM
CMP de Benceno en agua	40	mg/l
CMP de Benceno en suelo	0,2	kg/ha
CMP de Benceno en aire	0,001	mg/m ³
CMP de DBO en agua	4	mg/l

En el epígrafe 3.3 se analizó el inventario de ciclo de vida de la producción de azúcar, en el presente apartado se hará una comparación de los resultados del análisis de impacto de ciclo de vida para empleando el método Eco-Speed modelado para tres escenarios diferentes, los cuales se explicaron anteriormente. Primeramente se evaluará la alternativa 1 por sí sola, para una visión de la variación que introducen los escenarios en la valoración de los impactos.

Los cambios introducidos en los factores de normalización y ponderación del método, son presentados de acuerdo al porcentaje de cambio con respecto al escenario promedio en el figura 3.18, donde se puede observar que las categorías de mayor cambio son: los combustibles fósiles, el calentamiento global, el uso de los minerales y el uso del suelo, luego en menor medida se encuentran el agotamiento del ozono, la acidificación y eutrofización.

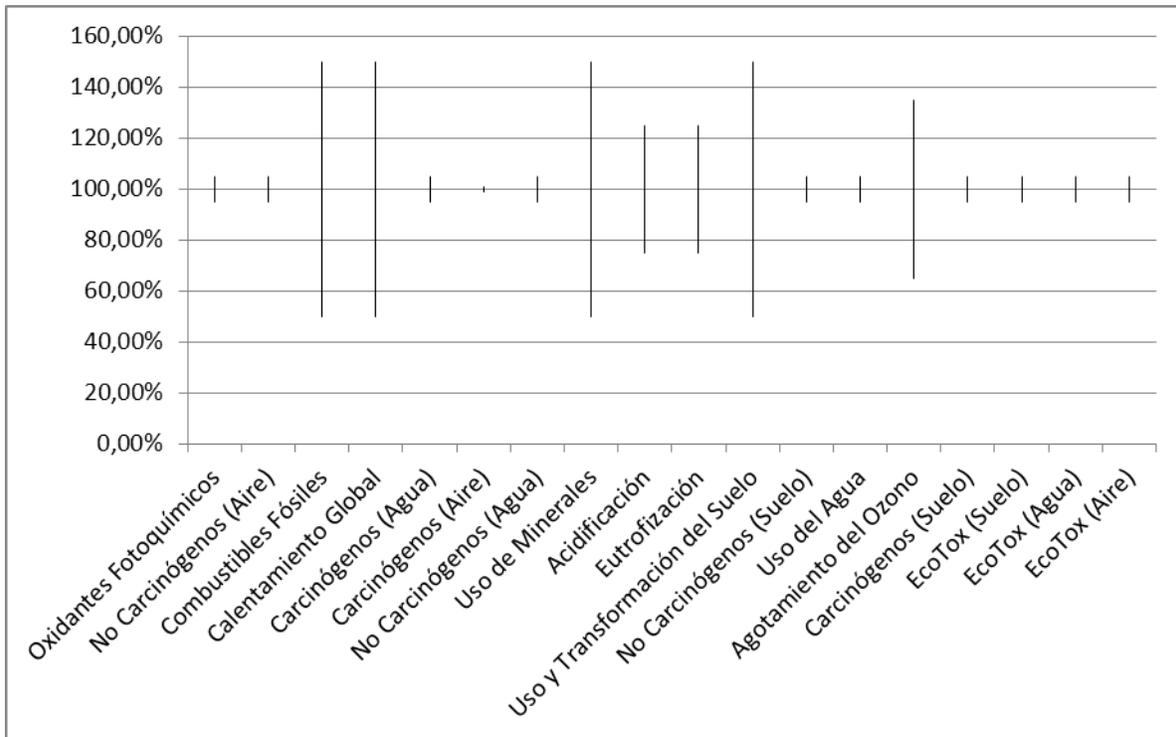


Figura 3.18: Variación de las valoraciones de las categorías de impacto para los escenarios modelados.

Los resultados de esta gráfico 3.18 se interpretan como la variación que tiene la puntuación otorgada a cada categorías, por ejemplo para el caso del calentamiento global, su valor promedio baja en el escenario consumista hasta el 50 % de su valor, mientras que en el escenario ambientalista su evaluación es 1.5 veces la del escenario promedio.

Como se puede ver en el gráfico 3.18, las categorías referentes al calentamiento global y al consumo de combustibles fósiles muestran un decrecimiento en su evaluación, mientras otras categorías como la emisión de compuestos no carcinogénicos al aire, muestran un aumento de su influencia en sus resultados. Los cambios de estos aportes se pueden observar con más claridad en el gráfico 3.19, que representa los porcentos de influencia de cada categoría.

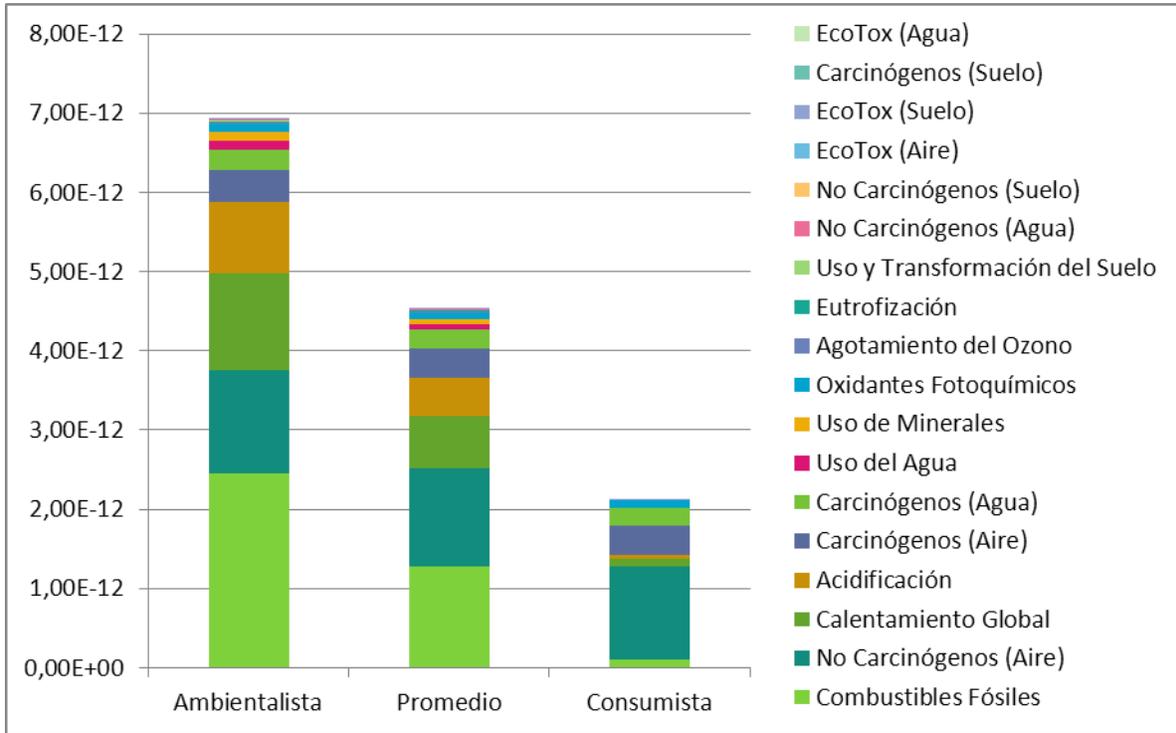


Figura 3.19: Comparación de los resultados de análisis de impacto de ciclo de vida de la producción de azúcar.

Estos cambios en las evaluaciones introducen un aumento o disminución de la importancia que se evalúa por cada categoría. El uso de los recursos reduce su importancia en el escenario consumista con respecto al escenario ambientalista, en contraposición a las categorías relacionadas con los daños a los humanos, las que aumentan su importancia relativa.

En este caso el proceso más contaminante sigue siendo el mismo a pesar de que se utilicen diferentes escenarios, ver gráfico 3.20, pero teóricamente sí se pueden obtener resultados diferentes en la comparación de procesos que introduzcan diferencias en los resultados de la comparación.

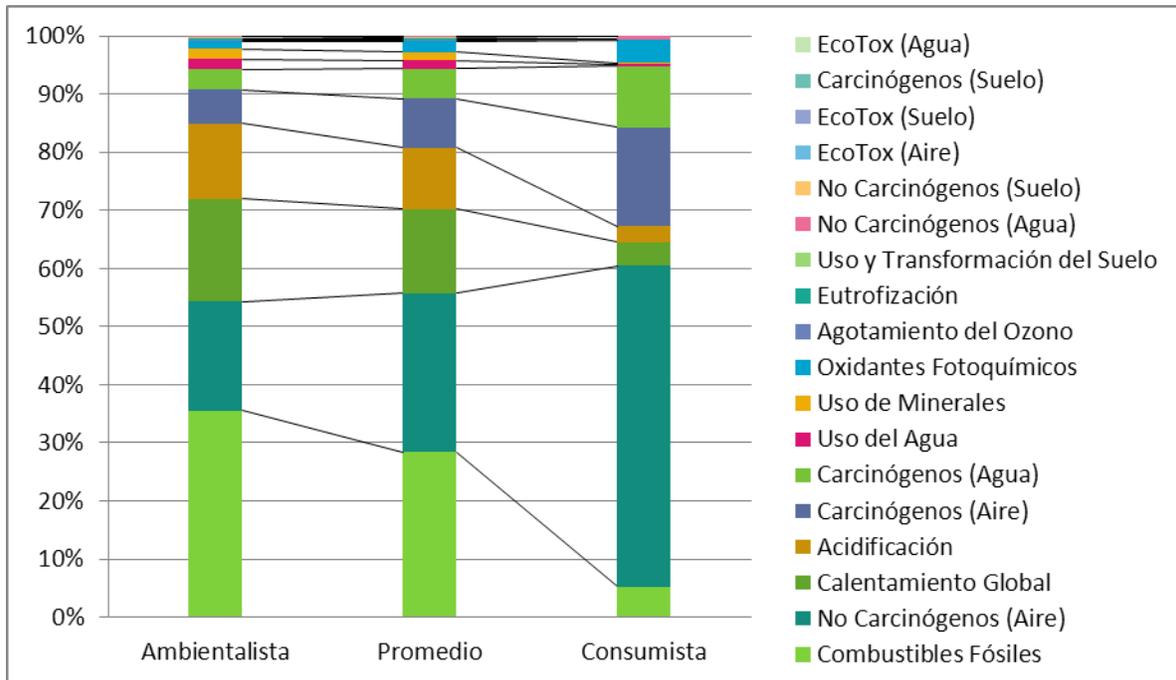


Gráfico 3.20: Porcientos de influencia en la puntuación total de cada una de las categorías en los diferentes escenarios.

Teniendo en cuenta los cambios que se ejercen a la evaluación del proceso al introducir la modelación de escenarios se procede a realizar el análisis de las alternativas de producción teniéndolas en cuenta. Primeramente, para el escenario promedio, se puede ver cómo el mayor impacto lo tiene la alternativa de producción 1, la cual representa el sistema más abierto y en contraposición la alternativa 6 logra los mejores resultados, aprovechando los residuos de cada etapa para la confección de nuevos productos.

A pesar de los cambios en las ponderaciones de los impactos de las categorías, como se puede ver en los gráficos 3.21 al 3.23, en todos los escenarios se mantiene que los procesos correspondientes a las alternativas 1 y 6 son los procesos de mayor y menor impacto respectivamente, además de que las categorías más impactantes como la emisión de oxidantes fotoquímicos y la emisión de no-carcinogénicos al aire se mantienen.

En todas los escenarios la introducción de la planta miel-urea-bagacillo aporta la mayor reducción de los impactos ya que en todos los casos son las categorías relacionadas con las emisiones al aire de oxidantes fotoquímicos y sustancias no carcinogénicas las que más aportan a los impactos de las primeras alternativas.

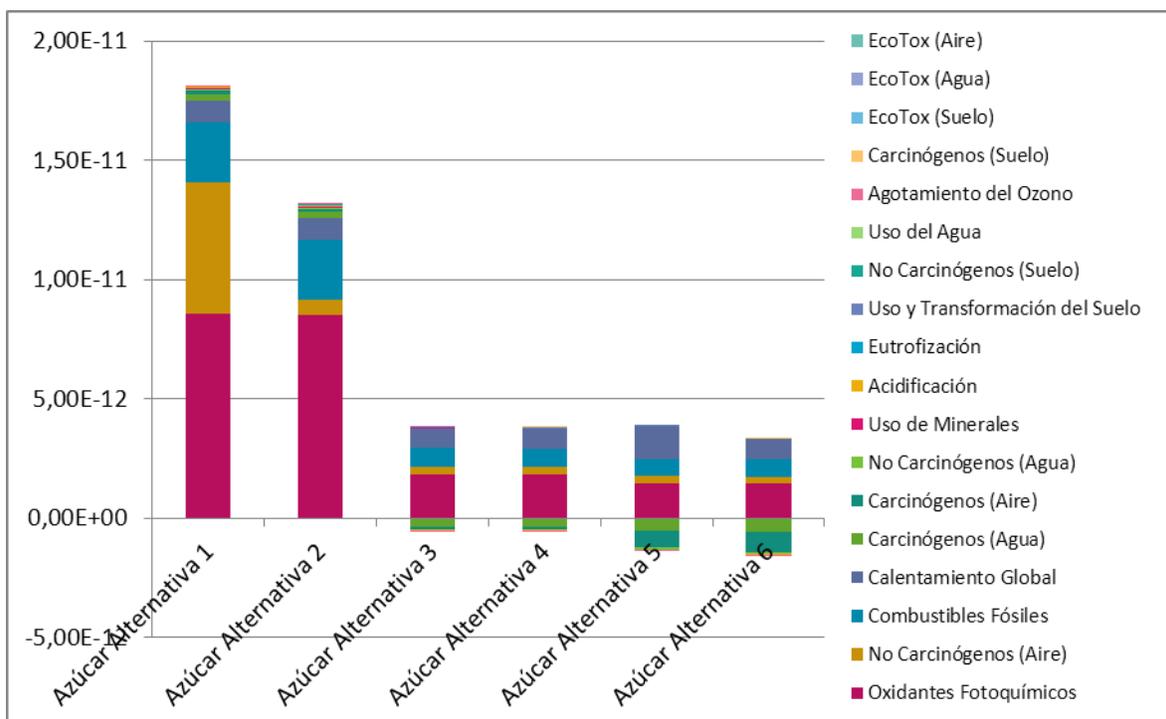


Gráfico 3.21: Porcientos de influencia en la puntuación total de cada una de las categorías en los diferentes escenarios.

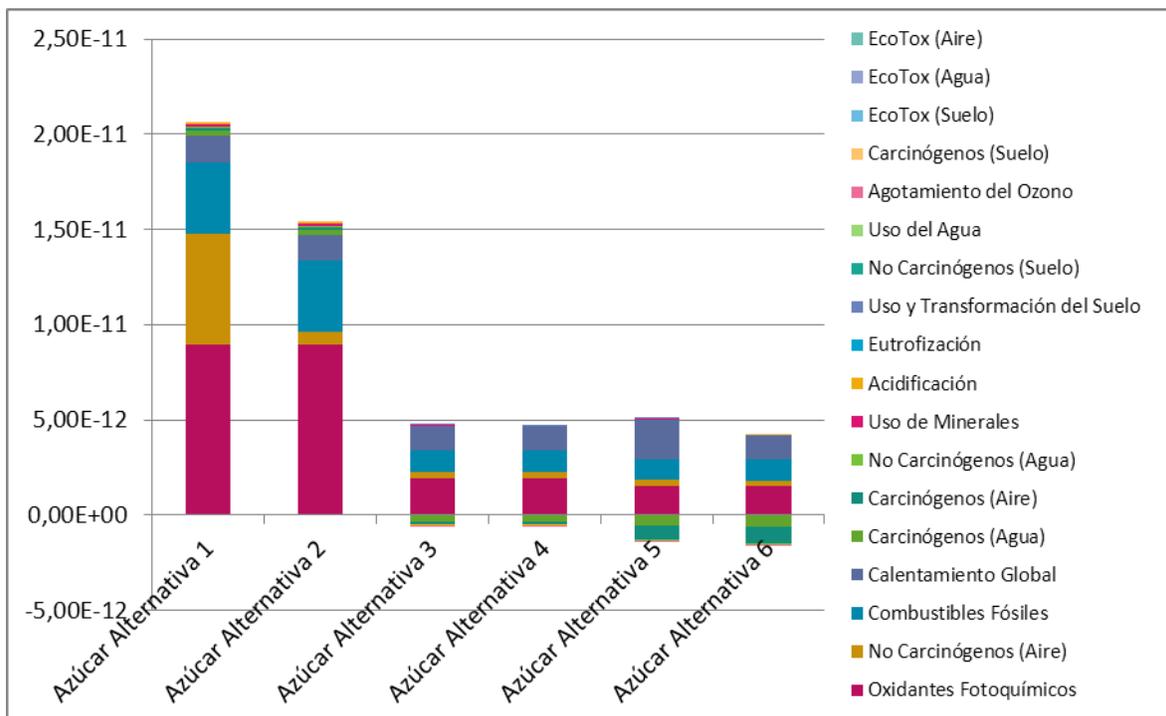


Gráfico 3.22: Porcientos de influencia en la puntuación total de cada una de las categorías en los diferentes escenarios.

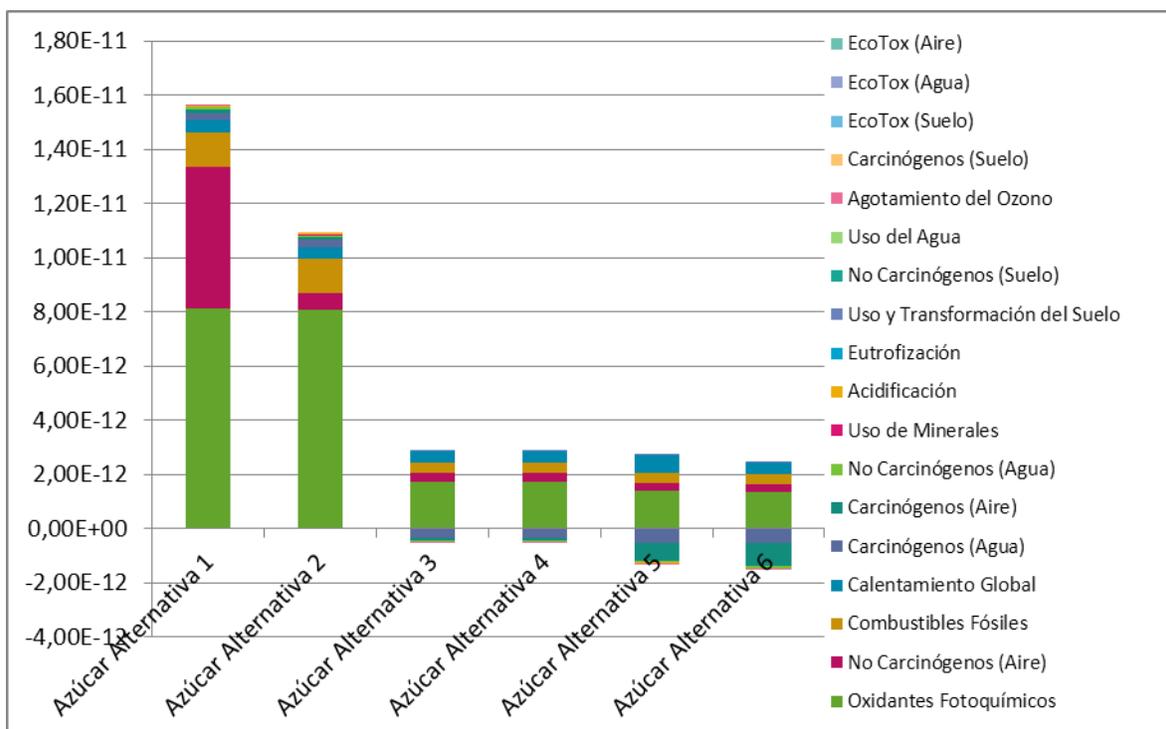


Gráfico 3.23: Porcentos de influencia en la puntuación total de cada una de las categorías en los diferentes escenarios.

Conclusiones Parciales

- Son definidos los objetivos enfocados hacia evaluar y cuantificar los impactos ambientales del ciclo de vida de la producción de azúcar y sus derivados, y valorar variantes ambientales que minimicen estos impactos; y el alcance se determina según el uso final del producto, los límites geográficos temporales, las etapas que son excluidas por no contar con información suficiente, y la calidad de los datos.
- Una descripción cualitativa y cuantitativamente de cada una de las fases del ciclo de vida del etanol: cultivo de la caña, producción de azúcar, digestión anaeróbica y elaboración de alcohol de caña, permite que sean representados los diagramas de cada proceso definiendo en estos los límites del sistema; y por último conformar el inventario para la producción de 1t de azúcar.
- Se evalúa el impacto provocado concluyendo que en el proceso productivo las categorías de impacto más afectadas son la emisión de compuestos oxidantes fotoquímicos y no-carcinogénicos y el uso de energías no renovables.
- La variante de producción descrita por la alternativa seis tiene los resultados de menor impacto al medio ambiente, evitando las cargas ambientales producidas al obtener otros productos complementarios como el bio-gas, etanol, CO₂ y alimento animal.

Conclusiones

Conclusiones

1. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental capaz de valorar la sustentabilidad de la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar y sus posibles análisis de mejoras.
2. Se determinan el objetivo y alcance del estudio así como su análisis de inventario de los procesos de cultivo de la caña, producción de melaza y elaboración de alcohol, y se construyen los diagramas de proceso para seis variantes de producción de azúcar y derivados.
3. Una comparación de las alternativas de producción realizada a través del software SimaPro 7.1 utilizando la metodología Eco-Speed, demostró que la alternativa 6 es la de menor impacto al medio ambiente.
4. El análisis del ciclo de vida mostró que las categorías de impacto más afectadas son: la emisión de sustancias no carcinogénicas (bagacillo) y oxidantes fotoquímicos, además del uso de energías no-renovables, lo que implica que la categoría de daño más afectada sea la salud humana.
5. Como variante de mejora ambiental se propone la utilización en la etapa agrícola del riego por goteo, ya que ayuda a reducir las emisiones de sustancias causantes del calentamiento global y oxidantes fotoquímicos, por el consecuente ahorro de combustibles fósiles que propone.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Discutir el trabajo con la Dirección del MINAZ, el Ministerio de Planificación y Economía, y el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente a fin de que se evalúe más detenidamente la posibilidad de la implementación del Riego por Goteo en las empresas azucareras.
2. Implantar una planta de miel urea bagacillo en cada Empresa Azucarera de la Provincia y así se eliminaría en un 40 % el bagacillo contaminante que circula y afecta a los obreros dentro del central.
3. Realizar una valoración ambiental y económica de las alternativas de producción analizadas, al igual que las de otras alternativas posibles, ya que ayudarán a lograr un desarrollo sostenible de estas producciones.
4. Mostrar los resultados obtenidos en esta investigación a fin de poder aplicarlos en el resto de las empresas azucareras existentes en el país.

Bibliografía

Bibliografía

- AENE.Consultoría Ambiental. (1998). Guía para la ecoeficiencia. Fundación fórum ambiental.
- Álvarez, M. de los A. A. (2007). *Planificación, Control y Mejora del Proceso de Calibración/Verificación de los instrumentos de medición*. CUJAE, La Habana.
- Andræ, A. S. G., Möller, P., Anderson, J., &Liu, J. (2004). *Uncertainty Estimation by Monte Carlo Simulation Applied to Life Cycle Inventory of Cordless Phones and Microscale Metallization Processes*.*IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* (Vols. 1-27, Vol. 4).
- Baker, J. W., & Cornell, C. .(2003). *Uncertainty Specification and Propagation for Loss Estimation Using FOSM Methods*. Berkeley, California.
- Baker, J. W., &Lepech, M. D. (2009).*Treatment of Uncertainties in Life Cycle Assessment*.Stanford University,Stanford,USA.
- Bartlett, A. A. (1999). *Reflexiones sobre sostenibilidad, crecimiento de la población y medio ambiente en Focus* (Vols. 1-9, Vol. 1).
- Bennett, L., &Derrough, M. (1996). *Electricidad, salud y medio ambiente: Selección de opciones sostenibles* (INFORME ESPECIAL) (pp. 28–35). BOLETÍN DEL OIEA.
- Bermúdez, F. G. (2011). *Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos* (Trabajo de Diploma,Ingeniería Industrial). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos,Cuba.
- Borrero, A., &Monteagudo, F. (2006). *Gestión y economía energética* (Editorial universidad de Cienfuegos.).
- Brundtland Report: Our common future | Sustainable Cities. (n.d.). Retrieved March 30, 2012, from <http://sustainablecities.dk/en/actions/a-paradigm-in-progress/brundtland-report-our-common-future>

- Bueno González, E. (2001). CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL CENEAM. Retrieved from www.mma.es/ceneam [Nuestra huella ecológica / Ester-CENEAM/int.ceneam@oapn.mma.es](mailto:CENEAM@oapn.mma.es)
- Carballo Penela, A. (2009). *La huella ecológica de bienes y servicios: desarrollo de un método decálculo y aplicación al ciclo de vida del mejillón en conserva en Galicia* (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Cardim Filho, A. de C. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento* (Doctorado en Ingeniería Civil). Universidad Politécnica De Cataluña, Barcelona, España. Retrieved from <http://www.icce.es/icce/articulo29.htm>.
- Ciroth, A. (2007). New LCA Software. ICT for Environment in Life Cycle Applications openLCA – A new open source software for Life Cycle Assessment. *Int J LCA* 12 (4), 209–210.
- Ciroth, A., & Srocka, M. (2008). Uncertainties in LCA. *Int J LCA* 13, 3, 265–277.
- Colectivo de Autores. (2000). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario. NC-ISO 14 041: 2000.*
- Colectivo de Autores. (2001a). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario. NC-ISO 14 049: 2001.*
- Colectivo de Autores. (2001b). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. NC-ISO 14 042: 2001.*
- Colectivo de Autores. (2001c). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura. NC ISO 14040: 1999.*
- Colectivo de Autores. (2004). *NC ISO 14001:2004 “Sistema de Gestión Ambiental.”*
- Colectivo de Autores. (n.d.). *GUÍA AMBIENTAL PARA TERMOELÉCTRICAS Y PROCESOS DE COGENERACIÓN PARTE AIRE Y RUIDO.*

- Conesa, V., & Fernández, V. (2005). Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA). Retrieved April 29, 2012, from [http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20\(nuevo%202003-04\).pdf](http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20(nuevo%202003-04).pdf)
- Cordero Hernández, A., & Pérez Noa, C. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos* (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Chambers, N., & Lewis, K. (2001). *Ecological Footprint Análisis: Towards a Sustainability Indicador for Business* (ACCA No. 65). Oxford, UK.: University of Oxford. Retrieved from http://www.accaglobal.com/pubs/publicinterest/activities/research/research_archive/23906.pdf
- Chapagain, A. ., & Hoekstra, A. .(2004). *Water footprints of nations*. No.16 (Vol. Volume 1: Main Report, Value of Water Research). UNESCO-IHE.
- Delgado, F., Rist, S., & Escobar, C. (2010). *El Desarrollo Endógeno Sustentable como interfaz para implementar el Vivir Bien en la gestión pública boliviana* (AGRUCO-CAPTURED/ PLURAL.).
- Dobón, A. (2009). *Herramientas Informáticas para el ecodiseño*. Instituto Tecnológico del Embalaje Transporte y Logística ITENE.
- Doménech, J.L. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible* (AENOR Ediciones.). Madrid, España.
- Doménech, Juan Luis, Carballo Penela, A., & García Negro, M. (2009). El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella corporativa del carbono (HCC). *DELOS2*, 1/9.
- Doménech Quesada, J. L. (n.d.). *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*. Argentina. Retrieved from jdomenech@puertoqijon.es

- Dones, R., Heck, T., Emmenegger, M. , & Jungbluth, N. (2005). *Life Cycle Inventories for the Nuclear and Natural Gas Energy Systems, and Examples of Uncertainty Analysis*.
- Dueñas, L., García, H., & Espinoza, J. (2004). *Caracterización de un Sistema de Gestión de Información Científico Tecnológica con enfoque a procesos: garantía para la mejora continua. Estudio de caso*.
- Ferret, R., Mendoza, G., & Castilla, M. (2004). *The Influence of Agricultural Data Uncertainty in the Life Cycle Assessment of Biodegradable Hydraulic Lubricants.* , (Vol. 6). SPAIN.
- Finnveden, G. (2008). A world with CO2 caps. Electricity production in consequential assessments. *Int J LifeCycleAssess* 13, 365–367.
- GFN. (2010). *The 2010 National Footprint Accounts. Red de la Huella Global*. San Francisco, EE.UU. Retrieved from www.footprintnetwork.org
- Gil Martínez, D. (2010). *Aplicación de un procedimiento para la mejora del Proceso de Gestión de Seguridad y Salud del Trabajo en la Sucursal Servisa Cienfuegos*. (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Gobierno Vasco. (2003). *Medio Ambiente en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Retrieved April 4, 2012, from www.ingurumena.net
- González Glez, A., I.G., & C.L. (2006). *Enfoque para el diseño del Sistema de Gestión Integrado*. Cuba: ISPJAE-Facultad de Ingeniería Industrial.
- Gorrée, M., Huppés, G., Kleijn René, D. K., Arjan, V. O., Sleeswijk, L., Wegener, A., Suh, S., et al. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. (B. GinnéeJeroen, Ed.). Netherlands, Amsterdam: Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2007). A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia (Spain). *Int J LCA* 13 (1), 57–64.
- Humberto Gutiérrez Pulido, & Román de la Vara Salazar. (2007). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (Vols. 1-2, Vol. 2). Félix Varela.
- IEA. (2011). Key World Energy Statistics 2011. Retrieved April 23, 2012, from http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf
- Irene Franco. (2012). Metrología - Monografias.com. Retrieved February 1, 2012, from <http://www.monografias.com/trabajos53/metrologia-y-calidad/metrologia-y-calidad.shtml>
- Jolliet, O., Margni, M., & Colectivo de Autores. (2003). *A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*.
- Labelle, L. (2002). Definición del concepto de Desarrollo Sostenible. *Portada RDS-HN, Desarrollo Sostenible*. Retrieved April 2, 2012, from <http://rds.hn/index.php?documento=603>
- Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos medio ambiente y desarrollo*. Santiago de Chile.
- Lenzen, M., & Murray, S. (2001). A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* (pp. 229–255).
- Ley No. 81 del Medio Ambiente*. (n.d.).
- Livert Aquino, F. (2011). Ecoeficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en Asia y América Latina. *Estudio de mecanismos de financiamiento de la infraestructura urbana utilizando criterios de ecoeficiencia*.

- López, C., Fernández, P. ., Manso, A., Wallo, R. ., Guevara, A. ., León, A., García, M. ., et al. (2009). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. República de Cuba* (p. 320). La Habana: Instituto de Meteorología.
- Martin. (2008). Revista ECOCIENCIA & NATURALEZA. *La Gestión Ambiental. Herramientas para el Desarrollo Sustentable*, 6, 8.
- Martinez, E. (2008). Revista trimestral Latino Americana y Caribeña de Desarrollo Sostenible. Retrieved from http://www.revistafuturos.info/futuros_3/gestion_amb.htm
- Medición - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved January 10, 2012, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n>
- Ministerio del Poder Popular para el Comercio. (2012, Venezuela). Tipos de Metrología | SENCAMER. Retrieved February 1, 2012, from <http://www.sencamer.gob.ve/node/29>
- Monteagudo, K. (2007). A todo fuel. *Revista Bohemia, Habana, Cuba*, 30–32.
- Murray, J., & Dey, M. (2007). *Assessing the Impacts of a Loaf of Bread*. Sydney, Australia.
- Naciones Unidas. (2002). Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible.
- Naciones Unidas. (2005, October 24). Documento Final de la Cumbre Mundial 2005.
- NC-ISO 14 042. (2001). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida*.
- OCDE. (1998). *Eco-efficiency*. Paris.
- Oficina Nacional de Estadísticas(ONE) (Ed.). (2010). *Anuario Estadístico de Cuba 2009*. Habana, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (1999). *VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LAS AGUAS TERRESTRES Y AL ALCANTARILLADO. ESPECIFICACIONES. NC 27: 1999*.

- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2010). *Calidad del Aire-Emissiones máximas Admisibles de Contaminantes a la Atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de Electricidad y de Vapor. NC TS 803:2010.*
- Oficina Nacional de Normalización, CUBA. (2009). Retrieved January 11, 2012, from <http://www.nc.cubaindustria.cu/metrologia.html>
- OLADE.(2010). Informe Estadístico Energético. Retrieved April 24, 2012, from www.olade.org/informe.html
- Peña, C. (2008). Life Cycle Assessment (LCA): a Methodological Tool for Industrial Sustainability. Presented at the 8th International Conference Clean .Technologies for the World Mining Industry, Santiago, Chile.
- Peña, M. D. (2009). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA* (Trabajo de Diploma, Ingeniería Industrial). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Peralta, F. R. G. de. (2011). *Evaluación del Impacto ambiental del proyecto de vivienda Biplanta Tradicional de la empresa IDEAR* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Perdomo, N. C. (2011). Producciones más Limpias. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Pérez Rave, J. ., J.A Ruíz C., & C. M. Parra M. (2007). Uso del enfoque por procesos en la actividad investigativa. *Revista chilena de Ingeniería*, 15, 260–269.
- Primack, R. et. al. (2001). Fundamentos de Conservación Biológica, Perspectivas Latinoamericanas.
- Quintero, G., Robledo, J.,& Cruz, C. (2008). *LOS NUEVOS CONCEPTOS SOBRE “AGUA VIRTUAL” Y “HUELLA HÍDRICA” APLICADOS AL DESARROLLO SOSTENIBLE: IMPLICACIONES DE LA AGRICULTURA EN EL CONSUMO HÍDRICO*”. *agron.* 16(1) (pp. 7–26).
- Quispe Álvares, J. (2002). *Desarrollo sostenible, caracterización y análisis crítico.*

- Remmen, A., Jensen, A. A., & Frydendal, J. (2007). *Life Cycle Management. A Business Guide to Sustainability*. Unep-Setac Life Cycle Initiative.
- Reyes, G. (2008). Comercio y desarrollo: bases conceptuales y enfoque para América Latina y el Caribe. Zona Económica. Retrieved April 2, 2012, from <http://www.zonaeconomica.com/concepto-desarrollo>
- Rieradevall i Pons, J. (2009). El Análisis del Ciclo de Vida. Retrieved from joan.rieradevall@uab.es
- Rodríguez, M., & Espinoza, G. (2002). *Gestión ambiental en América Latina y el Caribe Evolución, tendencias y principales prácticas*. Retrieved from <http://www.iadb.org/sds/doc/Capitulo2.pdf>.
- Rodríguez, R. (2008). *Huella hidrológica de la agricultura española*. (Tesis presentada en opción al título de Máster). Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez, R. M. L. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Romero Rodríguez, B. I. (2004). *Tendencias Tecnológicas*.
- Ruiz, E. M., Carbonell, L. T., García, D. A., Ortega, E. P., Rodríguez, Y. F., García, J. M. B., Ranquin, I. C., et al. (2011, December 20). Estimación de emisiones de los gases de efecto invernadero en instalaciones energéticas seleccionadas. Editorial Cubaenergía.
- Sampieri, R. H. (2007). *Metodología de la Investigación* (Vols. 1-2, Vol. 1). La Habana: Félix Varela.
- Sánchez, G. (n.d.). Usos del gas natural. Retrieved from [/www.slideshare.net/energia/usos-del-gas-natural](http://www.slideshare.net/energia/usos-del-gas-natural)

- Serrano, D., & Dufour, J. (2008). El Análisis del Ciclo de Vida de la Energía 1ra Parte. *Energía y Sostenibilidad*. Retrieved April 30, 2012, from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/05/22/92559>.
- Simmons, C., & Chambers, N. (1998). Footprinting UK Households: ¿how big is your ecological garden? *Local Environment*, 3, 355–362.
- Singhal, I. (2002). *La perspectiva del Desarrollo Sostenible en el Nuevo Contexto global*. La Paz, Bolivia: Cebem-CESO-SACO.
- Sobre el gas natural metano. (n.d.). Retrieved April 22, 2012, from <http://www.buenastareas.com/ensayos/Todo-Sobre-Gas-Met%C3%A1no-Gas-Natural/296432.html>
- Sonnemann, G. W., Castells, F., & Schuhmacher, M. (2003). *Integrated life cycle and risk assessment for industrial processes*. Lewis Publishers.
- Sonnemann, G. W., Solgaard, A., Saur, K., Udo de Haes, H., Christiansen, K., & Jensen, A. A. (2001). Life Cycle Management: Unep-Workshop. Sharing Experiences on LCM. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 325–333.
- Sterling, A. Y. (2002). El desarrollo sostenible, principio y objetivo común de la sociedad y el mercado, en la UE de nuestros días - Dialnet. Retrieved March 30, 2012, from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1176434>
- Stern, N. (2006). Stern review on the economics of climate change. Stern Review on the Economics of Climate Change, UK Treasury. Retrieved from <http://apo.org.au/?q=node/4420>
- Suárez Olivera, P. V. (2008). *Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González*. (Tesis de Diploma). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Suárez Rodríguez, J. A., Beaton Soler, P. A., & Faxas Escalona, R. (2011). ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LA ENERGÍA FÓSIL EN CUBA. *Tecnología Química*, 88–94.

- Suppen, N. (2007). *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. México:Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable.
Retrieved from www.lcamexico.com.
- Suppen, N., & Hoof, B. van.(2005). *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. Bosques del Lago, Cuautitlan Izcalli, Edo. de México.
Retrieved from www.lcamexico.com
- Travieso, D., & Cala, R. (2007). TRABAJOS TEORICOEXPERIMENTALES.Perspectivas de la generación de electricidad en Cuba a partir de la gasificación de biomasa. *energética Vol. XXVIII, 3, 15–18*.
- UNESCO. (2001). Declaración universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural.
- Unión de Petróleos de México. (1996). COMPONENTES Y FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL. Retrieved from http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.htm#2.1.
- Vargas, J. R. C. (2008). HISTORIA AMPLIADA Y COMENTADA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV). *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 72, 37–70*.
- Villa Glez del Pino, E. M., & Pons Murguía, R. Á. (2006). *Gestión por Procesos.Monografía*.
- Wackernagel, M., & Rees, W. Y. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Philadelphia, USA: New Society Publishers.
- WARK, K. (1990). *Contaminación del aire: Origen y Control (2ª ed.)*. México: Edit. Limusa.
- WBCSD. (1992). Declaración de Río. *Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo ONU*. Presented at the Segunda “Cumbre de la Tierra,” Río de Janeiro.
- Wiedmann, T. (2009).Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction.*Economic Systems Research, 21, 175–186*.

Wiedmann, T., & Lenzen, M. (2009). Unravelling the impacts of supply chains. A new Triple-Bottom-Line Accounting Approach (pp. 65–90). Netherlands, Amsterdam: En Schaltegger, S.; Bennett, M.; Burrit, R.; Jasch, C. Environmental Management Accounting for Cleaner Production, Springer.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008a). A Definition of Carbon Footprint. *Ecological Economic Research Trends* (Petsovam, C.C., Vol. Chapter 1, pp. 55–65). New Science Publishers.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008b). Ecological Economic Research Trends. *A Definition of Carbon Footprint* (Petsovam, C.C. (ed.), Vols. 1-Chapter 1, pp. 55–65). New Science Publishers.

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

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

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

Anexos

Anexo 1: Conceptos de Análisis de Ciclo de Vida.

Autores	Conceptos
(Sánchez 2007)	El Análisis de Ciclo de Vida es un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales.
(Cardim 2001).	El Análisis de Ciclo de Vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema – entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproducto, emisiones al aire, agua y suelo) – para posteriormente evaluar los impactos potenciales que estos causan al medio ambiente. Sus resultados entre otras funciones sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos.
(Iglesias 2005)	Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.
(Panichelli 2007)	El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales de un producto a través de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final.
(NC-ISO14040, 1999)	El Análisis del Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.
(Chacón, 2008)	El Análisis del Ciclo de Vida, en teoría, es un método analítico que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.
(Rieradevall, 2009)	El Análisis de Ciclo de Vida es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

Anexo 2: Cronología del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida.

Fuente: (Monzón González, 2008)

Año	Acontecimiento
1969	Harry E. Teasley, de Coca Cola, visualiza un estudio que pueda cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del ciclo de vida completo del empaque, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. (Hunt y Franklin, 1996).
1970	El <i>Midwest Research Institute</i> (MRI) desarrolla un estudio ancestro de los Análisis del Ciclo de Vida, el que se llama " <i>Resources and Environmental Profile Analysis (REPA)</i> ", donde se analizan diferentes embases, para <i>Coca Cola Company</i> (Hunt y Franklin, 1996).
1971	El segundo REPA realizado por MRI es para <i>Mobil Chemical Company</i> , se analizan las charolas de espuma de poliestireno y las charolas de pulpa de papel (Hunt y Franklin, 1996).
1972-1976	Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA (Franklin y Hunt, 1972; Hunt y Franklin, 1973; Hunt y Welch, 1974; Cross et al., 1974 y Hunt y Franklin, 1976).
1974	La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte " <i>Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternatives</i> ", que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público (Hunt y Franklin, 1974).
1975	El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares (Bider, et al., 1980)
1979	En Reino Unido, Ian Boustead publica el " <i>Handbook of Industrial Energy Analysis</i> " (Astrup, et al., 1997).
1980	Se publica un reporte por el <i>Solar Energy Research Institute</i> en los Estados Unidos (Bider, et al., 1980)
1984	El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publica un estudio de materiales de envase y embalaje que introduce un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado "método de los volúmenes críticos" (Druiff, 1984).

Anexo 3: Metodologías de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida Existentes.

Metodología de AICV	Eco-indicador 99	EDIP97	EDIP2003	EPS 2000d	CML	IMPACT 2002(+)	LIME	ECOSCARCIT Y	JEPIX	TRACI
Descripción corta	Análisis de Daños, Incluyendo Normalización y Ponderación	Método de Punto medio con Normalización	Método de Punto medio con Normalización	Indicadores de Categoría a nivel de Daños más ponderación	Método de Punto medio con Normalización	Método de Punto medio con Normalización	Método con evaluación de punto medio, Evaluación de daños y ponderación	Método de ponderación basado en los objetivos de las políticas ambientales suizas	Método de ponderación basado en los objetivos de las políticas ambientales. Con factores regionalizados para Japón	Método de Punto medio con Normalización
Sitio WEB	www.pre.nl/eco-indicator99/	http://ipt.dtu.dk/~mic/Projects.htm#EDIP97	http://ipt.dtu.dk/~mic/Projects.htm#EDIP2003	http://eps.esa.chalmers.se/	http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html	http://www.epfl.ch/impact	http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm	http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/fachgebiete/fg_produkte/umsetzung/oekebilanzen/index.html	www.jepix.org	http://epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/iam_traci.htm
Referencia	Goedkoop et al.(1999), actualizado en abril de 2000.	Wenzel et al. (1997), Hauschild and Wenzel (1998)	Hauschild and Potting (2004), Potting and Hauschild (2004)	Steen (1999) and Steen(1999)	Guinée, J.B, M. Gorrée, R. Heijungs, G. 2002.	Jolliet et al.(2003)	METI, NEDO, AIST (2003) written in Japanese Itsubo (2003)	Brand G., Braunschweig A., Scheidegger A., Schwank O.	Miyazaki, N., Siegenthaler, C., Kumagai, S., Shinozuka, E., Nagayama, A. (2003)., Miyazaki, N., Siegenthaler, C., Schoenbaum, T., Azuma, K. (2004)	Bare J.C. et al.(2003)
Contacto Principal	Mark Goedkoop email: goedkoop@pre.nl	Michael Hauschild email: mic@ipl.dtu.dk	Michael Hauschild email: mic@ipl.dtu.dk	Bengt Steen email: Bengt.steen@esa.chalmers.se	Jeroen Guinée email: Guinee@cml.leidenuniv.nl	Olivier Jolliet email: olivier.jolliet@epfl.ch	Norihiro Itsubo email: itsubon@aist.go.jp	Arthur Braunschweig email: abraunschweig@e2mc.com	Claude Siegenthaler email: claud@i.hosei.ac.jp	Jane Bare email: Bare.jane@epa.mail.epa.gov

Comentarios	Se han publicado tres versiones: Jerárquica, Individualista e Igualitaria. (La que se describe es la jerárquica que es la más usada y la más abarcadora)	Tiene actualizaciones disponibles en la página principal del método, donde se pueden descargar factores de caracterización acordes a diferentes regiones para las categorías regionales más comunes	Para las categorías de impacto regionales tiene calculados los factores de caracterización acordes a Europa	Factores y descripción descargables del sitio	Factores y Actualizaciones descargables del sitio	Factores y Actualizaciones descargables del sitio	Todas las categorías pueden ser descargadas desde el sitio, las mismas están basadas en las condiciones japonesas para las categorías regionales.	Existe una actualización en 2004 para los valores suizos. Los Eco-puntos suizos están basados en las condiciones ambientales y en la política y metas de ese país para el medio ambiente.	Los reportes técnicos y los factores de ponderación así como los datos de partida utilizados para los cálculos están disponibles en el sitio.	Factores y Actualizaciones descargables del sitio
Cambio Climático	(38)	(76 + Factores para los orgánicos)	(76 + Factores para los orgánicos)		(42)	(38)	(76)	(27)	(42)	(24)
	(DALYs/kg emitido)	kg CO2-eq./kg emitido	kg CO2-eq./kg emitido		kg CO2-eq./kg emitido	kg CO2 equivalentes	M: kg CO2eq./kg emitido, D: DALYs/kg emitido, JY/kg emitido	CO2-eq / kg emitido	CO2-eq / kg emitido	CO2-e / kg emitido
	M&D	M	M		M	M	M&D			M
	El modelos de daños está basado en CO2, CH4 and N2, representados como sustancias de referencia en un tiempo de 20, 100 y 500 años utilizando los valores de equivalencia para extender el rango de sustancias.	GWP 100 por defecto, GWP 20 y GWP 500 como opcionales. Incluye factores para varias sustancias orgánicas de origen petroquímico.	GWP 100 por defecto, GWP 20 y GWP 500 como opcionales. Incluye factores para varias sustancias orgánicas de origen petroquímico.		GWP 100 por defecto, GWP 20 y GWP 500 como opcionales.	GWP 100 por defecto, GWP 20 y GWP 500 como opcionales en categorías separadas.	M: GWP 100 por defecto, GWP20 y GWP500 como opcionales para los valores dados por IPCC 2001. D: El modelo de daños relaciona los aspectos de la salud humana y cuestiones sociales	Se utiliza el GWP 100 por defecto. El índice para el calentamiento global está basado en un horizonte de 100 años, deduce factores de GWP adicionales para algunas sustancias utilizando como base el CFC-11	Los factores de ponderación están basados en un método de "distancia hasta un objetivo" utilizando un escenario de 450 a 550 ppm (Tercer reporte de IPCC, 2001).	Se utiliza el GWP 100 por defecto. Basados en los reportes de IPCC.
Agot	(23)	(19)	(19)		(22)	(22)	(*)	(26)	(35)	(89)

amie nto del Ozon o	(DALYs/kg emitido)	kg CFC-11- eq./kg emitido	kg CFC-11- eq./kg emitido		kg CFC-11- eq./kg emitido	kg CFC-11 equ al aire	M: kg CFC- 11eq./kg emitido, D: DALYs/kg emitido, JY/kg emitido	CFC-11-eq / kg emisión	CFC-11-eq / kg emitido	CFC-11-e / kg emitido
	M&D	M	M		M	M&D				M
	El modelo de daños para los CFCs y los potenciales de agotamiento del ozono son extrapolados de otras sustancias.	Los potenciales de agotamiento del ozono son infinitos, se utilizan horizontes de tiempo de hasta 50 años como alternativas	Los ODP son infinitos, se utilizan horizontes de tiempo de hasta 50 años como alternativas		Los ODP son infinitos, se utilizan horizontes de tiempo de hasta 50 años como alternativas	Los ODP son infinitos, se utilizan horizontes de tiempo de hasta 50 años como alternativas	M: se utilizan los ODP listados en el protocolo de Montreal D: El modelos de daños relaciona problemas relacionados a la salud humana y otros de corte social y productivo		Los factores de ponderación están basados en un método de "Distancia al objetivo" donde se usa como referencia las emisiones anuales de Japón que son requeridas para cumplir con la eliminación de los CFCs según el protocolo de Montreal.	Los ODP son infinitos, se utilizan horizontes de tiempo de hasta 50 años como alternativas
Toxi cida d Hum ana	(55) & (6)	(181)	(181)		(859)	(781)	(81)	(33)	(1057)	(386)
	(DALYs/kg emitido)	m3 air/g emitido al aire, agua o suelo; m3 agua/g emitido al aire, agua o suelo; m3 suelo/g emitido al aire, agua o suelo	personas		kg 1,4-DCB-eq. emitido al aire/kg emitido	kg cloroetileno al aire; kg PM2.5 eq al aire	M: kg Benceno eq. emitido al aire/kg emitido, D: DALYs/kg emitido	g	kg 1,4-DCB-eq. emitido al aire, agua dulce, agua marina, suelo agrícola, suelo industrial, ponderación EIP/kg emitido	Benceno-eq/kg emitido (Cáncer), tolueno-eq/kg emitido (No Cáncer), DALYs/tonelad as emitidas (Criterio)
	M&D	M	M		M	M&D	M&D			M&D
	La Exposición y destino son calculados con EUSES, usando los parámetros para Europa. Para los metales se	Destino parcial incluyendo transferencias entre compartimentos , oxidación fotoquímica, biodegradación exposición	Factores de exposición dependientes de la región par a las emisiones al aire. Los factores de caracterización para la		Modelación integrada de destinos y medios, exposición y efectos basada en el modelo USES-LCA de Huijbregts.	Destino y exposición descritos como fracción ingerida (incluyendo lluvia intermitente. Los factores de	M: fracción ingerida por el pueblo japonés, dividida para obtener la ingestión diaria. El destino y la exposición están basados	Existen varias categorías relacionadas y no una sobre Toxicidad en Humanos. Se utilizan las emisiones máximas de	Factores de ponderación basados en 1,4- DCB-eq. Con el método de "distancia al objetivo" usando las emisiones	Modelado de la exposición, destino y efectos a través de un modelo multimedia basado en el modelo CalTOX para los

	hicieron algunas correcciones en el compartimento aire. Además se realizan correcciones simples en la densidad de población y diferentes sustancias con larga y corta vida. Los efectos están basados en los datos epidemiológicos y estudios reunidos por Hofstetter; los daños están basados en el método de DALY (sin ponderación por edades), usando el método de Murray et al. (1998).	humana. Efectos basados en la dosis de referencia para los humanos. Categorías separadas para la exposición humana a través del aire, suelo, agua y agua subterránea. Actualmente se trabaja con los impactos ambientales de los químicos y la exposición al ruido y trabajo repetitivo.	exposición humana están representados por diferentes vías.		Utilizando escalas y horizontes de tiempo determinados para valores continentales y globales.	efecto se basan en las dosis 10 %. Los factores de daños incluyen los efectos en el sistema respiratorio.	en un modelo multimedia con parámetros geográficos de Japón Efectos calculados con los datos epidemiológicos y unidades de riesgo respiratorio y de cáncer. Se excluye el ambiente de trabajo pero se encuentran en desarrollo los análisis de impactos en interiores.	metales pesados, pesticidas, partículas y otros contaminantes incluidos en los límites legales de concentración o emisión anual al aire, agua y suelo.	anuales Japonesas de dioxinas. Así como las regulaciones legales de emisiones de dioxinas correspondientes.	potenciales de toxicidad humana de los carcinógenos y no carcinógenos, utilizando el benceno y el tolueno como sustancias de referencias para los dos grupos de químicos respectivamente.
Radiación Ioniz	(25)	-	-		(49)	(25)	-	(2)	-	-
	(DALYs/kg emitido)				yr.kBq ⁻¹ ; Sv.m ³ .Bq ⁻¹ .yr ⁻¹	Bqeq carbon-14 inal aire		volumen		
					D	M&D				

ante	La exposición efecto, daños y destino están basados en Frischknecht et al., 1999, en dónde se utilizan los modelos de Dreicer et al 1995. Los daños incluyen estimaciones de los efectos hereditarios.				Los factores de daños y la línea base desarrollados por Frischknecht et al., 2000; y los factores de selección de Solberg-Johansen, 1998, como alternativas	Igual a Ecoindicator 99		Volumen de desechos radioactivos (como potenciales de radiaciones ionizantes de largo plazo)	En consideración para los desperdicios nucleares	
Radiación no ionizante										
Accidentes		-	-	-	(XX)	(XX)	-	-	-	-
					(unidades)	(unidades)	-		-	
					M	M&D	-			
					Agregación de víctimas sin ponderación	Casos y DALY procedentes de estadísticas	-			
Formación de Oxidantes Fotoquímicos	(50)	(82 sustancias individuales y 13 mezclas de COV)	(Todos los COVDM, and CH ₄ , NO _x and CO)	-	(126)	(130)	(686)	COVDM & NO _x	(124) regionalizados para 47 prefecturas (124*47)	(529)
	(DALYs/kg emitido)	kg etileno-eq./kg emitido	m ² ecosistema*ppm*horas/g emitido; pers*ppm*horas /g emitido		kg etileno-eq./kg emitido; kg ozono formado/kg emitido	kg etileno eq al aire	M: kg etileno-eq./kg emitido, D: DALYs/kg emitido, NPP/kg emitido, JY/kg emitido	g NM-VOC	kg etileno-eq./kg emitido, weighting EIP/kg	g - NO _x -e / m / kg emitido
	M	M (altas y bajas concentraciones de fondo de NO _x)	M (pero cerca de daños) veces que se supera el umbral de		M	M&D (POCP)	M&D			M

			referencia							
	El nombre en Eco-indicator 99 es Respiratory organic, calcula la concentración de ozono formado y lo trata como impactos de respiración de orgánicos en la categoría toxicidad humana (ver arriba)	Para el cálculo de los factores de caracterización faltantes se utilizan ecuaciones de regresión basadas en K_{OH}	Se separa la modelación dependiente del sitio de las exposiciones a los humanos en dos sub categorías		Se utiliza la formación de NOx como línea base y la creación de ozono como alternativa		M: se utiliza el modelo Box considerando las condiciones climáticas japonesas. La formación de Ozono se calcula para cada región de Japón (7 regiones). E: El modelo de daños relaciona la salud humana con impactos sociales y de producción primaria.	Emisión máxima de COVDM y NOx de acuerdo a los objetivos de calidad del aire dispuestos en Suiza	Ponderación utilizando los objetivos sobre las emisiones de SOx, CO y NOx para cumplir con las normas horarias de emisión.	Se combinan las sustancias individuales y las mezclas de COV y se comparan con las emisiones anuales de Estados Unidos.
Ruido	(0)	-	-	-	(*)	-	-	-	(6)	-
	(DALYs/Pa ² .s)		pers*sec		(Pa ² .s)	(units)			EIP/km	
	Aplicado experimentalmente por Mueller Wenk 2003, pero no está incluido en el reporte metodológico		Ruido del tráfico según Potting and Hauschild (2004)		Agregación no ponderada del sonido en Pa ² .s	Compatible con Mueller-Wenk, 2003	En desarrollo	Una versión inicial de los eco-puntos incluía una categoría provisional	Factores de ponderación basados en las metas de ruido en carreteras	
Acidificación	(3)	(12)	(12)		(4)	(10)	(6)	(3 resp. 5)	-	(17)
	(PDF/m3/año)	kg SO2-eq. /kg emitido	m2 ecosistema desprotegido/g emitido;		kg SO2-eq. in Suiza/kg emitido; kg SO2-eq./kg emitido	kg SO2 eq al aire	M: kg SO2-eq./kg emitido, D: NPP/kg emitido, JY/kg emitido	H+ moles-e / kg emitido		H+ moles-e / kg emitido
	D	M (AP basado en SO ₂)	M (pero cerca de daños). Área de ecosistema expuesto a		M	M para acuático, M&D para terrestre	M&D			M

			cargas superiores a la crítica							
	Acidificación y eutrofización están combinadas. El destino utiliza el modelo Dutch SMART model, los efectos el modelo Dutch MOVE. Calculando PDF/m3/yr directamente usando las curvas de Ellenberg. Las emisiones al agua no se incluyen				Potenciales de acidificación promedios expresados en SO ₂ equivalente basado en el modelo RAINS usando valores locales	Potenciales de acidificación expresados en SO ₂ eq	M: las tasas de deposición de las sustancias acidificantes se calcularon con el modelo Grid considerando las condiciones japonesas D: el modelo de daños relaciona aspectos sociales y de producción primaria.	Potenciales de acidificación basados en SO ₂ .	No existen objetivos nacionales en Japón para los compuestos acidificantes. Sin embargo los NO _x y SO _x están sujetos a regulaciones específicas de restricción dadas por JEPIX.	Basado en los estudios estadísticos de trayectoria avanzados del modelo "Regional Air Pollution" (ASTRAP) (Shannon 1991, 1992, 1996)
Eutrofización	(3)	(12)	(12)		(12)	(10)	(14)	(4)	(3) regionalizados par a las aguas tierra adentro y bahías y lagos designados (20*3)	(18)
	(DALYs/kg emitido)	kg NO ₃ -eq./kg emitido; kg N-eq/kg emitido; kg P-eq/kg emitido	m2 Ecosistema desprotegido/g emitido;		kg PO ₄ ³⁻ -eq./kg emitido; kg NO _x -eq. en Suiza/kg emitido	kg PO ₄ ³⁻ - eq. al agua	M: kg PO ₄ ³⁻ -eq./kg emitido; D: JY/kg emitido	g N and g P	kg N (Lagos y bahías), kg P (Lagos y Bahías), kg COD (Lagos y Bahías, bays), BOD kg (Ríos)	N-e / kg emitido
		M	M		M	M para acuático	M&D			M

	Ver Acidificación	(N y P equivalentes, Basado en una agregación posible en (NO ₃ ⁻ equivalentes))	Modelación separada de la Eutrofización acuática (Factor de exposición combinado con los factores de caracterización regionales genéricos de EDIP97) y la eutrofización terrestre (área de ecosistema expuesta a carga crítica).		Los potenciales de Eutrofización expresados en PO ₄ equivalente, basados en la razón de Redfield; Los potenciales de eutrofización para Europa se basan en el modelo RAINS	M&D para los terrestres los P equivalentes se basan en el factor de Redfield	M: Basados en la razón de Redfield, para las sustancias emitidas al aire se utiliza un modelo de destino D: el impacto en la pesca es analizado a partir del oxígeno disuelto. Los cambios en las concentraciones de oxígeno disuelto se simularon considerando las transformaciones bioquímicas y de transportación hidrodinámicas	P: límite anual emitido a los lagos de Suiza N: límite anual emitido a las aguas de Suiza.	Los factores de ponderación emplean el método de "distancia al objetivo" par a las emisiones de N, P y DQO a lagos y bahías designadas. Para la DBO se calcula los flujos basados en las concentraciones anuales de los 109 ríos. El objetivo es derivado de los objetivos de calidad ambiental determinados.	Modelos de transportación atmosférica y deposición regionalizados con modelación hidrológica, regionalizados para los 48 estados de los Estados Unidos, con agregaciones equivalentes basadas en la razón de Redfield.
Ecotoxicidad	(200)	(192)	(192)		(892)	(393) Acuática, (393) Terrestre	(81) Acuática (81) Terrestre	(42)	-	(161)
	(PDF/m ³ /año)/kg emitido	m ³ agua/g emitido al aire, agua o suelo; m ³ suelo/g emitido al aire, agua o suelo	m ³ agua/g emitido al aire, agua o suelo; m ³ suelo/g emitido al aire, agua o suelo		kg 1,4-DCB-eq. emitido al agua, mar o suelo industrial /kg emitido	kg trietileno glycol eq al agua / suelo	M: kg Benceno-eq. emitido al agua/kg emitido; D: EINES/kg emitido	g		2,4-D-e / kg emitido
		M	M		M	M&D	M&D			M

	<p>La Exposición y destino son calculados con EUSES, usando los parámetros para Europa. Para los metales se hicieron algunas correcciones en el compartimento aire. Se utiliza el método para obtener la fracción potencialmente afectada (PAF) haciendo correcciones en los impactos de los pesticidas en suelos de agricultura</p>	<p>Modelos de transferencia parcial incluyendo intercambios en los compartimentos de oxidación fotoquímica y biodegradación</p>	<p>Se usan unidos los factores de exposición al agua y el suelo en los factores de caracterización regionales genéricos.</p>		<p>Modelación integrada de destinos y medios, exposición y efectos basada en el modelo USES-LCA de Huijbregts. Utilizando escalas y horizontes de tiempo determinados para valores continentales y globales.</p>	<p>Método AMI: Análisis de los impactos basados en las medias geométricas de la concentraciones letales 50</p>	<p>M: Modelos multimedia para análisis de efectos y destinos utilizando parámetros japoneses D: se analiza el cambio de los riesgos de extinción y los cambios de la razón de crecimiento natural intrínseca con respecto a la concentración de químicos en el agua.</p>	<p>No existe una sola categoría de ecotoxicidad. Se utilizan comparaciones de las emisiones con respecto a las definiciones legales de emisiones anuales máximas al suelo, agua y aire.</p>	<p>La ecotoxicidad no se considera pero está en desarrollo.</p>	<p>Modelo multimedia integrado de exposición, destinos y efectos basado en CalTOX (ETPs) y los factores de toxicidad terrestre de Huijbregts, usando 2,4-D como sustancia de referencia.</p>
Uso del Suelo y pérdida de hábitat	(15)	-	-		-	(15)	(85)	(4)	(2)	
					m2.yr	m2 suelo arable	M: ocupación m2.año, transformación m2, D: transformación dry-kg/m2, ocupación dry-kg/m2/año	Volumen y peso de la disposición controlada de desechos	Desechos generados kg	

	Basado en Köllner 1999, con algunos cambios.				Agregación no ponderada de la competencia por el suelo.	Se adopta el método de Ecoindicator 99	M: El uso y la transformación de la tierra se analizan en sub-categorías separadas. D: daños en los ecosistemas teniendo en cuenta los cambios en la biodiversidad y población de las plantas.	(1 para todos los elementos de la categorías)	Capacidad de ocupación de la tierra basado en un modelo de "distancia al objetivo" considerando la capacidad anual de ocupación del suelo con desechos.	
Extracción de Energía	(9)	(xx)	-		(98)	(9)	(4)	Entrada de energía expresada como consumo de exergía (fósil, nuclear, hidro)	-	(6)
	(unidades)					MJ total	M: MJ total, D: JY/kg, dry-kg/kg	-	-	
	Combustibles fósiles: concepto de exceso en la demanda de energía para la extracción.	Ponderación basada en un horizonte de abastecimiento	-		La energía primaria y los minerales se analizan juntos. Se utilizan potenciales de agotamiento de recursos abióticos basados en los datos de reservas y las tasas de extracción.	Demanda acumulativa de energía primaria no renovable.	M: consume total de energía. D: impactos económicos y sociales a través de cambios en la producción primaria		No considerado, pero en desarrollo	Basado en Ecoindicator '99

Extracción de Minerales	(12)	(xx)	-	-	-	(20)	(23)	-	-	-
	(unidades)					MJ adicionales	M&D		-	
	Minerales :Se aplica el concepto de energía adicional de Mueller Wenk pero de una forma un poco diferente	Ponderación basada en un horizonte de abastecimiento				Energía primaria no renovable adicional demandada para cerrar el ciclo de vida	M: Inverso de las reservas del recurso D: El mismo utilizado en los combustibles fósiles	-	No considerado pero en desarrollo.	
Uso del agua	-	(xx)	-	-	-	(1)	-		-	-
	-					MJ	-	-	-	
		Ponderación basada en un horizonte de abastecimiento				Energía primaria acumulada en el inventario	-		No considerado pero en desarrollo.	
Calidad del Suelo	-	(xx)	-	-	-	-	-		-	-
	-						-		-	

	-	Ponderación basada en un horizonte de abastecimiento (para uso no sostenible)					-			
Uso de recursos Bióticos	-	-	-	-	-	-	(1)		-	-
	-						D		-	
	-				Reservas y razones de des acumulación		D: Igual a los combustibles fósiles		No considerado pero en desarrollo.	
Salud Humana	(1)			(169)		(4) categorías de punto medio juntas	(893)		(*)	(1)
	(DALYs)			(p-años)		(DALYs)	DALYs		-	DALYs/ton emitida
	La Salud Humana incluye mortalidad y morbilidad			Incluidas como subcategorías de daños, (158) Años de vida perdidos, (161) morbilidad severa, (1) Molestias severas and (7) molestias		La Salud Humana incluye mortalidad y morbilidad	Incluye mortalidad e incapacidad: Calentamiento Global (75), Agotamiento de la capa de ozono (96), Contaminación del aire (4), Formación de oxidantes		-	Exposición a material particulado de 2.5µm medidos en DALY (regionalizado para Estados Unidos)

							fotoquímicos (685), Toxicidad Humana (33).			
Ambiente Natural Biótico	(1)			(160)		(4) categorías de punto medio juntas	(152)			
	(PDF/m2/año)/kg emitido			Sin unidades		PDF-m2-año	EINES (Incremento Esperado del Número de Especies Extintas)			
	Calidad del ecosistema			NEX, razón normalizada de Extinción de especies		Calidad del ecosistema	Definida como "Biodiversidad"; Impacto causado por el Uso del Suelo (4), la Ecotoxicidad (87), el Consumo de Recursos y los desechos (35)			
Ambiente Natural Abiótico	-					kg CO2 eq				
	-					Cambio Climático sostenido como daño separado en los sistemas que albergan la vida				
	-									
Recu	-			(81)	(98)		(22)	(3)	-	

rsos Natu rales Abiót icos	-			kg / kg reservas	(unidades)		Pérdidas Económicas (JY)	MJ	-	
	-			(1) Petróleo fósil, (1) Carbón fósil, (1) gas natural fósil (78) reservas de elementos	La energía primaria y los minerales se analizan juntos. Se utilizan potenciales de agotamiento de recursos abióticos basados en los datos de reservas y las tasas de extracción.		Se tienen en cuenta los aspectos sociales de los recursos minerales y los combustibles fósiles.	(1) petróleo fósil, (1) carbón fósil, (1) gas natural fósil	No considerado pero en desarrollo.	
	(1)			(2)		(2) Categorías de punto medio juntas				
	MJ / MJ adicionales			kg		MJ energía primaria no renovable				
	Recursos (MJ energía adicional)			Agua de consume y para riego con factor de caracterización igual a 1		Recursos naturales				
				(7)						
				moles H+ equivalentes						
				Basado en la capacidad catiónica del suelo						
Recu rsos Natu rales	-			-112		Por medio de los recursos bióticos naturales	(1003)		-	

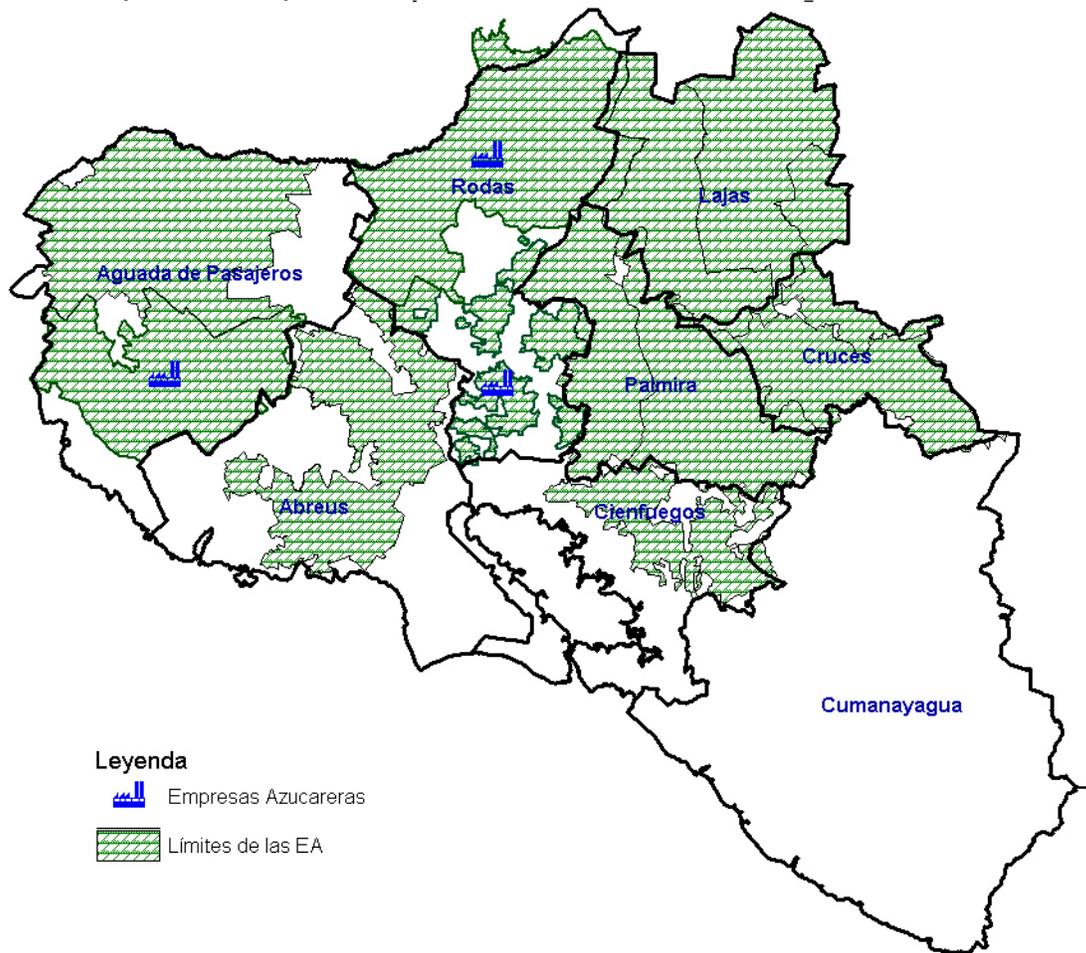
Bióticos				kg / kg reservas			NPP: productividad neta primaria (kg secos)	-	
				(112) Producción de cosechas, (112) producción de madera, (9) producción de pescado			Daños definidos como pérdidas de producción primaria. Impacto del calentamiento global (75), Agotamiento de la capa de ozono (96), acidificación (5), formación de oxidantes fotoquímicos (685), uso del suelo (81), consumo de recursos (26) y desperdicios (35)	No considerado pero en desarrollo	
Ambiente Artificial Abiótico								-	
				Valores culturales y recreativos					
Ambiente Artificial Biótico				Ver recursos naturales bióticos		Por medio de los recursos bióticos naturales	(771)		
							Pérdidas Económicas (JY)		

Anexo 4 Programas Informáticos para el ACV

Adaptado de: (Aranda, 2006)

Programa	Compañía desarrolladora	Comentarios
Boustead	Boustead Consulting (Reino Unido)	Herramienta muy completa indicada para realizar estudios de ACV dentro de la industria química, plásticos, acero, et c.
Ecoit	Pré Consultants (Países Bajos)	Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Utiliza el Ecoindicador '99. Su manejo es sencillo.
Ecopro	Sinum AG. - EcoPerformance Systems (Suiza)	Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUW AL.
Ecoscan	TNO Industrial Technology (Países Bajos)	Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del ecodiseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo.
Euklid	Fraunhofer- Institut (Alemania)	Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales.
KCL Eco	Finnish Pulp and Paper Research Institute (Finlandia)	Presenta una interfaz gráfica muy completa. Posee los indicadores Ecoindicador 95 y DAIA 98 y destaca por sus datos de la industria papelera.
Gabi	Universidad de Stuttgart (Alemania)	Además de las posibilidades convencionales de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos.
LCAit	ChalmersIndustrietenik (Suecia)	Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel
Miet	Universidad de Leiden (Países Bajos)	Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Tiene carácter gratuito
Pems	Pira International (Reino Unido)	Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfica es flexible.
Simapro	Pré Consultants (Países Bajos)	Permite realizar ACVs completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para Departamentos de diseño o I+ D.
Team	Ecobilan (Francia)	Herramienta muy completa, flexible y potente aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes.
Wisard	Price water house Coopers (Francia)	Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales.
Umberto	Ifeu- Institut (Alemania)	Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar ecobalances empresariales.

Anexo 5: Localización de las Empresas Azucareras objeto de estudio.
Fuente: (GESA 2011)



Anexo 6: Relación de Categorías de Impacto y Daño en Eco-speed.

Fuente (Rodríguez 2011)

Categorías de Daño	Categorías de Impacto	Forma de cálculo	Fuente de Datos
Daños a la Salud Humana	Carcinogénicos al Aire	USEtox TM	UNSTATS; PNUMA; CEPAL; FAO; ONE-Cuba; ChemSpider; EPA
	No Carcinogénicos al Aire	USEtox TM	
	Carcinogénicos al Agua	USEtox TM	
	No Carcinogénicos al Agua	USEtox TM	
	Carcinogénicos al Suelo	USEtox TM	
	No Carcinogénicos al Suelo	USEtox TM	
	Formación de Oxidantes Fotoquímicos	$PO = \sum_i POCP_i * m_i$	
Daños a Los Recursos	Extracción de Minerales	$AD = \sum_i ADF_i * m_i$	USGS
	Extracción de Combustibles Fósiles		OPEC
Daños a los Suelos	Uso y Transformación del Suelo	$LUT = \sum_{i=1}^n \frac{u_i * t_i * a_i}{A_i}$	FAO; ONE-Cuba; EPA
	Acidificación	$AI = \sum_{i=1}^n AP_i * m_i$	ChemSpider; ONE-Cuba; EPA
	Eco-toxicidad de los Suelos	USEtox TM	UNSTATS; PNUMA; CEPAL; FAO; ONE-Cuba; EPA
Daños al Agua	Uso del Agua	$WC = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V_i}$	FAO; ONE-Cuba

	Eutrofización	$EI = \sum_{i=1}^n EP_i * m_i$	ChemSpider; ONE-Cuba; EPA
	Eco-toxicidad del Agua	USEtox™	UNSTATS; PNUMA; CEPAL; FAO; ONE-Cuba; EPA
Daños a la Atmósfera	Calentamiento Global	$CC = \sum_i GWP_i * m_i$	PNUMA; CEPAL; IPCC; ONE-Cuba
	Agotamiento del Ozono	$OD = \sum_i ODP_i * m_i$	PNUMA; CEPAL; WMO; ONE-Cuba
	Eco-toxicidad del Aire	USEtox™	UNSTATS; PNUMA; CEPAL; FAO; ONE-Cuba; EPA

Anexo 7: Inventario de ACV para la Producción de azúcar, etapa agrícola, (valores promedio)

		Antonio Sánchez	14 de Julio	5 de Septiembre
		CANTIDAD		
Materiales	UM	Índice	Índice	Índice
<u>Entradas desde la Tecnofera</u>				
Variedades de semilla	t	0,4	0,4	0,4
<u>Herbicidas líquidos</u>				
Finale	l	0,06	0,05	0,06
Azulam	l	0,2	0,2	0,2
Hexazinoma	l	0,06	0,05	0,06
MSMA	l	0,1	0,1	0,1
Esterol	l	0,08	0,07	0,1
Sal de Amina	l	0,08	0,07	0,1
Glifosato	l	0,1	0,1	0,1
<u>Herbicidas sólidos</u>				
Diurón	kg	0,2	0,2	0,2
Ametrina	kg	0,06	0,05	0,06
Amigan	kg	0,2	0,2	0,2
Merlin	kg	0,02	0,01	0,01
Envoke	kg	0,002	0,001	0,001
<u>Fertilizantes Minerales</u>				
Urea	kg	1,5	1,8	3,4
Nitrato de Amonio	kg	2,1	2,4	4,6
Amoniaco (NH3)	kg	1,6	0,4	0,4
Superfosfato Triple (SPT)	kg	1,3	0,7	1,4
Cloruro de Potasio (KCL)	kg	2,8	1,4	1,9
<u>Fertilizantes Orgánicos</u>				
Vinazas diluidas	m ³	1,33		
Compost	t	0,1	0,11	0,14
<u>Consumo de Combustible (Diesel)</u>				
Preparación de suelo	l	0,6	0,4	0,6

Siembra	l	0,3	0,2	0,3
Atenciones Culturales	l	1,4	0,9	1
Cosecha	l	3,8	2,29	2,9
<u>Entrada desde la naturaleza</u>				
Suelo	ha	0,04	0,03	0,04
Fijación de Carbono	t	0,08	0,07	0,07
<u>Residuos Sólidos</u>				
Paja	t	0,18	0,18	0,18
Otros residuos	t	0,05	0,05	0,05
<u>Salida a la Tecnosfera</u>				
Caña de Azúcar	t	1	1	1
Compost	t	0,1	0,11	0,14
<u>Consumo de Combustible (Diesel)</u>				
Preparación de suelo	l	0,6	0,4	0,6
Siembra	l	0,3	0,2	0,3
Atenciones Culturales	l	1,4	0,9	1
Cosecha	l	3,8	2,29	2,9
<u>Entrada desde la naturaleza</u>				
Suelo	ha	0,04	0,03	0,04
Fijación de Carbono	t	0,08	0,07	0,07
<u>Residuos Sólidos</u>				
Paja	t	0,18	0,18	0,18
Otros residuos	t	0,05	0,05	0,05
<u>Salida a la Tecnosfera</u>				
Caña de Azúcar	t	1	1	1

Anexo 8: Inventario de ACV para la Producción de azúcar, etapa industrial, (valores promedio)

		Antonio Sánchez	14 de Julio	5 de Septiembre
	CANTIDAD			
Materiales	UM	Índice	Índice	Índice
<u>Entrada de la tecnosfera</u>				
Caña de Azúcar	t	10,6	8,91	9,38
Óxido de Calcio (CaO)	kg	6,9	5,8	6,1
Agua de Imbibición	m ³	2,2	2,5	2,25
Azúcar de Caña (refino)	kg	0,02	0,019	0,019
Etanol de Caña	kg	0,06	0,05	0,56
<u>Electricidad/Calor</u>				
Energía Consumida	kwh	329,4	276,3	290,7
Energía Aportada	kwh	329,4	62,4	65,6
Vapor de biomasa	t	17.09	1.18	14.35
<u>Emisiones al Agua</u>				
Residuales líquidos	m ³	0,05	0,04	0,05
Demanda Química de Oxígeno DQO	kg	0,13	0,06	0,07
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	kg	0,06	0,03	0,03
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	g	0,02	0,01	0,01
Ión Amonio (NH4)	g	0,01	0,00	0,01
<u>Emisiones al Aire</u>				
Dióxido de Carbono	t	0,52	0	0,44
Bagacillo	t	3,47	2	2,9

<u>Flujos finales de residuos</u>				
Cachaza	t	0,29	0	0,39
<u>Salida a la Tecnosfera</u>				
Azúcar de Caña	t	1	1	1
Melaza (Miel Final)	t	0,46	0	0,36
Bagazo	t	4	3	3,36