

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA E INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE
BAGAZO DE CAÑA**

**OMAR ALBERTO ÁVILA ROJAS
JAIRO AUGUSTO SUÁREZ DUARTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010**

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA E INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE
BAGAZO DE CAÑA**

**OMAR ALBERTO ÁVILA ROJAS
JAIRO AUGUSTO SUÁREZ DUARTE**

**Trabajo de Grado presentado para optar al título de
Ingeniero Químico**

**Director
Dr. Sc. VIATCHESLAV KAFAROV**

**Co-director
KARINA ANGÉLICA OJEDA DELGADO
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010**

*Agradezco a Dios por concederme la voluntad, dedicación y amor
en cada instante de mi vida,
A mi madre Luz Marina por su confianza, amor y en especial por
ser la luz de mi camino
A mi padre Juan Ávila y hermana Judy Ávila, por su apoyo
constante e incondicional
A mis hermanos, razón para seguir viviendo
A Jairo A. Suárez, por su amistad absoluta, compañerismo y
consejos como formación integral durante la carrera profesional
Y Aquellos quienes estuvieron cuando más les necesité.*

Omar A. Ávila

*A Dios por siempre estar conmigo
A mi mamá por su fortaleza, constancia y valentía
A mi papá porque gracias a sus correcciones soy lo que soy
A mis hermanos, Fabián y Camilo, son las baterías de mi ser.*

Jairo A. Suárez

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar sinceros agradecimientos:

Al **Dr.- Sc. Viatcheslav Kafarov**, director del proyecto, por la confianza brindada, su tiempo y su orientación para la realización de este proyecto.

A la estudiante de doctorado en Ingeniería Química, Karina Angélica Ojeda Delgado, co-directora del proyecto por sus valiosos aportes, no sólo para el desarrollo del proyecto, sino del diario vivir.

Al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (COLCIENCIAS), y al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Proyecto 306RTO279 "Nuevas tecnologías de producción de biocombustibles" UNESCO código: 330303, 332205, 530603, 330999;

A todos los miembros del Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía –CIDES - UIS.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I - ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) E INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

1. INTRODUCCIÓN	1
-----------------	---

CAPÍTULO II - ESTADO DEL ARTE PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE ACV

2.1 GENERALIDADES	4
2.2 LOS COMBUSTIBLES Y EL MEDIO AMBIENTE	5
2.3 SISTEMA DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL	5

CAPÍTULO III - INVENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)(ENTRADA -SALIDAS)

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS VÍAS ESTUDIO	6
3.2 SIMULACIÓN DE LAS RUTAS	6
3.2.1 Estudio de la ruta con <i>Ácido Diluido (AD)</i> , Vía I	7
3.3 CONSUMO DE MATERIA PRIMA Y ENERGÍA	8
3.4 INGRESO DE CELULOSA AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	9
3.5 PRODUCCIÓN ETANOL - VINAZA	10
3.6 EMISIONES OBTENIDAS	10

CAPÍTULO IV - ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ACV PARA CADA UNA DE LAS RUTAS DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL Y SELECCIÓN DE LA VÍA CON EL MENOR IMPACTO AMBIENTAL

4.1 PRETRATAMIENTO CON ÁCIDO DILUIDO	11
4.2 PRETRATAMIENTO CON EXPLOSIÓN DE VAPOR SATURADO	13
4.3 PRETRATAMIENTO CON SOLVENTE ORGÁNICO	15

4.4 COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE LA VÍA CON MENOR IMPACTO AMBIENTAL	16
CAPÍTULO V - INTEGRACIÓN ENERGÉTICA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA PRETRATADO CON EXPLOSIÓN DE VAPOR SATURADO	
5.1 CORRIENTES SELECCIONADAS	19
5.2 ANÁLISIS PINCH (PLIEGUE)	20
5.3 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DISEÑOS ENERGÉTICOS	22
CAPÍTULO VI - CONCLUSIONES	24
CAPÍTULO VII - RECOMENDACIONES	25
CAPÍTULO VIII - BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	29

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Marco del análisis del ciclo de vida según la Norma ISO 14040:19974	
Figura 2.2. Flujo genérico del ciclo de vida de un producto	32
Figura 2.3. Elementos que componen la valoración del impacto del ACV	36
Figura 2.4. Mecanismo de calentamiento global	38
Figura 3.1. Diagrama del proceso de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, utilizando Ácido Diluido en la etapa de pretratamiento, obtenida del simulador Aspen – Hysys®	7
Figura 3.2. Diagrama del proceso de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, utilizando Explosión de Vapor Saturado en la etapa de pretratamiento. obtenida del simulador Aspen – Hysys®	50
Figura 3.3. Diagrama del proceso de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, utilizando Solvente Orgánico en la etapa de pretratamiento, obtenida del simulador Aspen – Hysys®	52
Figura 4.1. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Ácido Diluido	12
Figura 4.2. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Explosión con Vapor Saturado	14
Figura 4.3. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Solvente Orgánico	16
Figura 4.4. Evaluación de impacto ambiental para las tres vías de estudio	17
Figura 4.5. Puntaje único para los tres tipos de pretratamiento	18
Figura 4.6. Evaluación de impacto ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza, y compuestos de Ca para el pretratamiento del bagazo de caña con Ácido Diluido	60

Figura 4.7. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía de Ácido Diluido	60
Figura 4.8. Evaluación de impacto ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza para el pretratamiento del bagazo de caña con Explosión con Vapor Saturado	61
Figura 4.9. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía de Explosión de Vapor Saturado	61
Figura 4.10. Evaluación de impacto ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza, y compuestos de Ca para el pretratamiento del bagazo de caña con Solvente Orgánico	62
Figura 4.11. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía con Solvente Orgánico	62
Figura 5.1. Red de Intercambio Energético, caso de estudio según extracción de datos Aspen-Hysys®	20
Figura 5.2. Curva de composición energética obtenida de Aspen HX- Net®	21
Figura 5.3. Red de Intercambio Energético, diseño 1 obtenida del Software Aspen HX -Net®	23
Figura 5.4. Red de Intercambio Energético, diseño 2 obtenida del Software Aspen HX -Net®	63
Figura 5.5. Red de Intercambio Energético, diseño 3 obtenida del Software Aspen HX -Net®	63
Figura 5.6. Red de Intercambio Energético, diseño 4 obtenida del Software Aspen HX- Net®	64
Figura 5.7. Red de Intercambio Energético, diseño 5 obtenida del Software Aspen HX- Net®	64
Figura 5.8. Red de Intercambio Energético, diseño 6 obtenido Aspen HX -Net®	64

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 2.1. Aspectos generales de las herramientas para la gestión ambiental	31
Tabla 2.2. Categorías de impactos consideradas más relevantes	37
Tabla 3.1. Fracciones másicas de entrada a la etapa de pretratamiento, vía I	8
Tabla 3.2. Fracciones másicas en la etapa de fermentación, vía I	8
Tabla 3.3. Flujo másico de entrada en la etapa de pretratamiento, vía I	8
Tabla 3.4. Flujo másico de entrada a la etapa de fermentación, vía I	8
Tabla 3.5. Flujo de energía suministrado a la vía I	9
Tabla 3.6. Composición de celulosa utilizada en la vía I	9
Tabla 3.7. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la vía I	9
Tabla 3.8. Composición de vinaza, vía I	10
Tabla 3.9. Corrientes utilizadas en cada vía de estudio	48
Tabla 3.10. Nomenclatura de equipos	49
Tabla 3.11. Fracciones másicas de entrada a la etapa de pretratamiento, vía II	51
Tabla 3.12. Fracciones másicas en la etapa de fermentación, vía II	51
Tabla 3.13. Flujo másico de entrada en la etapa de pretratamiento, vía II	51
Tabla 3.14. Flujo másico de entrada a la etapa de fermentación, vía II	51
Tabla 3.15. Fracciones másicas de entrada a la etapa de pretratamiento, vía III	53
Tabla 3.16. Fracciones másicas en la etapa de fermentación en la vía III	53
Tabla 3.17. Flujo másico de entrada en la etapa de pretratamiento en la vía III	53
Tabla 3.18. Flujo másico de entrada a la etapa de fermentación en la vía III	53
Tabla 3.19. Flujo másico de entrada a la etapa de fermentación vía III	53
Tabla 3.20. Flujo másico de entrada a la etapa de separación y deshidratación	53
Tabla 3.21. Flujo de energía suministrado a la vía II	53
Tabla 3.22. Flujo de energía suministrado a la vía III	54

Tabla 3.23. Composición de celulosa utilizada en la vía II	54
Tabla 3.24. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la vía II	55
Tabla 3.25. Composición de celulosa en la vía III	55
Tabla 3.26. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la vía III	55
Tabla 3.27. Composición de vinaza, vía II	56
Tabla 3.28. Composición de vinaza, vía III	56
Tabla 3.29. Inventario de ciclo de vida vía I	57
Tabla 3.30. Inventario de ciclo de vida vía II	58
Tabla 3.31. Inventario de ciclo de vida vía III	59
Tabla 5.1. Descripción de corrientes importadas de Aspen HX- Net [®]	19
Tabla 5.2. Temperatura pinch °C obtenidas de Aspen HX- Net [®]	21
Tabla 5.3. Especificación de los diseños obtenidos de Aspen HX- Net [®]	22
Tabla 5.4. Comparación de los diseños obtenidos de Aspen HX- Net [®]	22
Tabla 5.5. Características de los diseños de Aspen HX- Net [®]	63

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Generalidades del Etanol Lignocelulósico	29
Anexo 2. Etapas del Análisis de Ciclo de Vida	31
Anexo 3. Especificación de corrientes y equipos	48
Anexo 4. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida	61
Anexo 5. Integración Energética	64
Anexo 6. Glosario	66

TÍTULO: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA E INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA [†]

AUTORES: Omar Alberto Ávila Rojas y Jairo Augusto Suárez Duarte ^{††}

PALABRAS CLAVES: *Bioetanol, Ácido Diluido, Explosión de Vapor Saturado, Solvente Orgánico ACV, Integración Energética.*

RESUMEN:

En este trabajo, el proceso de producción de bioetanol, de segunda generación, a partir de bagazo de caña fue analizado para tres diferentes esquemas de proceso de *Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF)*, evaluando los efectos ambientales al igual que las posibilidades de integración del proceso. Para el desarrollo de la metodología ACV según norma ISO 14040, no fueron incluidas todas las etapas que componen su ciclo de vida por considerarse una misma materia prima proveniente del mismo cultivo. Esto se realizó conforme a la evaluación de conversión de la biomasa lignocelulósica en etanol seguido de los pretratamientos (*Ácido Diluido, Explosión de Vapor Saturado y Solvente Orgánico*) y producción del biocombustible, como interés en el análisis.

A partir de lo anterior, se implementó un modelo de inventario de ciclo de vida para el bioetanol aplicable en Colombia o en cualquier otro país que emplee procesos de preparación del bagazo de caña. Este planteamiento, permite realizar estudios por etapas “De la cuna hasta la tumba”, siendo una metodología aplicable en el desarrollo de un inventario solo para bioetanol desde bagazo de caña. Los resultados del ACV permiten la selección de la ruta de producción de etanol lignocelulósico con menor impacto ambiental, lo cual permitió el análisis del proceso a través de metodologías de integración energética para determinar las posibles mejoras del proceso mediante el diseño de redes de intercambio de calor.

[†]Proyecto de Grado

^{††} Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química
Director: Dr. VIATCHESLAV KAFAROV
Codirector: Ing. Karina Angélica Ojeda Delgado

TITLE: LIFE CYCLE ANALYSIS AND PROCESS INTEGRATION OF SECOND GENERATION BIOETHANOL PRODUCTION FROM SUGARCANE BAGASSE [†]

AUTHORS: Omar Alberto Ávila Rojas and Jairo Augusto Suárez Duarte ^{††}

KEYWORDS: Bioethanol, Dilute Acid, Saturated Steam Explosion, Organic Solvent, LCA, Energy Integration.

Abstract

In this work, three different topologies Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) of second-generation bioethanol from sugarcane bagasse was analyzed, assessing the environmental effects as well as the potential for process integration. For this, the standard methodology of the ISO14040 series has been followed, however agricultural stages were not included because sugarcane bagasse from the same crop was considered for all cases. This was done because the evaluation of converting lignocellulosic biomass to ethanol (pre-treatment stage (dilute acid, Saturated Steam Explosion and organic solvents) and production biofuel) is of interest in the analysis.

According to above, there was a model of life cycle inventory for bioethanol applicable in Colombia or in any other country that uses methods of preparation of sugar cane bagasse. This approach allows studying stages "From cradle to grave", with a methodology to develop an inventory only for bioethanol from sugar cane bagasse. LCA results allow the selection of the route of lignocellulosic ethanol production with lowest environmental impact, which was used for the analysis of the process through energy integration methodologies to identify potential process improvements.

*B. Sc. Thesis

** Physical - Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School.

Director: Dr. VIATCHESLAV KAFAROV.

Codirector: Ing. Karina Angélica Ojeda Delgado

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA E INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

1. INTRODUCCIÓN

La creciente industria de biocombustibles a nivel mundial ha generado un fuerte debate respecto a los efectos de estos sobre la seguridad alimentaria de la población al utilizar cultivos agrícolas para su elaboración; de acuerdo a esta situación los retos tecnológicos se han centrado en la producción de biocombustibles, denominados de segunda generación los cuales se obtienen a partir de materias primas alternativas que se caracterizan por: su gran disposición, no uso como alimento, altos rendimientos de producción y procesos ambientalmente positivos. En el caso del bioetanol, se han propuesto configuraciones para su producción a partir de materiales lignocelulósicos (cascarillas de trigo, residuos de maíz, bagazo de caña de azúcar, entre otros), quienes muestran buenos resultados en estudios preliminares a escala pequeña. Sin embargo, para implementar estos procesos a gran escala se requiere analizar las alternativas de producción de etanol de segunda generación que permita alcanzar una viabilidad económica, ambiental y energética del proceso.

Históricamente, el sector de los combustibles requiere un consumo elevado de materiales y energía, lo que consecuentemente, genera grandes cantidades de emisiones gaseosas, líquidas o sólidas contaminantes del medio ambiente. Así pues, para evaluar medioambientalmente al sector se requiere reconocer, cuantificar y calificar, tanto los recursos utilizados como las emisiones generadas en las diferentes etapas del proceso constructivo. Por lo que respecta a esta problemática, y fundamentándose conceptualmente en el ciclo de vida completo del producto, existen diversas metodologías científicas que permiten apoyar la gestión medioambiental de estos productos, procesos o servicios. En este sentido,

la metodología de *Análisis de Ciclo de Vida (ACV)* permite demostrar ampliamente la utilización para valorar y evaluar los impactos potenciales al medio ambiente, ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso, además representa una herramienta efectiva y de apoyo a la gestión de los aspectos medioambientales. Por lo anterior es importante profundizar en el conocimiento de todos los aspectos medioambientales que afecten al ciclo de vida de los biocombustibles, y para el caso del presente proyecto, de los coproductos resultantes del proceso de producción de bioetanol.

El presente proyecto se orientó, hacia el estudio de los aspectos medioambientales en la producción de bioetanol, y de las etapas que componen su ciclo de vida, en especial a la de la preparación del bagazo de caña de azúcar, desarrollando en su efecto un análisis de ciclo de vida ACV que permitiera posteriormente seleccionar el pretratamiento con menor impacto ambiental. En su realización se hizo uso de inventarios disponibles en simulaciones previas, para identificar, clasificar y caracterizar los aspectos medioambientales más relevantes con sus respectivos impactos potenciales, y, por otro lado, sentar las bases conceptuales y metodológicas para el desarrollo de la selección de la vía menos contaminante. La metodología seguida para el análisis de cada una de las rutas de producción de bioetanol bajo estudio, son expuestas a continuación; en primera instancia, se realizó un estudio de material bibliográfico referente a las generalidades para la producción de Etanol de segunda generación presentadas en el Anexo 1. Seguidamente se hizo énfasis al estado del arte de la metodología del ACV, presentado en el capítulo II, el cual da a conocer un panorama general de los aspectos más relevantes relacionados con el ACV de los productos y materiales del sector de los biocombustibles, completado con un glosario, con los principales términos usualmente empleados en el método, el cual se incluye en el Anexo 6 y los pasos consecutivos para la elaboración respectiva del ACV en el Anexo 2.

Posteriormente, se procedió con un estudio comparativo entre los datos de entradas y salidas utilizados en los inventarios del ciclo de vida de la producción de bioetanol para cada una de las vías relacionadas, y los puntos de vista determinantes a la hora de valorar sus aspectos medioambientales, describiendo a su vez de manera puntual los tres casos de estudio seleccionados para la obtención de bioetanol lignocelulósico referenciados en el capítulo III. Para evidenciar el análisis, en el Anexo 3 se presenta la extracción y recopilación de las fichas técnicas del bioetanol a partir de bagazo de caña, para cada una de las vías simuladas en *Aspen - Hysys*[®] realizadas en estudios anteriores, y del soporte ofrecido por la base de datos de *Simapro 7.1*[®].

Para la finalización del ACV, en el capítulo IV se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos por el Software *Simapro 7.1*[®] y la selección del método de pretratamiento del bagazo con menor impacto ambiental. Tomando como punto de partida los resultados obtenidos en el estudio de los inventarios disponibles, en el Anexo 4 se presentan con base a los modelos de valoración adoptado para el análisis del ciclo de vida, los impactos potenciales originados por todos los aspectos medioambientales considerados de la producción de etanol mediante la ilustración de las figuras obtenidas para el debido análisis.

Posterior al estudio y análisis de ciclo de vida de las tres vías estudiadas, en el capítulo V se realizó el análisis de integración energética para la vía seleccionada con menor impacto ambiental y los diseños de intercambio obtenidos se presentan en el Anexo 5. En el capítulo VI, se exponen las conclusiones generales que responden al objetivo propuesto y, también, de unas conclusiones específicas que obedecen a diferentes resultados concretos de los estudios realizados. Se finaliza con las recomendaciones presentadas en el capítulo VII y por último, se incluye un listado completo con las referencias bibliográficas, utilizadas en el desarrollo del presente proyecto en el capítulo VIII.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE ACV

2.1. GENERALIDADES

El ACV se define como la herramienta adecuada para “la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida” [1]. La figura 2.1 muestra el marco del ACV propuesto en la norma ISO 14.040:1997, compuestos por cuatro elementos básicos.

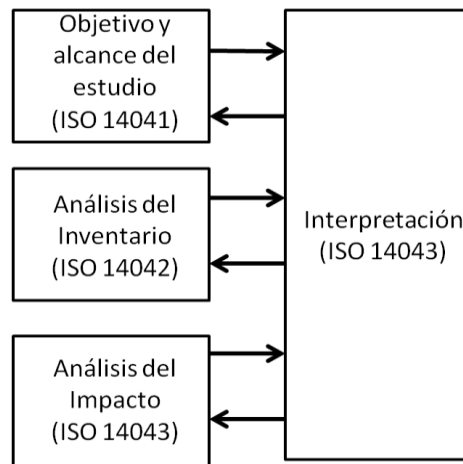


Figura 2.1. Marco del análisis del ciclo de vida, según la norma ISO 14040:1997

Como es posible observar en la figura 2.1, los elementos que estructuran el ACV son interactivos entre sí, lo que representa una flexibilidad para el proceso de evaluación proporcionado por esta herramienta. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema - entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproductos, emisiones al aire, agua y suelo) - para posteriormente evaluar los impactos potenciales que éstos causan al medio ambiente [2]. Todo ello, contribuye a considerar al ACV como un instrumento de apoyo en la toma de decisiones sobre temas medioambientales de sistemas, productos y procesos.

2.2. LOS COMBUSTIBLES Y EL MEDIO AMBIENTE

El sector de los combustibles se incluye entre los sectores productivos que a lo largo de toda su historia han disfrutado de una reconocida importancia económica y social. Como cualquier actividad humana, en este caso acentuado por su implicación con el entorno, ello provoca impactos significativos para el medio ambiente tanto a la hora de producir, como de usar o deshacerse de sus productos[3].

Una manera de visualizar todas las interrelaciones que pueden ocurrir a lo largo de todo el ciclo de vida es mediante la estructuración del proceso, en donde queden representados todos los pasos constituyentes de este sistema, es decir, desde el punto considerado “inicio” hasta donde “finaliza” su función [4]. Este procedimiento constituye una práctica recomendable para realizar los estudios, en donde se precisa una visión holística del comportamiento integral del sistema, con objeto de gestionar aspectos técnicos, económicos o medioambientales.

2.3. SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Como se ha indicado en las secciones anteriores, todos los sistemas de producción, procesos o servicios poseen un ciclo de vida que puede estructurarse de forma sistémica, con un principio y un final previamente establecido. En general, este ciclo de vida, que está compuesto por varios subsistemas conectados entre sí en forma de flujo progresivo, se inicia con la adquisición de las materias primas, pasando por otros subprocesos intermedios, hasta llegar al final de su vida útil cuando son llevados a botadero. Todo el proceso de este ciclo de vida se considera el ciclo completo, y es común denominarlo desde la “cuna hasta la tumba”, entre tanto, mientras exista la posibilidad de la reutilización o reciclado, la denominación del proceso puede cambiar y asumir otra disposición, como por ejemplo de la “cuna hasta la cuna”, o desde la “cuna hasta la puerta”, etc. [5]

CAPÍTULO III

INVENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ENTRADA -SALIDAS)

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VIAS DE ESTUDIO

Con base en el análisis de rendimiento y condiciones de operación aplicables a la materia prima, óptimas para la obtención del etanol lignocelulósico, se seleccionaron las rutas de pretratamiento a ser evaluadas: *Ácido Diluido (AD)*, *Explosión de Vapor Saturado (EVS)* y *Solvente Orgánico (SO)*. Posterior al pretratamiento, se consideraron las tecnologías de hidrólisis enzimática, para esto fue seleccionada la configuración (SSF), seguida de una fermentación para los Azúcares C₅, una Destilación Simple, y por último se finaliza el proceso con una Deshidratación del alcohol utilizando Tamices Moleculares. [6]

3.2. SIMULACIÓN DE LAS RUTAS

Para este estudio se determinó una capacidad de 50 toneladas de bagazo húmedo por hora, escogido de acuerdo a los datos reportados por Cenicaña, para un ingenio ubicado en la Región del Valle del Río Cauca, el cual produce un valor promedio de 1200 toneladas de Bagazo por día[7]. Las simulaciones se realizaron utilizando como herramienta computacional el simulador de procesos *Aspen - Hysys*[®] (Aspen Technologies, Inc., EUA). Las composiciones y propiedades físicas de la materia prima (Bagazo de Caña), los insumos utilizados y los compuestos obtenidos por el proceso fueron obtenidas de Wooley y Putshe (1996) y otros reportados en la literatura[7] [8]. El nombre de las corrientes y equipos empleados en las simulaciones se presentan en las Tablas 3.9 y 3.10 del Anexo 3. El modelo termodinámico NRTL fue empleado para el cálculo de los coeficientes de actividad y para el comportamiento de la fase de vapor se utilizaron las ecuaciones del Virial. Con respecto al cálculo de las áreas de separación se aplicó la columna *Short Cut Distillation*, la cual proporciona una estimación inicial del número mínimo de etapas teóricas, de la relación de reflujo, la localización de la etapa de alimentación y la distribución de los componentes. El cálculo riguroso de las

condiciones de operación en las columnas de destilación se desarrolló mediante la columna *Distillation Column*, aplicando el método de solución *Modified HYSYM Inside-Out* [9].

3.2.1 Estudio de la ruta con *Ácido Diluido (AD)*, Vía I

Para el caso de estudio I, representado en la figura 3.1, el bagazo de caña fue tratado con ácido sulfúrico (H_2SO_4), utilizando una concentración 1,5 % en peso, y una temperatura de 160°C. El proceso causa una degradación del 90% de la hemicelulosa y una completa solubilización de la lignina. La solución acuosa compuesta principalmente por xilosa, lignina y H_2SO_4 fue neutralizada con cal según la reacción, logrando la precipitación de la lignina [10] [12].

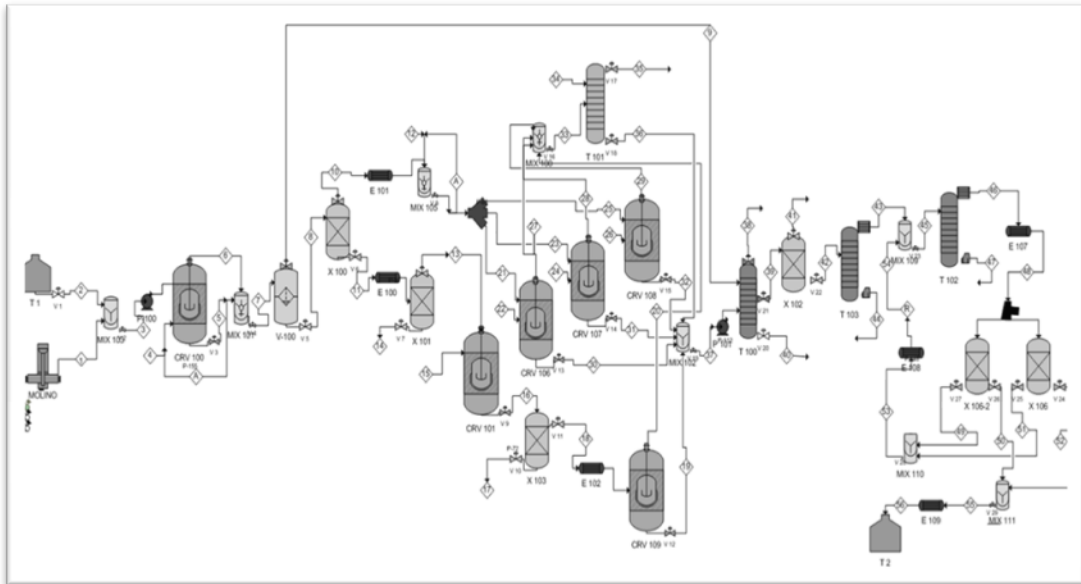
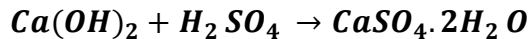


Figura 3.1.Diagrama del Proceso de Producción de Bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, utilizando Ácido Diluido en la etapa de pretratamiento, obtenida del simulador Aspen -Hysys ®

Para las etapas de sacarificación, fermentación, destilación y purificación del etanol, se sigue la misma ruta a describir en el caso de estudio II, obteniéndose un rendimiento del 85% con respecto a la sacarificación y fermentación de la celulosa y un rendimiento del 75% para la fermentación de los azúcares C_5 [12].

3.3. CONSUMO DE MATERIA PRIMA Y ENERGÍA

El sistema de producción de Bioetanol, se desglosa en tres subsistemas, radicados en la variación de las tecnologías de pretratamiento de la materia prima. El consumo de materias primas (fracciones y flujos máxicos) en cada etapa del proceso se presenta en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, para la vía de Ácido Diluido. Cada proceso a estudiar, está caracterizado en tres etapas: Etapa de Pretratamiento, de Fermentación y de Separación (deshidratación del etanol).

Tabla 3.1. Fracciones máxicas de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía I

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	H ₂ SO ₄	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	0.5	0,23	0,11	0,135	0	0,025
	Acido	15000	0.985	0	0	0	0.015	0
CRV-100	Vapor	50000	1	0	0	0	0	0

Tabla 3.2. Fracciones máxicas de entrada a la etapa de Fermentación Vía I

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CaO
Mix-105	4	54070	1	0
CRV-106	Inoculo 3	5	1	0
CRV-107	Inoculo 2	5	1	0
CRV-108	Inoculo 1	5	1	0
T-101	Agua Lavado	5000	1	0
CRV-101	CaO	128,6	0	1

Tabla 3.3. Flujo máxico de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía I

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	H ₂ SO ₄	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	25000	11500	5500	6750	0	1250
	Acido	15000	14775	0	0	0	225	0
CRV-100	Vapor	50000	50000	0	0	0	0	0

Tabla 3.4. Flujo máxico de entrada a la etapa de Fermentación Vía I

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CaO
Mix-105	4	54070	54070	0
CRV-106	Inoculo 3	5	5	0
CRV-107	Inoculo 2	5	5	0
CRV-108	Inoculo 1	5	5	0
T-101	Agua Lavado	5000	5000	0
CRV-101	CaO	128,6	0	128,6

El estudio de la energía consumida responde según lo estipulado en la norma ISO 14.042:2000 [4], en su apartado 5.3 se recomienda elegir uno de los parámetros más relevantes para el chequeo de fiabilidad de los inventarios empleados en el ACV de un producto o proceso. Por ello en las tabla 3.5 de este capítulo y en las tablas 3.18 y 3.19 del Anexo 3, se presenta el consumo de energía en (kJ/h) requerido, para la fabricación de Bioetanol, para todos los inventarios y vías de

obtención utilizadas. Los datos fueron suministrados por las simulaciones de estudios anteriores realizados en Aspen Hysys®.

Tabla 3.5. Flujo de Energía suministrado a la Vía I

ETAPAS DE PROCESO	EQUIPO	CORRIENTE	UNIDAD kJ/h	TOTAL kJ/h
PRETRATAMIENTO	BOMBA	P-100 -Q1	38580	38580
FERMENTACION E HIDRÓLISIS	REACTORES	CRV-106-QTR1	1560000	6252839
		CRV-107-QTR2	1560000	
		CRV-108-QTR3	1560000	
		CRV-109-QTR4	1571000	
	BOMBA	P-101-QPUMP2	1839	
OPUS	COLUMNA DE	T-102 QREBSC	40230000	53710500
	DESTILACION	T-103 QREB2	12810000	
	INTERCAMBIADORES	E-107-QVAP	670500	

3.4. INGRESO DE CELULOSA AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Para la determinación de la celulosa, se estableció la cantidad de celulosa presentada en las tabla 3.6 de este capítulo y las tablas 3.22 y 3.24 adjuntas en el Anexo 3, en donde, las especificaciones de entrada (cargas de masa) para cada producto químico y la correspondiente electricidad, provienen de datos NREL en la fabricación de caldo de la enzima a utilizar, registrados en las tablas 3.7 y 3.23 y 3.25 del Anexo 3 de cada vía de estudio. El caldo tiene una concentración de 83,2 g celulosa por kg de caldo. Los módulos del inventario del ciclo de vida referente a todos los insumos químicos y energía suministrada, incluida la electricidad, fueron tomados del Software Gabi® de estudios anteriores del etanol para realizar el ACV [14].

Tabla 3.6. Composición de Celulosa utilizada en la Vía I

CORRIENTE	FLUJO Kg/h	Composición Celulosa	Kg
ASSF	24080	0,477564	11499,74112

Fuente: Software de simulación Aspen - Hysys®

1 Kg Celulosa → 20 FPU Celulosa
 11499,74112 Kg Celulosa → **229994,8224 FPU Celulosa**
 1 Kg Celulosa → 600000 FPU Celulosa
0,383324704Kg Celulosa ← 229994,8224 FPU Celulas
 0.0832 Kg Celulosa → 1 Kg Caldo
 0,383324704 Kg Celulosa → **4,607268077 Kg Caldo**

Tabla 3.7. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la vía I

Materia Prima	NH3	(NH4)2*SO4	CaO	H2SO4	LPG	Caldo
Kg/ton Bagazo	48	16	58	78	0,2	200,2
Composiciones	0,23976024	0,07992008	0,28971029	0,38961039	0,000999001	1
Materia Kg	1,104639699	0,368213233	1,334772969	1,79503951	0,004602665	4,607268077

Fuente: Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies

$$0,0832 \text{ Kg Celulosa} \rightarrow 8,6 \text{ MJ Electricidad}$$

$$0,383324704 \text{ Kg Celulosa} \rightarrow 39,62250546 \text{ MJ Electricidad}$$

3.5. PRODUCCIÓN DE ETANOL-VINAZA

Empleando la densidad del etanol de 796 kg/ m³, suministrada por el Software Aspen - Hysys[®], y la correspondiente cantidad de producto obtenido (Etanol) en kg, se procedió a determinar el volumen o capacidad producida de etanol en cada vía de pretratamiento. A su vez se empleó una relación de 11,01 litros de vinaza por cada litro de etanol producido [15]. Seguidamente se determinó la cantidad de masa para cada componente de la vinaza, con el debido uso de porcentajes de composición procedente de la melaza obtenida de la caña de azúcar, factores que permiten relacionar las posibles fuentes de emisión al medio ambiente. Los datos de cada vía se presentan en las tablas 3.8 (3.27 y 3.28 del Anexo 3).

Vía de obtención con Ácido Diluido

$$7238,305422 \text{ Kg Etanol} \rightarrow 9,09334852 \text{ m}^3 \text{ Etanol}$$

Relación de vinaza/etanol:

$$9,09334852 \text{ m}^3 \text{ Etanol} \rightarrow 100,1177672 \text{ m}^3 \text{ Vinaza}$$

Tabla 3.8. Composición de Vinaza, Vía I

Sustancia	% Kg/m ³	Unidad Kg
N2	0,77	77,0906807
P205	0,19	19,0223758
k20	6	600,706603
CaO	2,45	245,28853
MgO	1,04	104,122478
SO	3,73	373,439272
Fe	17,78	1780,0939
Cu	5	500,588836
Zn	3	300,353302
Mn	8	800,942138
Materia Orgánica	52,04	5210,12861
Total		10011,7767

Fuente: Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinaza [27]

3.6. EMISIONES OBTENIDAS

Las tablas 3.29, 3.30 y 3.31 del Anexo 3, relacionan el inventario obtenido del Software Simapro 7.1[®], en donde se encuentran las corrientes de entrada, salida y las emisiones generadas en la elaboración del producto (etanol) o coproductos (lignina, vinaza, oxido de calcio, entre otros).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ACV PARA CADA UNA DE LAS RUTAS DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL Y SELECCIÓN DE LA VÍA CON EL MENOR IMPACTO AMBIENTAL

4.1. PRETRATAMIENTO CON ÁCIDO DILUIDO (AD)

El impacto ambiental generado por el pretratamiento del bagazo de caña con AD, tiene su importancia en el ámbito de estudio de orgánicos respirados y cambio climático. La evaluación de daño, como resultado de la simulación en Simapro7.1[®], se muestra en la figura 4.6 del Anexo 4. Para este tipo de pretratamiento, el proceso de formación de la vinaza contribuye con el 73% de la contaminación clasificada como orgánicos respirados, mientras que en la categoría de cambio climático su aporte corresponde al 44% de toda la contaminación; no obstante, la formación de sulfato de calcio y óxido de calcio, debido a que se agrega cal para regular el pH y generar la precipitación de la lignina diluida, producen contaminantes incluidos en la categoría de cambio climático, con un 3% y 19% respectivamente, de toda la influencia en esta área. Lo anterior se plantea partiendo de que la producción del alcohol lignocelulósico ocupa el 100% de las áreas de estudio.

La evaluación por puntuación única muestra los eco puntos obtenidos y calificados por el Software (Figura 4.1) [16], para cada uno de los procesos de generación tanto de productos como de residuos y subproductos. La gráfica muestra claramente que el área de clasificación afectada es el cambio climático, se puede inferir que las cargas emitidas de CO₂ y el gasto de combustible en la producción de energía para los procesos, arroja grandes cantidades de contaminación clasificada en perturbaciones del clima (Ver Anexo 3, tablas 3.18 y 3.30). La formación de la vinaza califica con 4,7 eco puntos de contaminación, equivalente al 43% de la contaminación total; mientras que la formación de sulfato

de calcio y óxido de calcio, favorecen el cambio climático con un 4,3% y 19% respectivamente, esto para dar 11 eco puntos totales, los cuales corresponden a la evaluación de todo el proceso de obtención de bioetanol con este pretratamiento, dada por el simulador (Simapro7.1[®]).

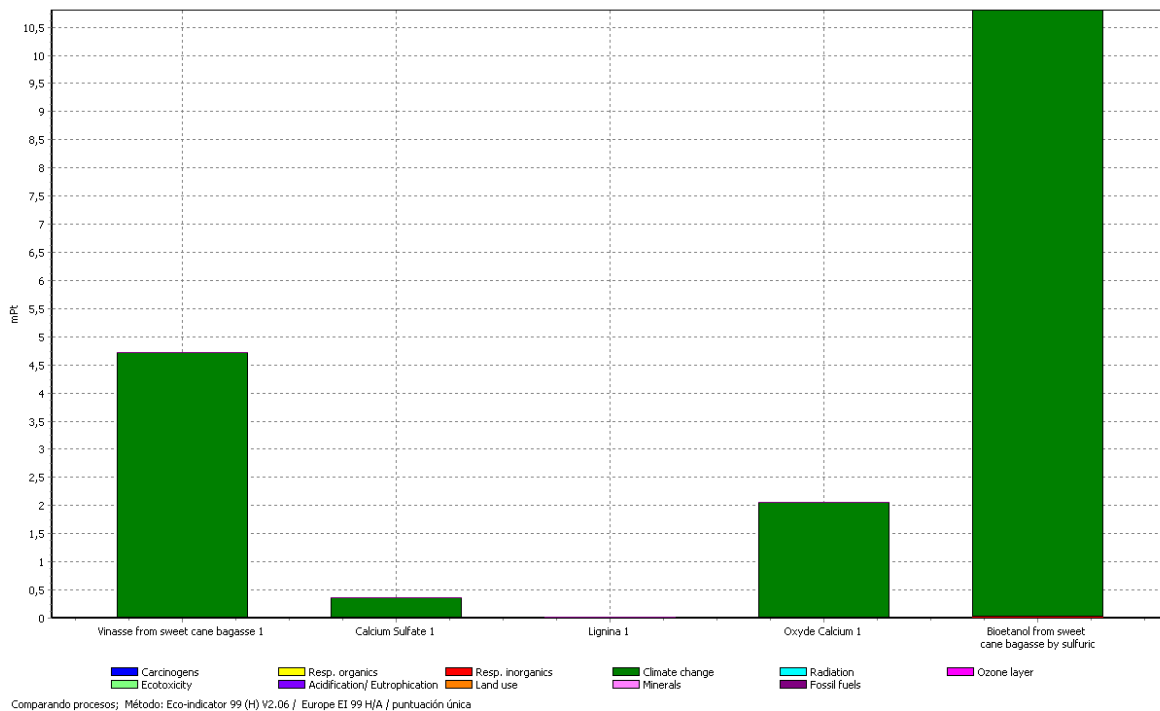


Figura 4.1. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Ácido Diluido

La influencia de la formación de energía para estos análisis, se tomó en base a la producción generada por la planta hidroeléctrica Santa Ana, la cual produce 20.642 Tg CO₂ /año como emisiones [28]. En la figura 4.7 del Anexo 4, se señala la evaluación del impacto ambiental generado por el consumo de energía para cada uno de los procesos: Pretratamiento, Bioproceso y procesos de separación. (Ver tablas 3.5 del Cap. 3). Se muestra que el gasto de energía más alto corresponde a la última etapa, antes mencionada, la cual aporta alrededor de 87,3% de toda la contaminación generada para producir dicha energía, a su vez, el gasto energético en el pretratamiento del bagazo no se compara con ésta, ni con el aporte de contaminación dada por el proceso de fermentación cuyo aporte fue del 11%.

4.2. PRETRATAMIENTO CON EXPLOSIÓN DE VAPOR (EVS)

Los resultados de las pruebas de evaluación, al igual que en el anterior caso, presentan repercusión en las mismas áreas de estudios medio ambientales, pero en este caso sin la formación de compuestos de calcio y con mayor aumento de impacto, generado por la producción de vinazas. La Figura 4.8 del Anexo 4 muestra que la contaminación por formación de vinazas corresponde al 72,5% , en las dos áreas de estudio, atribuyéndose el impacto con este pretratamiento, a la formación de vinaza y como tal a la formación de alcohol etílico. Se presenta una diferencia marcada en estas dos vías de pretratamiento, mientras que la primera corresponde al uso de ácido y formación de compuestos de calcio, ésta solo trabaja con vapor saturado, pero a condiciones altas de operación, cuya temperatura está alrededor de 220°C y una presión de 22,9 atm, lo que indica altos consumos de energía de operación como se muestra en la tabla 3.18 del Anexo 3.

Los eco puntos se muestran en la Figura 4.2, la gráfica de puntuación única, rectifica que el principal aporte de impacto ambiental es generado por la producción de vinaza; en comparación con el pretratamiento hecho por la vía de ácido, para este caso la formación de compuestos de calcio, es nula, debido a que en esta vía de pretratamiento, la regularidad del pH no se hace por la aplicación de cal ni es alterada por la presencia de ácidos. Disminuyendo los eco puntos del proceso de obtención del etanol a 8,2 eco puntos, lo cual indica que este proceso es menos contaminante que el de la vía por ácido la cuál es calificada con 11 eco puntos. Es importante tener claro los compuestos emitidos, así como las cantidades y el área de alcance ya que los inventarios de ACV muestran datos claros de emisiones propias de cada proceso, estos datos son los que permiten al Software, arrojar un resultado. Los eco puntos 8,2 y 11 para el caso de EVS y AD, respectivamente. (Ver tablas 3.29 y 3.30 del Anexo 3).

En la figura 4.9 del Anexo 4, se presentan las emisiones por parte del gasto de energía para el pretratamiento, corresponde al 1,9%, 11,15% en el bioproceso y por último con un 44,23% en la etapa de operaciones de separación.

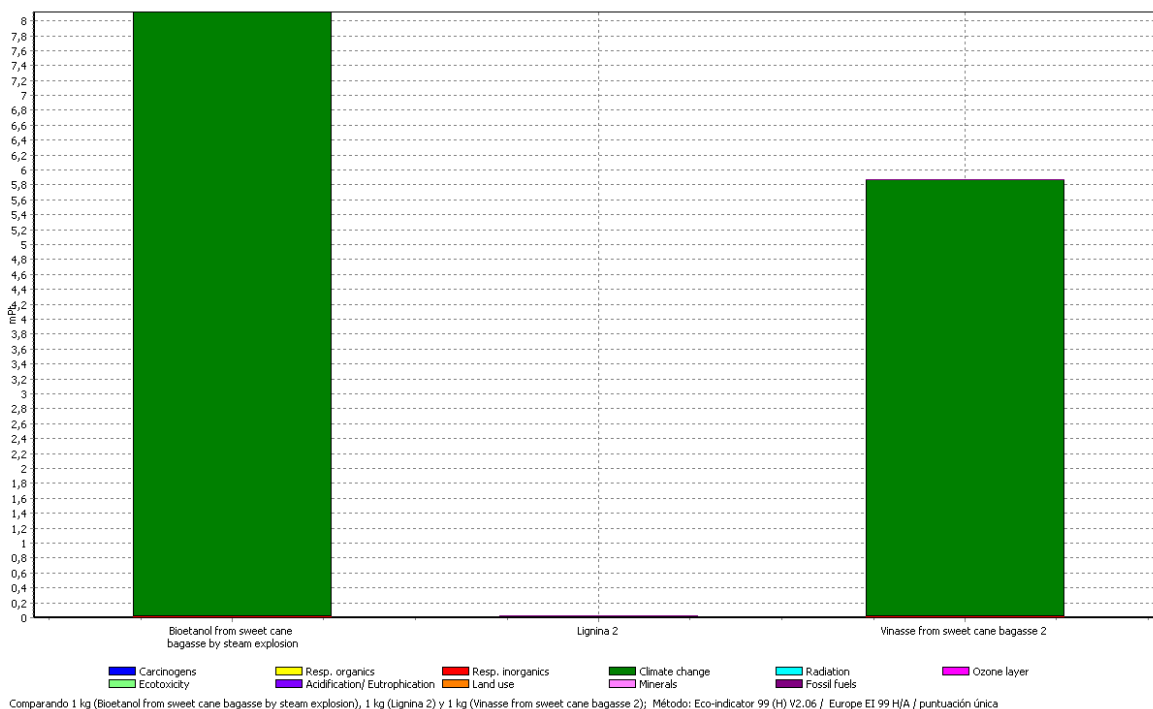


Figura 4.2. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Vapor Saturado

La energía necesaria en el pretratamiento para este caso, corresponde a casi 5.1 veces la energía en el pretratamiento llevada a cabo con AD (ver tablas 3.17 y 3.18 del Anexo 3); debido a que el tratamiento de la biomasa para la posterior hidrólisis, se hace en condiciones de saturación para el vapor de agua, así que esto implica un gasto energético importante por la caldera encargada de llevar el vapor a condiciones de saturación; este gasto de energía, mayor en comparación con el caso anterior, no hace que esta vía sea más contaminante, según la evaluación para la primera vía el gasto de energía es menor, pero el tratamiento con AD y la formación de óxido de calcio y sulfato de calcio, aumentan los índices de impacto, haciendo que la vía con AD resulte ser más contaminante que la vía con EVS.

4.3. PRETRATAMIENTO CON SOLVENTE ORGÁNICO (SO)

El resultado del ACV del caso de pretratamiento con SO, tiene impacto solo en el área de cambio climático, ésto debido a que las altas cantidades de energía necesaria para los procesos de producción de bioetanol es mucho mayor comparado con el de las vías antes mencionadas (ver tabla 3.19 del Anexo 3); es importante aclarar que este pretratamiento presenta operaciones de separación, lo cual hace que esta vía tenga más gasto energético en todo el proceso como tal en relación con AD y EVS. Según el resultado de evaluación de impacto (ver figura 4.10 del Anexo 4), de un 100% de contaminación causada por la producción de etanol lignocelulósico para esta variante en el pretratamiento, la generación de vinaza contribuye al impacto en esta área de estudio con un 67% de contaminación total del proceso, mientras que la producción de lignina con casi 45%. Para esta vía, la lignina como subproducto cobra importancia, debido a que la producción de ésta aumenta. Si se compara con las vía anteriores, el impacto por la producción de lignina como desecho, supera en su totalidad los impactos generados por producción de ligninas en los anteriores casos, haciendo que este proceso realmente sea desfavorable para el medio ambiente y que según los estándares y métodos de evaluación de impacto no se recomienda la producción de biocombustible con este tipo de pretratamiento.

No obstante, la evaluación por puntuación única, corrobora las apreciaciones anteriores descritas por la interpretación de resultados por la evaluación de daño presentados en la Figura 4.3; el proceso es calificado con 29 eco puntos, correspondiente al puntaje más alto de los métodos analizados, mientras que la producción de lignina favorece el cambio climático con un 4,3% en este caso, es importante resaltar que la producción de lignina de procesos anteriores no aplica como impacto medioambiental comparado con esta vía. La vinaza se calificó con 19 eco puntos correspondientes al 65,5% de toda la contaminación en este caso de estudio. La vía de obtención de bioetanol con pretratamiento de bagazo de

caña con SO corresponde a la calificación más alta entre las tres vías de contaminación.

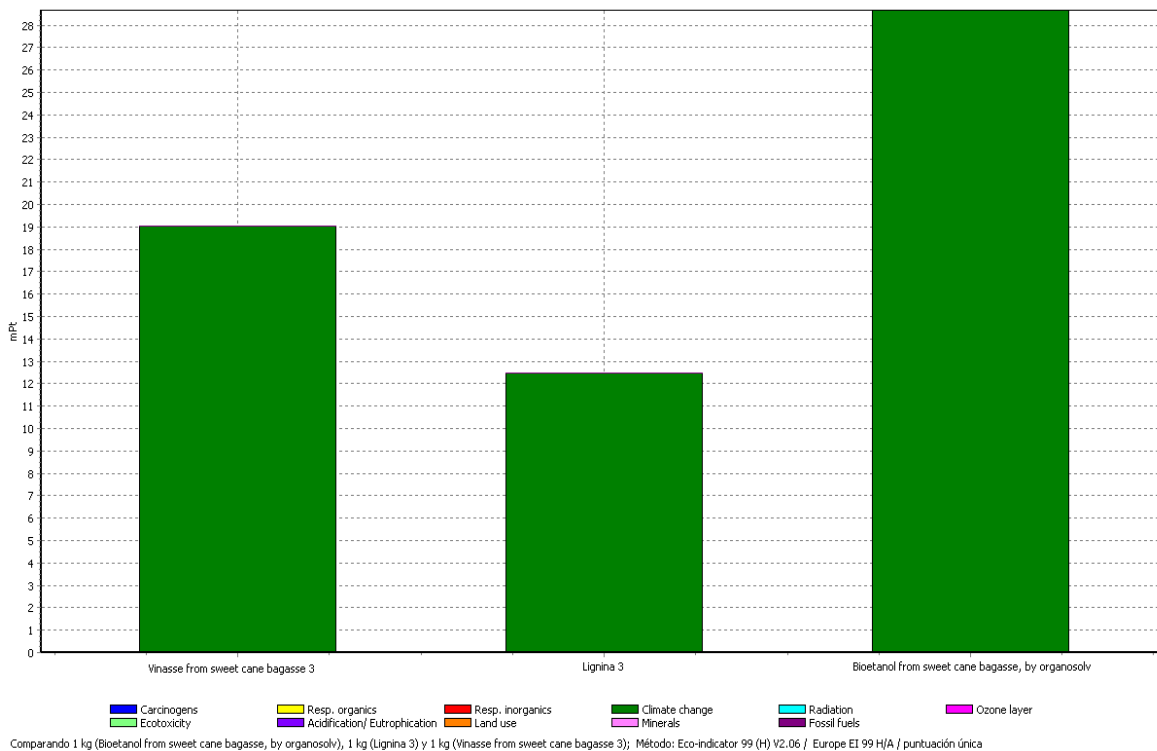


Figura 4.3. Puntuación única para los subproductos formados con el pretratamiento con Solvente Orgánico

4.4. COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE LA VÍA MENOS CONTAMINANTE

Los resultados comparativos para las tres vías se muestran en la Figura. 4.4, la cual presenta la evaluación por impacto. Al comparar los impactos ambientales en el área de estudio de cambio climático, se ve que la vía de pretratamiento que genera mayores emisiones, corresponde a la de SO y la de menor impacto la de EVS. Se presentan barras de color azul, amarillo y rojo, para EVS, SO y AD, respectivamente. Las áreas de evaluación según el método ecoindicador 99 [17], corresponden a orgánicos respirados y cambio climático nuevamente, según los inventarios de ACV trabajados en el Software Simapro 7.1[®] los cuales se muestran en las tablas 3.29;3.30;3.31 del Anexo 3.

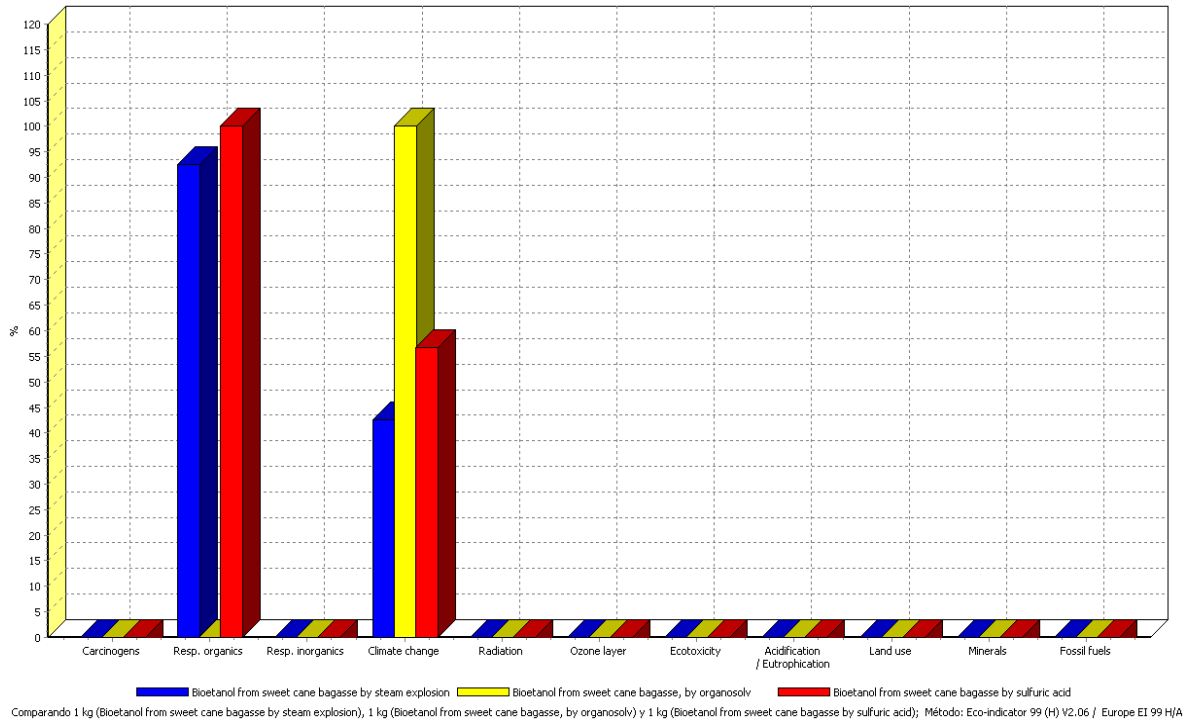


Figura 4.4. Evaluación de impacto ambiental para las tres vía de estudio

Los resultados por evaluación en el área de orgánicos respirados, muestran que la vías reincidentes son la de AD y EVS, la primera con un aporte del 98% y la segunda con un 100% ponderado en esta área para la cuál el impacto generado por la vía de SO no fue significativo. En está área de estudio y según los resultados por evaluación de daño , se afirma que la vía con mayor impacto corresponde a la del AD debido a la formación de coproductos cerámicos que en esta área generan un daño mayor comparados con la de otros petratamientos.

En el área de cambio climático, los tres procesos con variantes de pretratamiento del bagazo, impactan notoriamente, debido en su mayoría a las emisiones de CO₂ durante el proceso y durante la generación de energía necesaria total en la producción del biocombustible (ver tablas 3.17;3.18;3.19 del Anexo 3). De un 100% de impacto total ponderado, la vía con mayor valoración corresponde a la de SO, mientras que le sigue la de AD con un 57% y por último la de EVS con 43%, siendo ésta la que califica como la menos contaminante sin importar que también

califique en otras áreas de estudio debido a la valoración por eco puntos que tuvieron en la evaluación individual y la comparación que se muestra en la Figura 4.5 de puntuación única. Al comparar las tres vías y luego de la interpretación de resultados, se concluye que la vía con menor impacto ambiental es la de EVS calificada con 8,7 eco puntos equivalente a un aporte de contaminación del 43,5%, mientras que la contaminación generada por el pretratamiento con AD corresponde a un 52%, teniendo claro que el impacto más grave lo da la vía de SO con un 97,5% de toda el área de estudio de impacto al cambio climático.

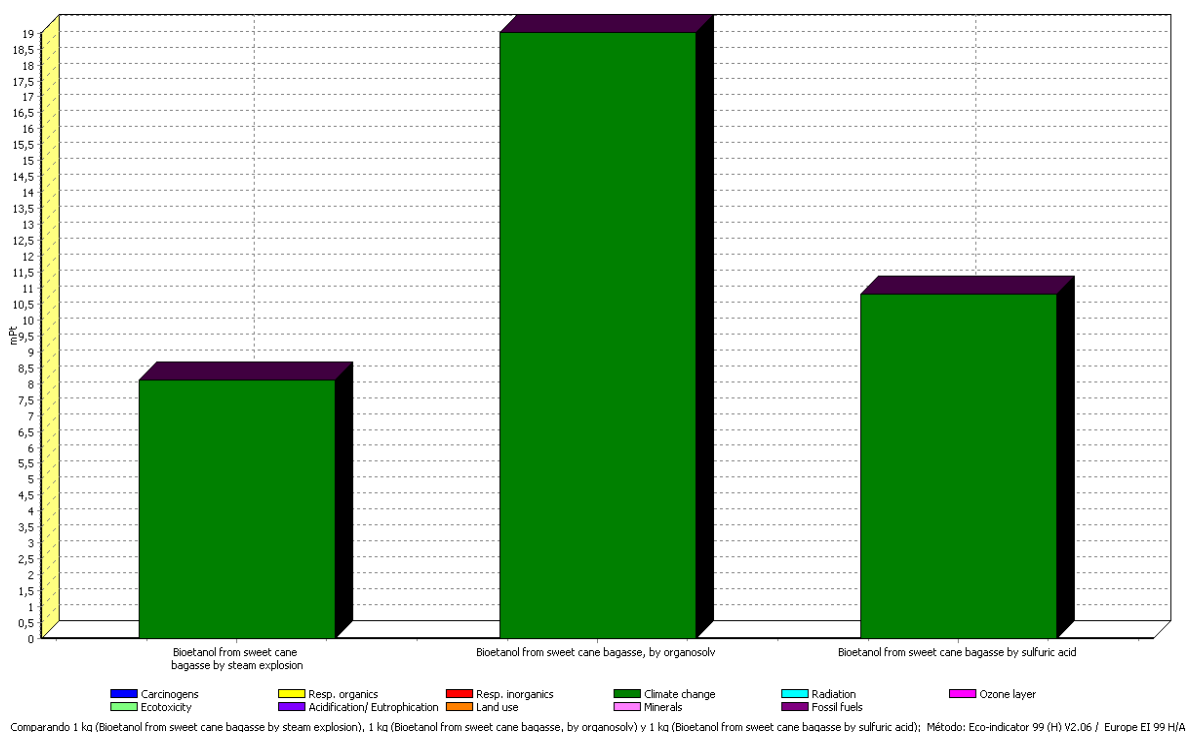


Figura 4.5. Puntaje único para los tres tipos de pretratamiento

La grandes cantidades de energía utilizadas en todo el proceso de obtención de bioetanol es acorde con el pretratamiento utilizado, éste se convierte en el parámetro de selección y de estudio para los criterios de ACV, ya que se tiene en cuenta la contaminación por emisiones generadas en la hidroeléctrica encargada de recolectar la energía para posteriormente ser utilizada en los procesos, sin embargo se tienen en cuenta también las interferencias medioambientales por subproductos, coproductos y residuos generados en todo el proceso.

CAPÍTULO V

INTEGRACIÓN ENERGÉTICA PARA LA VÍA CON EXPLOSIÓN DE VAPOR SATURADO

El presente estudio de integración energética fue realizado al proceso de obtención de bioetanol por SSF a partir de material lignocelulósico, utilizando la vía de pretratamiento Explosión de Vapor Saturado (EVS) y, analizado en capítulos anteriores y que a su vez es considerada como la mejor vía desde el punto de vista medioambiental, según resultados de análisis de ciclo de vida presentados en el capítulo IV. Para el desarrollo del proceso de integración energética se utilizó el Software Aspen HX – Net[®], con el objeto de plantear una red de intercambio energética óptima, que requiera un costo mínimo de servicios industriales, un número mínimo de intercambiadores y por consiguiente el costo mínimo de inversión, como criterios de selección. A través del Software anterior, se realizó el análisis y comparación de diferentes diseños energéticos del mismo proceso de obtención de etanol lignocelulósico para determinar la red de intercambio de energía con menor requerimiento de servicios industriales y menor impacto económico ambiental.

5.1. CORRIENTES SELECCIONADAS

Como primer paso, fueron seleccionadas las principales corrientes energéticas del proceso para ser consideradas dentro del análisis de integración energética. La caracterización de las corrientes a integrar energéticamente, se presenta en la Tabla 5.1, junto con el nombre abreviado de cada una de ellas.

Tabla 5.1. Descripción de las corrientes importadas

	NOMBRE DE CORRIENTES	T_{Entrada} °C	°T_{Salida} °C	Entalpia (KJ/h)
C1	Agua frsquisis_To_VAPOR	25,0	219,8	137.712.252
H1	A RECICLO_To_10	115,0	80,6	2.789.530
C2	A DESHIDRATACIÓN_To_A TAMIZ MOLEC	78,4	115,0	655.182
H2	A SSF_To_A SSF FRIA	100,0	55,0	5.080.845
H3	A FERMENTACION XILOSA_To_SOLUCIÓN XILOSA	100,0	50,0	14.520.122
H4	alcohol 3_To_etanol anhidro	115,0	25,0	7.300.442
H5	SOLUCION XILOSA_To_SOLUCION XILOSA FRIA	50,0	30,0	4.338.575
H6	To Condenser@COL3_TO_A DESHIDRATACIÓN@CO	78,6	78,1	35.504.349

En la Figura 5.1, se muestra el caso base de red de intercambio energético para el proceso previa a la integración. La Figura 5.1, contiene las corrientes con su respectivo nombre, grado de temperatura, al igual que el servicio industrial implementado como fueron el HP Steam (Vapor de alta presión), LP Steam (Vapor de baja Presión) para enfriamiento, y Cooling Water (agua de enfriamiento) para el calentamiento de las corrientes.

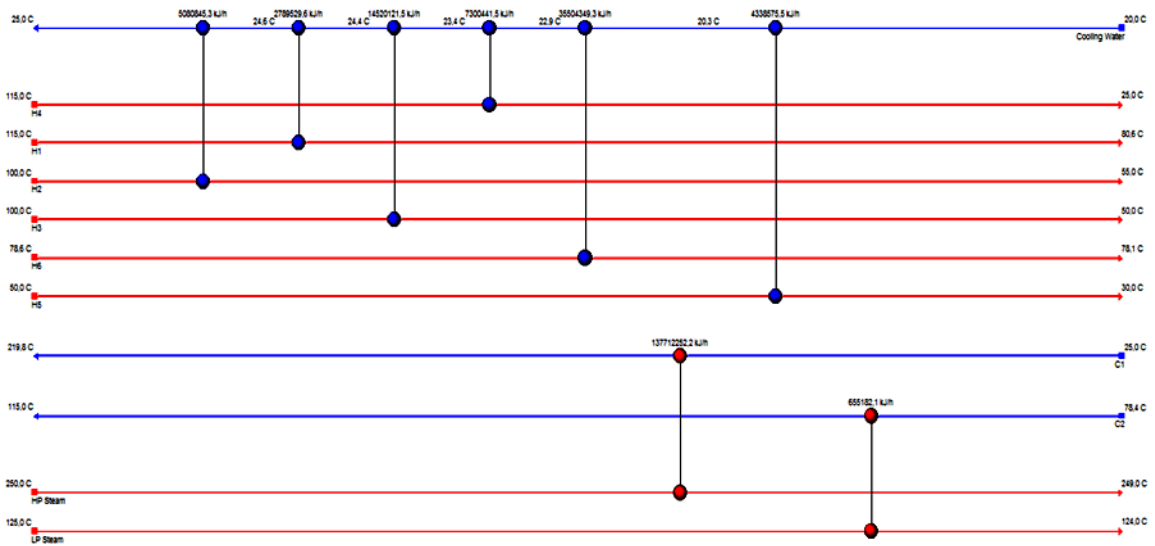


Figura 5.1. Red de Intercambio Energético, caso de estudio según extracción de datos de Aspen Hysys®

5.2. ANÁLISIS PINCH (PLIEGUE)

El análisis pinch realizado, es un proceso térmico de los servicios de calefacción y refrigeración; extraído mediante el uso de temperaturas, flujo de energía (Entalpía) y perfiles combinados en las curvas de composición para todo el proceso.

Utilizando la información reportada en la Tabla 5.1, se realizó el análisis pinch para este proceso utilizando un $\Delta T_{min} = 5^{\circ}C$. A través de esto se identificó los puntos pinch para el sistema (Tabla 5.2) y los requerimientos mínimos de servicios industriales de calentamiento y enfriamiento que pueden ser obtenidos con un adecuado intercambio de las corrientes frías y calientes del proceso (targets) (ver Tabla 5.3.).

Así mismo, cuando se hace variación de los servicios a utilizar en la red dejando fijo el valor del ΔT_{\min} se establece cual o cuales redes producen los menores costos de operación y del capital, siendo factores importantes a la hora de tomar la decisión de cual diseño energético es el apropiado para el proceso [18].

La figura 5.2 ilustra la curva de composición resultante del análisis pinch, y muestra cómo mediante la combinación de las corrientes de flujo caliente (línea roja) y corriente de flujo frío (línea azul), el potencial total de recuperación de calor del proceso se puede cuantificar con los perfiles de temperatura y entalpía graficados para en el análisis pinch, con el fin de determinar el máximo grado de reducción de los servicios energéticos.

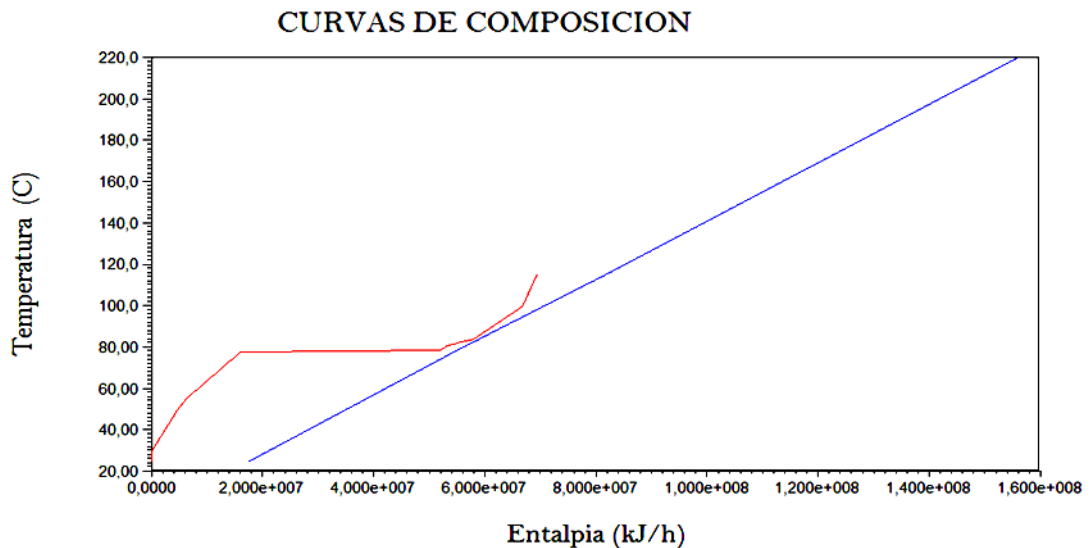


Figura 5.2. Curva de composición energética obtenida del Software Aspen HX - Net®

Validando las normas de diseño energético; el calor no debe ser transmitido a través del pinch, debido a que crea un aumento de servicios industriales; por encima del pinch los servicios de refrigeración no deben ser utilizados y por debajo del pinch, los servicios de calefacción no se utilizan [19].g

Tabla 5.2. Temperatura Pinch °C obtenidas del Software Aspen HX - Net®.

Caliente	Fría
125	120
84.5	79.5

5.3. OBTENCIÓN DE DISEÑOS ENERGÉTICOS

Los diseños obtenidos en la simulación de Aspen HX – Net[®] y los requerimientos de servicios industriales para cada diseño, se muestran en la Tabla 5.3 la cual permiten evidenciar la cantidad de energía utilizada en cada corriente fría y caliente. El número mínimo de unidades por red de intercambio de calor es presentado en la tabla 5.5 del Anexo 5.

Tabla 5.3. Especificación de los Diseños obtenidos de Aspen HX - Net[®]

Diseño	Energía KJ/h	
	Calentamiento	Enfriamiento
Targets	88.340.000	19.510.000
Caso Base	138.367.434	69.533.863
Diseño 1	88.686.505	19.852.934
Diseño 2	92.840.000	24.000.000
Diseño 3	94.674.613	25.841.041
Diseño 4	89.601.178	20.767.607
Diseño 5	91.102.812	22.269.241
Diseño 6	94.610.417	25.776.845

Posteriormente, en la tabla 5.4 se presenta la comparación de la cantidad de energía intercambiada y requerida en los servicios industriales para cada diseño obtenido de Aspen HX – Net[®] con respecto al caso base, y a su vez el porcentaje máximo de reducción que puede obtenerse del proceso actual respecto a los Targets identificados, en pro de analizar los resultados y seleccionar el diseño que conlleve a la máxima reducción en porcentaje del ahorro de energía y consumo de servicios energéticos del proceso.

Tabla 5.4. Comparación de los diseños obtenidos de Aspen HX - Net[®]

Diseño	Energía KJ/h		Reducción %	
	Calentamiento	Enfriamiento	Calentamiento	Enfriamiento
Caso Base	138.367.434	69.533.863	36,16	71,94
Diseño 1	88.686.505	19.852.934	35,91	71,45
Diseño 2	92.840.000	24.000.000	32,90	65,48
Diseño 3	94.674.613	25.841.041	31,58	62,84
Diseño 4	89.601.178	20.767.607	35,24	70,13
Diseño 5	91.102.812	22.269.241	34,16	67,97
Diseño 6	94.610.417	25.776.845	31,62	62,93

En las figuras 5.4 a la 5.8 del Anexo 5 se encuentran los diseños del ordenamiento de la red de intercambiadores de calor y la transferencia de energía suministrada por los servicios industriales, arreglos obtenidos por la simulación en Aspen HX-Net[®]. Para la selección del mejor diseño de integración energética, se obtuvieron los datos de acuerdo con los resultados presentados en la tabla anterior y se estableció que después de haber comparado el caso base con el target obtenido, da como resultado una reducción del 36.16% de servicio de calentamiento y un 71.94% de servicio de enfriamiento, parámetros establecidos para la comparación con los diseños obtenidos y que por similitud o proximidad, se hizo selección del diseño 1 presentado en la figura 5.4 en donde los círculos blancos representan el número de intercambio energético entre las corrientes frías y calientes del proceso, con un porcentaje de disminución de 35.91% en servicio de calentamiento y un 71.45 % en servicio de enfriamiento.

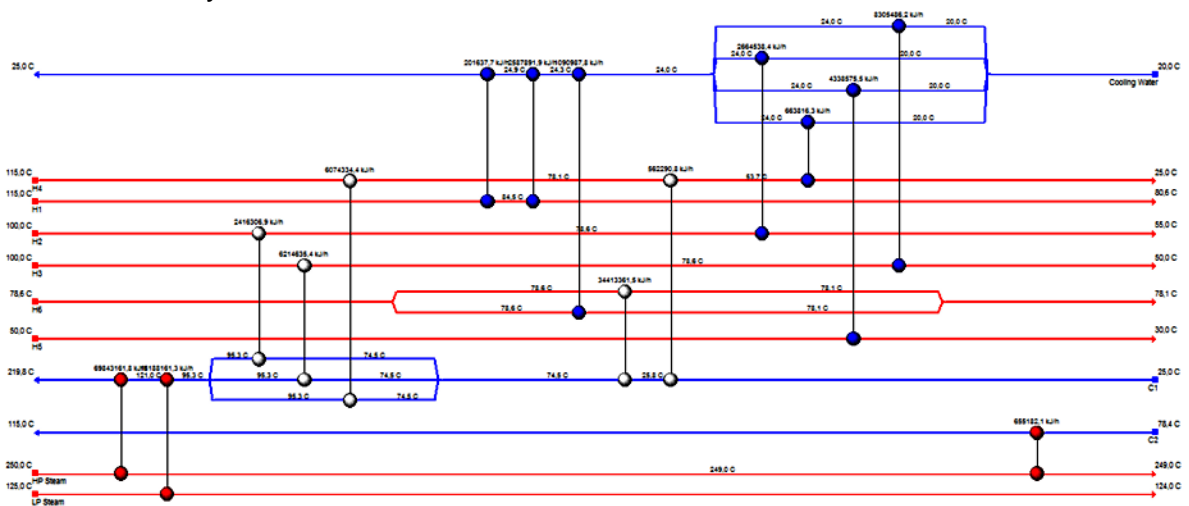


Figura 5.3. Red de Intercambio Energético, Diseño 1 obtenido del Software Aspen HX - Net[®]

Otro criterio de selección fue el número de unidades de intercambio de calor utilizadas dentro del proceso según la Tabla 5.5, siendo así que el diseño 1 cuenta con 15 unidades representando un menor costo en la inversión de capital y reducción de los servicios industriales después de realizar la integración energética, a su vez se comparó el área de estudio siendo de 1.365 m² mayor a los casos con igual número de intercambiadores.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Las evaluaciones de impacto ambiental y calificación por eco puntos para cada una de las rutas individuales y las comparaciones, se realizó mediante el Software Simapro 7.1[®] cuyo método utilizado fue el ecoindicador 99, y según el análisis realizado para cada una de la rutas de pretratamiento, se seleccionó la vía con menor impacto ambiental según los criterios de evaluación del Software mencionado. Según los estudios ambientales de ACV realizados para cada una de las rutas de pretratamiento del bagazo de caña, se afirma que el proceso que menos causa daño por emisiones al ambiente corresponde al pretratado con Explosión de Vapor Saturado, cuya valoración fue de 8,7 eco puntos, equivalente a un aporte de contaminación del 43.5%, mientras que la contaminación generada por el pretratamiento con Ácido Diluido corresponde a un 52%, y el impacto más grave lo presentó la vía de Solvente Orgánico con un 97.5% de toda el área de estudio de impacto al cambio climático.

De acuerdo al análisis de integración energética del proceso realizado con el Software Aspen HX-Net[®], para la vía con menor impacto ambiental (Explosión de vapor saturado) según los datos de ACV, se pudo diseñar una red de intercambio de calor que a partir de su implementación permitiría una reducción en el consumo de energía y de los servicios industriales representando una disminución de los costos de operación del proceso, ya que su uso favorece la protección del medio ambiente, permitiendo obtener productos que permitan generar un mayor valor agregado a dicho recurso. Adicionalmente, durante el desarrollo de este trabajo se evidenció la necesidad de análisis energéticos para los procesos de producción de biocombustibles de segunda generación, los cuales tienen altos consumos energéticos en el proceso y por lo tanto es muy importante el diseño de redes de intercambio de calor como la propuesta en este estudio.

CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

Es importante realizar otros análisis, para corroborar la selección bajo este criterio; estudios de exergía y económicos de las tres vías, brindarán un apoyo en la selección de tipo de pretratamiento a ejecutar.

En la realización de la integración energética, es necesario seleccionar aquellas corrientes de proceso que requieran un intercambio significativo de energía y a su vez, establecer los servicios industriales con menor costo económico. Sin embargo, para una adecuada selección de la estrategia a implementar, es necesario apoyar los estudios energéticos con información económica que permita la adecuada selección de la mejor alternativa de diseño considerando el número de equipos requeridos representados en el costo de capital y los costos de operación, considerando los servicios industriales requeridos.

CAPÍTULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ISO 14040:1997. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Standard Organization.

[2] ISO 14041:1998. Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis.

[3] Lechón Yolanda, Cabal Helena, de la Rúa Cristina, Izquierdo Lucila, Sáez Rosa M^a, Monserrat F. San Miguel. Análisis de ciclo de vida de combustibles. Alternativas para el transporte, 2006.

[4] ISO 14042:2000. Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment. International Standard Organization.

[5] ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Standard Organization.

[6] Cardona T. Selección de Tecnologías apropiadas para la Producción de Etanol Carburante. EIDENAR, 2004.

[7] Quintero Dallos Viviana. Tesis de Maestría. Evaluación del potencial de producción de etanol combustible a partir de biomasa secundaria disponible en la agroindustria azucarera colombiana, 2009.

[8] N. Hamelink Carlos; Geertje van Hooijdonk, A.P.F., Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short-, middle and long term, in Biomass and Bioenergy. 2003.

- [9] Wyman, C.D., B, Elander, R. Hotzapple, M. Ladish, M. Lee, Y., *Coordinated development of leading pretreatment technologies* Bioresource Technology 96,, 2005.
- [10] Sánchez, O.J.C., C.A. , *Producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas*. Interciencia 30, 2005.
- [11] Moiser, N.e.a., *Features of promising technoogies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology 96,, 2005.
- [12] Sun, Y.C., J., *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. . Bioresource Technology 83,, 2002.
- [13] Silverstein, R.A.C., Y.,& et al *A Comparasion of Chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks*. Bioresource Technology 98, 2007.
- [14] Sheehan, J., Aden, A., Riley, C., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Lightle, D., Walsh, M., Cushman, J., Nelson, R., 2002. Is Ethanol from Corn Stover Sustainable? (Draft). National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
- [15] J. Sánchez Oscar, A. Cardona Carlos. Department of Chemical Engineering, National University of Colombia at Manizales. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks.
- [16] Goedkoop Mark y Oele Michiel, *Introducción a LCA con Simapro, versión 3.0.1*. 2004.
- [17] Goedkoop Mark y Oele Michiel. *Manual y Tutorial Simapro 6 (Programa Tutorial Simapro 6)*.
- [18] Arturo Jimenez Gutierrez, editorial Reverte S:A *Proccess of Design of chemical Engineering*. 2003.

- [19] Mahmoud M. El-Halwagi, Process Integration. Capitulo 9. HEAT INTEGRATION. First edition 2006. Volume 7.
- [20] Wyman, C.E. Potential Synergies and Challenges in Refining Cellulosic Biomass to Fuels, Chemicals, and Power. *Biotechnol. Prog.* 19, (2003) 254-262.
- [21] González, E., S. D. Romano, M. A. Laborde, Combustibles Alternativos, Ediciones Cooperativas. Argentina (2005).
- [22] Lynd LR Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: Technology, Economics, the Environment, and Policy. *Annu. Rev. Energy Environ.* 21: (1996) 403-465.
- [23] Sun, Y., Cheng, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology.* 83, (2002) 1-11.
- [24] Claassen P, Van JB, López AM, Van Niel EWJ, Sijtsma L, Stams AJM, Vries SS, Weusthuis RA Utilization of biomass for the supply of energy carriers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52: (1999) 741-755.
- [25] Kobayashi, S. Sakamoto, J. Kimura, S. In vitro synthesis of cellulose and related polysaccharides. *Prog. Polym. Sci.* 26 (2001) 1525-1560.
- [26] Sabrina Spatari , David M. Bagley , Heather L. MacLean. Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies. Pag 657.
- [27] Carlos O. Briceño Rafael Quintero, Silvio F. Cadena , Gloria y Orlando; Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinaza 1983).
- [28] Santa Ana Hydroelectric Project, Renewable Energy type located in Bogotá Cundinamarca.

GENERALIDADES DEL ETANOL LIGNOCELULÓSICO

El desarrollo de la industria del etanol a partir de biomasa lignocelulósica, se ha incentivado a nivel mundial debido a beneficios como el aumento de la seguridad energética nacional, la reducción de emisiones de gases de invernadero, el uso de recursos renovables con impactos positivos sobre las economías de comunidades rurales y la sociedad en general [20]. La producción de bioetanol ha estado limitada a usar aquellas fuentes de azúcar que están disponibles en forma soluble, tales como sacarosa, mieles obtenidas de la caña de azúcar y la fructosa obtenida de la planta de maíz. Aunque estos azúcares solubles están disponibles de forma directa, su valor relativo tiende a ser mayor que el del resto de la planta (hojas, tallo, etc.) que no son materiales que están disponibles para consumo humano de forma directa, y que realmente tienen un valor mucho menor y en muchos casos son considerados desperdicios [21]. Debido a esto, nuevas tecnologías de producción han sido desarrolladas con el objetivo de obtener etanol a partir de biomasa lignocelulósica aprovechando su alto contenido de celulosa y hemicelulosa.

Los materiales lignocelulósicos, incluyendo los productos de origen agrícola y forestal, están constituidos por tres biopolímeros estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina, y una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua (fracción hidrosoluble), presentando pequeños contenidos en proteína y sales minerales. Los residuos del procesamiento de biomasa, como el bagazo de caña, constituyen una alternativa prometedora como fuente de azúcares reductores que pueden ser fermentados para la obtención de bioetanol y otros combustibles de segunda generación, luego de unas etapas previas de procesamiento. El bagazo de caña es un residuo lignocelulósico del proceso de extracción de azúcar y es un material abundante y de bajo costo. Está formado principalmente por celulosa (23-53%) hemicelulosa (20-35%) y lignina (10-25%).

El pretratamiento de la biomasa lignocelulósica es una etapa fundamental dentro del proceso de hidrólisis enzimática ya que permite que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten al menos el 20% de los rendimientos teóricos a valores mayores del 90% [22], esto hace al material más susceptible y accesible para la etapa posterior y permite además, separar las fracciones celulosa, hemicelulosa y lignina. Debido a esto, muchos pretratamientos han sido propuestos y estudiados para separar las fracciones y degradar el material lignocelulósico [23], pero ninguno de estos se pueden aplicar en forma genérica a las diferentes materias primas [24]; esto justifica la realización de análisis detallados de estas tecnologías en cada caso particular.

De esta manera la celulosa y hemicelulosa pueden ser sometidos a procesos de hidrólisis (ácida o enzimática), y de proceso de catálisis por agentes enzimáticos (celulasas) que son una mezcla de distintas actividades enzimáticas cuya acción conjunta produce la degradación de la celulosa. Luego del proceso anterior, se lleva a cabo la fermentación de las hexosas y pentosas para obtener etanol. McMillan, (1994) identificó diversos factores que afectan la hidrólisis de celulosa como la porosidad (superficie accesible) de los materiales de desecho, cristalinidad de la fibra celulosa y lignina, y contenido de hemicelulosa.

La acción enzimática sobre el material lignocelulósico ha sido estudiada por autores como [25] [23] y [20] resaltando la necesidad de un tratamiento previo del material que disminuya los efectos debido a la presencia de la lignina que es una barrera para el ataque enzimático y otros factores como la porosidad, la cristalinidad de la celulosa, y el grado de polimerización los cuales dificultan la accesibilidad de las enzimas reduciendo la eficiencia de la hidrólisis.

ETAPAS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

ETAPA 1. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ACV

Este primer elemento del ACV tiene como objetivo agrupar dos tipos de informaciones. En primer lugar, trata de esclarecer sin ambigüedades cuáles son las metas del estudio. Este punto se considera importante para encontrar respuestas para algunas cuestiones determinantes. [1]

El carácter descriptivo de las respuestas a estas cuestiones representa un importante paso documental. En el informe se definen compromisos y responsabilidades para garantizar el empleo ético de los resultados, como también los niveles de accesibilidad de estos resultados. Al mismo tiempo también se establecen límites de carácter temporal y geográfico para el estudio. Sirve además para valorar políticamente los resultados del ACV.

El carácter interactivo de la metodología del ACV permite que el ámbito del estudio pueda modificarse cuando se recojan informaciones adicionales que perfeccionen los resultados. Otras consideraciones pueden añadirse en el caso de que aporten claridad al estudio. En la tabla 2.1 puede verse la potencialidad del ACV como herramienta para gestionar los aspectos medioambientales, especialmente por su adecuación a aquellos estudios que tengan como base conceptual el ciclo de vida del producto o servicio, basándose en lo descrito en el SETAC [1999].

Tabla 2.1. Aspectos generales de las herramientas para la gestión ambiental

OBJETIVO GENERAL	PUNTO FUERTE	PUNTO DEBIL
Entender el perfil medioambiental de un sistema.	Considera impactos global y regional.	No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto.
Identificar prioridad de mejoras.	Posibilita estimar los impactos que influyen la salud de la sociedad.	
Asegurar mejoras con fundamento en el ciclo de vida.		

En general, estos estudios se concentran en los flujos de entradas (materias, energías o productos inacabados) y salidas (productos acabados/inacabados, co-productos y residuos) de cada unidad del sistema (subsistemas). En la figura 2.1, se muestra los flujos de un sistema genérico con el objetivo de mostrar cómo este tipo de esquema auxilia la visualización holística de un cierto proceso de producción o producto. [2]

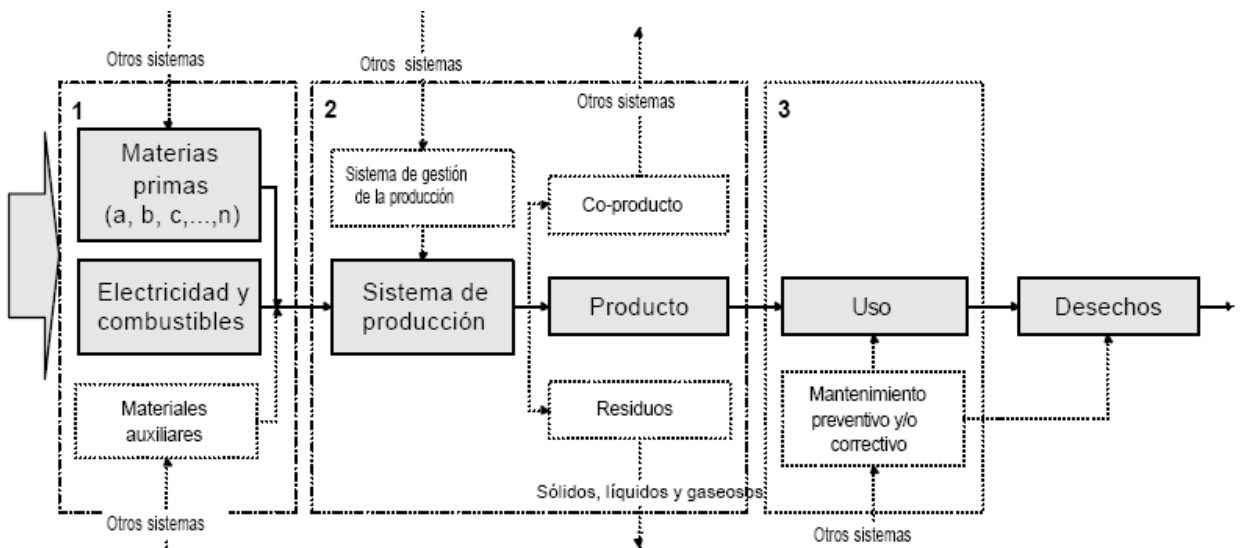


Figura 2.2. Flujo genérico del ciclo de vida de un producto [2]

1. Subsistemas de producción y suministro de materias primas y energías
2. Subsistemas de producción
3. subsistemas de uso y mantenimiento.

Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas (ISO International Standard, 1997). 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.

En 1994, se estableció dentro de ISO el comité técnico TC207 relacionado con la normalización de herramientas ambientales, incluido el ACV. Dentro de la normalización ISO deberán distinguirse entre normativas e informes técnicos. En el día de hoy se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

- ✓ 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).
- ✓ ISO 14041 (1998): 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).
- ✓ ISO 14042 (2000): 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 (ISO-14042, 2000a).
- ✓ 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 (ISO-14043, 2000b).

Se han elaborado además 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).

ETAPA 2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO

La norma ISO 14.041:1998, define el análisis del inventario como el elemento del ACV que "se preocupa por la colección de los datos y los procedimientos de cálculos para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema de producción en estudio". En la revisión de la Guía del ACV del Centro de Ciencias Ambientales - CML, de la Universidad Leiden (Holanda), basándose tanto en consideraciones de la norma ISO 14.041 de 1998, como en otras referencias, recomendaron que se cumplan inicialmente algunos pasos prácticos. Entre estos:

- ✓ Partiendo del principio que los procesos fluyen siempre a otros procesos o al entorno ambiental, trazar un diagrama de flujo inicial del proceso, permitirá que de forma gráfica se aprecien los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios.
- ✓ La construcción del diagrama de flujo sobre el proceso debe iniciarse a partir del sistema de producción de la unidad funcional, agregando inmediatamente, los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía.

Sobre este tema, en la norma ISO 14.041, titulada *Procesos pertinentes y no pertinentes*, se recomienda que se tome como base la importancia económica y/o

la estimación de la relativa contribución a los impactos medioambientales producidos para definir los límites del sistema, estableciendo un análisis de sensibilidad con la intención de excluir todos aquellos procesos que demuestren poca influencia en el ciclo de vida del producto analizado. Sin lugar a dudas, considerar la especificidad y establecer reglas fijas para cada proceso resulta difícil para el procedimiento; en el momento de tomar tal decisión son necesarios criterios sólidos, perfectamente definidos y plenamente justificados, [Lindeijer, 1999]. Con estas consideraciones, otros procedimientos suplementarios deben constituir la fase de análisis de inventario en la práctica del ACV. Es de considerar globalmente los siguientes aspectos:

Recolección, valoración, aceptación y estructuración de los datos

Entre las principales dificultades encontradas para realizar un ACV figuran el disponer de inventarios que sean representativos del sistema objeto de estudio. Además, lo recomendado en esta fase del ACV, es tener mucho cuidado al escoger la base de datos, pues esta opción influye de forma muy significativa en los resultados de la valoración, de aquí que se exija una buena relación de fidelidad entre la base de datos y el sistema estudiado.

En este sentido, hacer una valoración de la calidad de los datos constituye un importante paso para tener en cuenta los niveles de incertidumbres que causan estos datos poco fiables. Según la ISO 14041 [1998], es necesario definir claramente los métodos que se utilizarán para recoger y componer datos, así como sus aspectos cuantitativos/cualitativos; aquí debe establecerse el nivel de fiabilidad y de representatividad de estos inventarios.

Además hay que fijar otros parámetros de representatividad, como el tiempo de validez, la zona geográfica y la tecnología que incluye el inventario, de igual modo que los requisitos cualitativos definidos en los objetivos y en el alcance del ACV propuesto. Por su parte a la hora de preparar la presentación de los datos del

inventario, debe tenerse en cuenta que la claridad de la información desempeña un importante papel a la hora de manejarlos en las distintas fases del ACV. Según sugiere la norma ISO 14.041:1998, la estructuración debe ser clara y los datos asociados a cada flujo de entrada y salida de cada unidad del proceso o producto y sus valores deben indicarse debidamente.

ETAPA 3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Este tercer elemento del ACV, tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales. Consta de una fase técnica, considerada obligatoria por la metodología y, otra opcional (de carácter político) por parte del interesado del proyecto. Los resultados tienen un valor informativo añadido para la toma de decisiones.

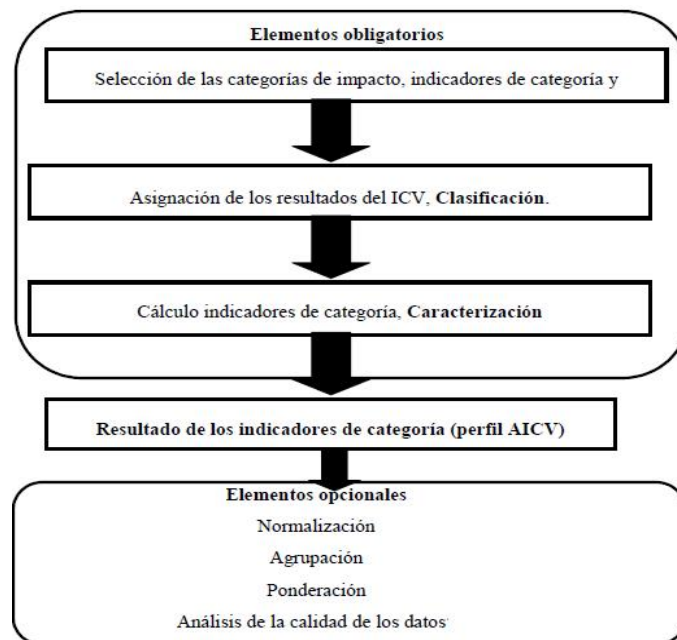


Figura 2.3. Elementos que componen la valoración del impacto del ACV [ISO 14.042, 2000]

Como puede observarse en la Figura 2.3 , propuesta por la norma ISO 1042:2000, en esta fase de la metodología del ACV se identifica como obligatorio cumplir los tres pasos siguientes: selección y definición de las categorías de impacto,

incluyendo los indicadores de categoría y modelos de valoración utilizados; asignación de los resultados del análisis del inventario conocido como la fase de *clasificación* y el cálculo de los indicadores de categoría, conociéndose este paso como *caracterización*. Todos estos elementos se describen de forma sintética a continuación, a la vez que se muestran algunos modelos utilizados para el cálculo de los indicadores de categorías de impacto. Asimismo, con respecto a los elementos opcionales e informaciones, mientras sean optativos, también se hacen algunas consideraciones de importancia y pasos a seguir para su elaboración.

SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO, INDICADORES DE LA CATEGORÍA Y MODELOS DE ESTIMACIÓN

En síntesis, las categorías de impactos son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, éstos son los objetivos y alcance del ACV. Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. El Centro de Ciencias Ambientales (CML) de la Universidad de Leiden – Holanda - [1992], clasificó algunas de estas categorías de impacto tal y como se muestra en la tabla 2.2. Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

Tabla 2.2 *Categorías de impactos consideradas más relevantes [CML, 1992]*

Entradas	Consumo -recursos renovables
	Consumo -recursos no renovables
Salidas	Calentamiento Global
	Incidencia en la capa de ozono
	Acidificación
	Eutrofización
	Formación fotoquímica de ozono
	Contaminación del aire por partículas
	Carcinógenos
	Metales pesados

Organizado jerárquicamente por el ámbito de acción, a continuación se describen algunas de esas categorías de impacto relacionadas con las salidas de los sistemas, mientras el consumo de energías constituye entradas al sistema sus evaluaciones ocurrirán en el ámbito de sus subsistemas producción. Asimismo, se indican algunas de las principales sustancias que desencadenan el mecanismo de actuación de las diferentes categorías de impactos señaladas.

Efecto global

De forma esquemática, en la figura siguiente se resume el mecanismo medioambiental del calentamiento global. Durante el proceso, los gases del efecto invernadero forman un “escudo” que atrapa localmente parte de la energía irradiada. Debido a ello las capas más bajas de la atmósfera se calientan, propiciando el calentamiento de la superficie del planeta. Las consecuencias, previstas por los expertos en climatología, son que se elevará de 1,4° C a 5,8° Celsius la temperatura media de la tierra en los próximos 100 años. Este cambio climático traerá consecuencias diversas, entre otras, aumento de la temperatura en los polos terrestres con deshielo de los glaciares; aumento del nivel de los océanos con pérdida de territorio de algunos países insulares; propagación de enfermedades tropicales a otros países de clima temperado; etc.

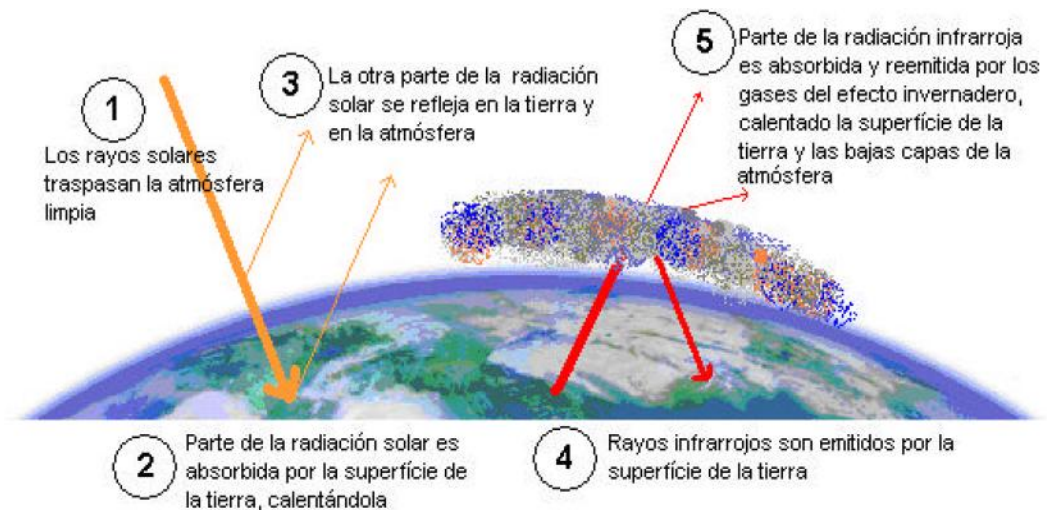


Figura 2.4 Mecanismo de calentamiento global

Efecto regional

Entre las categorías de efecto regional, se han elegido para ejemplificar su mecanismo dos de ellas: La *Acidificación* y la *Eutrofización* cuyos impactos medioambientales son originados, principalmente, por las emisiones del SO_2 y NO_x .

Cambio Climático

La tierra absorbe la radiación del sol. Esta energía es redistribuida por la atmosfera y los océanos y retornada en forma de radiación de infrarrojo térmico. Parte de esta radiación es absorbida por los gases existentes en la atmosfera provocando el calentamiento del planeta, a este fenómeno se denomina efecto de invernadero. Estos gases son principalmente el vapor de agua y el CO_2 , y otros gases como CH_4 , N_2O y CFC_s . La acción humana ha provocado un incremento de las emisiones de estos gases lo que lleva o puede llevar a un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto a una alteración de sus condiciones. Esta categoría de impacto afectara a las áreas de salud humana, ambiente natural y ambiente modificado por el hombre. El indicador que sirve para evaluar este impacto se expresara como CCI (Indicador de Cambio Climático), su medida es relativa y referente al efecto producido por un Kg de CO_2 .

Formación oxidantes foto-químicos

Bajo la influencia de la radiación solar, los óxidos de nitrógeno NO_x , reaccionan los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. La presencia de monóxido de carbono puede igualmente contribuir a la formación de ozono.

Estos oxidantes foto-químicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura. Afectando por tanto a las cuatro áreas de protección de salud humana y entornos natural y modificado por el hombre.

Acidificación

La acidificación conlleva, concretamente, al deterioro del medio ambiente y, en consecuencia, a la permanencia por tiempo limitado de las sustancias acidificantes en la atmósfera, en la zona cercana al punto de emisión.

El SO_2 (dióxido de azufre) constituye la sustancia principal que causa la acidificación, aunque, no resulta ser la única sustancia que provoca ese tipo de impacto al medio ambiente. Otras sustancias, entre ellas el NO_x (óxido de nitrógeno), presentes en los subsistemas de producción son, también, potencialmente responsables de los efectos acidificantes.

El SO_2 es un ácido anhídrido y al absorber humedad de la atmósfera (H_2O), reacciona dando lugar a la creación del ácido sulfuroso (HSO); además, cuando los iones de hidrógeno 2H^+ se disocian dan lugar a otro ácido anhídrido (SO). Ese último también absorbe la humedad y cambia a un ácido sulfúrico (HSO) con gran poder corrosivo para lixiviar su catión SO_4^{-2} .

La llamada “lluvia ácida” define claramente este fenómeno, pues al precipitarse sobre las superficies terrestres o acuáticas suelen dar lugar a reacciones que liberan los iones de hidrógeno y la posible lixiviación de cationes, a causa de la disminución de la cantidad de sustancias que neutralizan el H^+ , entonces aparece la alteración de la capacidad del medio para neutralizar los ácidos.

Del mismo modo, el NO_x (óxido de nitrógeno), que también es un ácido anhídrido tiene su efecto acidificante a partir de su reacción inicial en la troposfera con el ozono (O_3) convirtiéndose en ácido nítrico (HNO_3). El ion de hidrógeno (H^+) al disociarse del catión nitrato (NO_3^-) actúan aumentando, desencadenando el mecanismo de acidificación del suelo. Otras sustancias como el amoníaco (NH_3), HF (ácido fluorhídrico) y HCl (ácido clorhídrico) contribuyen también a la acidificación, pero la falta de datos de la cantidad de iones lixiviales durante estas

reacciones impiden la valoración de su importancia en esa categoría de impacto.

La principal fuente de emisión del SO_2 corresponde al consumo de combustibles fósiles, dependiendo del contenido de azufre del combustible y de la cantidad del combustible quemado. Las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles en la generación de electricidad también constituyen una fuente considerable de esas emisiones. Otras fuentes de emisiones provienen de los equipos mecánicos y vehículos de transportes que, asimismo, consumen combustible fósil. De hecho, esas emisiones suelen ser controladas mediante la reducción de las emisiones a la atmósfera con la instalación de sistemas de filtros en las instalaciones o vehículos que los utilizan.

Eutrofización

Las mismas emisiones de NO_x antes mencionadas también favorecen al enriquecimiento de nutrientes de las reservas acuáticas y suelos agrícolas. La elevación en el contenido de nitrógeno que resulta de la liberación del NO_3 (nitrato) en los ecosistemas causa un desequilibrio que favorece el desarrollo, sin control, de algas en las reservas hidrológicas que terminan por disminuir la cantidad de oxígeno necesario para que otros seres vivos sobrevivan en aquel hábitat. Por su parte, en los sistemas agrícolas el enriquecimiento del suelo con nitrógeno provoca el desequilibrio de la carga de sales nutrientes y pone en peligro la subsistencia de determinadas especies vegetales.

Con todo, las disociaciones que implican las emisiones de NO_x , al depositarse sobre las superficies terrestres o acuáticas suelen desencadenar reacciones con otros elementos químicos presentes en estos medios, y ello causa el desequilibrio de los ecosistemas receptores y resultando en impactos al entorno medioambiental. Con origen fundamentalmente en el tipo de combustible utilizado la producción de energía eléctrica, esas emisiones están asociadas directamente a los procesos energéticos empleados en los sistemas de producción.

Efecto local

Como ejemplo de las categorías de impactos de efecto local se presenta el mecanismo de impacto desencadenado a través del polvo. Este tipo de contaminante de la atmósfera conduce a una categoría conocida como *contaminación del aire por partículas*, que se manifiesta con más intensidad en períodos de invierno, por lo tanto, se la conoce también como *contaminación de invierno*

Contaminación del aire por partículas (contaminación de invierno)

Los efectos debidos a las emisiones de partículas sólidas (polvo) al aire resultan perjudiciales para la salud humana y otros seres vivos. A medida que estas partículas se mantienen en suspensión en el aire, y en función de su concentración, al ser respiradas por los seres vivos pueden causar daños irreversibles al sistema respiratorio. Entre las molestias registradas está la “silicosis”, que según informes médicos se produce en el individuo que aspira aire de atmósferas cargadas de partículas que contienen sílice (SiO_2). En los especímenes vegetales estas partículas se depositan sobre las hojas obstruyendo el sistema de respiración de las plantas. [3]

El hecho de permanecer por poco tiempo en suspensión en el aire y depositarse rápidamente en el suelo, resulta de la gran influencia que la fuerza y dirección de las corrientes de aire, su principal dispersor, ejerce sobre las partículas finas de polvo, imprimiendo, además, el carácter local de este impacto, dado que estas partículas, difícilmente consiguen alejarse demasiado de la fuente emisora.

Entre las emisiones que provocan la contaminación de invierno, aparece la sustancia de referencia SPM (materia de partículas suspendidas) que es en realidad el polvo, el hollín u otras partículas finas que no captan los filtros y salen por las chimeneas o se originan durante la extracción de recursos (p.ej.: en las canteras). Todas las partículas en suspensión presentes el aire originadas de los

sistemas de producción, tienen efectos impactante sobre o medio ambiente y lo mismo factor de caracterización que el polvo, o sea, el mismo grado de influencia y, por lo tanto, igual a 1.

ASIGNACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL INVENTARIO

El segundo paso trazado en la metodología se conoce con el término de *Clasificación*. En esta, los resultados del inventario se asignan respectivamente a cada unas de las categorías de impactos previamente seleccionadas. El procedimiento consiste en identificar y correlacionar todas las cargas ambientales a una o más categorías de impactos potenciales, es un procedimiento de rutina que se asigna a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado. Entre los requisitos necesarios para tal procedimiento destaca el conocimiento del comportamiento de estas cargas medioambientales y la actuación sobre los mecanismos medioambientales que éstas desencadenan. Es importante advertir que en algunos casos determinadas sustancias pueden actuar simultáneamente en más de una categoría de impacto. Por ejemplo, el dióxido de azufre, que contribuye a la *acidificación*, también contribuye a la *contaminación del aire por partículas*.

CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE CATEGORÍA

El último paso a seguir se conoce como *Caracterización*, el cual se lleva a cabo mediante la aplicación de 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.

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 una de ellas, miden la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en cada caracterización que se desea o fue escogida para evaluar.

ELEMENTOS OPCIONALES E INFORMACIONES

Tras la última etapa que se realiza en el ACV, existen otros tres pasos considerados opcionales, todos ellos de igual importancia para el análisis final del perfil medioambiental del producto o proceso analizado. Entre ellos, el primero es conocido como la etapa de Normalización. En esta fase se determina la magnitud de cada categoría de impacto caracterizada, teniendo en cuenta a un cierto indicador de referencia, cuyo ámbito es lo más adecuado para el tipo de análisis que se desea emprender.

Los datos de la normalización podrán servir de referencia según determinados criterios establecidos, donde los valores normalizados serán valorados según una ponderación establecida para atender objetivos o metas definidas por políticas medioambientales previamente establecidas, hasta que ocurra la reducción o total eliminación de estos efectos sobre el medio ambiente. Por ejemplo, los objetivos establecidos por los países miembros de la Comunidad Europea que, según el Protocolo de Kyoto (1987), asumieron el compromiso de reducir los gases del efecto invernadero, hasta el año 2010, en un 8% con respecto a los niveles de 1990.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales. Hay que tener en cuenta que la razón y los objetivos del ACV, seguramente necesita de una experta revisión de contenido científico, principalmente para aquellas categorías

de impactos cuyos valores que son más relevantes, teniendo en cuenta las limitaciones aún existentes en la herramienta para evaluar sistema un tanto cuanto complejo. Esta revisión debe incluir todos los aspectos metodológicos adoptados, clasificación, caracterización, normalización y será de gran utilidad a la hora de interpretar los resultados.

Por lo tanto, en esta última fase del ACV, los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados e interpretados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones permita 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.

ASPECTOS EVOLUTIVOS DEL ACV

Wrisberg et al, [1997] en el documento final del LCANET (Programa estratégico de investigación para el análisis del ciclo de vida), reconoce que las acciones del SETAC y de la norma ISO contribuyeron a un rápido desarrollo del ACV, y refuerza así los significativos aportes hechos en este sentido por el grupo de trabajo europeo. Entretanto, reconoce que todavía existen barreras que debieran vencerse para ampliar el empleo de esa técnica.

Entre ellas cita la necesidad de:

- ✓ Disminuir la complejidad del ACV. (Requiere un considerable nivel especializado de su procedimiento).
- ✓ Suplir la demanda con bases de datos, y disminuir el coste para su realización. (Reconocido como el factor que más contribuye a alejar el grupo de las medianas y pequeñas empresas que potencialmente serían usuarias

de la metodología) Además, llama la atención que ciertos aspectos metodológicos puedan poner en peligro la credibilidad del estudio.

Por sus antecedentes, el ACV demuestra que la complejidad de la herramienta, por lo que respecta a los aspectos metodológicos, todavía sigue evolucionando. El carácter interactivo de la herramienta hace que el método tenga un relativo grado de flexibilidad y adaptación durante su aplicación como herramienta de gestión, apoyando a la toma de decisiones con respecto a temas medioambientales y animando a seguir esa línea de investigación.

ACV DE LAS VIAS PARA OBTENER ETANOL

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Ahorro energético: El balance energético del material, debe demostrar ser el producto con menor coste energético a lo largo de todo su ciclo de vida, principalmente cuando se compara con otro, bajo los mismos criterios.

Durabilidad: Todas las informaciones acerca del valor funcional, durabilidad y bases de mantenimiento para que este producto resista adecuadamente bajo las condiciones de uso, durante toda su vida útil, son valores fundamentales como criterio selectivo.

Recursos renovables: los materiales elaborados con materias primas y energías renovables o muy abundantes, son preferibles ante, que otros que utilizan fuentes convencionales o escasas (p.ej. combustibles fósiles, minerales escasos, etc.), debido al carácter preservante y al efecto o biodegradable de sus fuentes materiales.

Tecnología “limpia”: Todas las fuentes de materias primas y energías empleadas en la producción del material, tal como, la eficiencia del proceso productivo (extracción, transformación y acabados) deben asumir el carácter no contaminante.

Toxicidad: La ausencia de efectos alérgicos, emisiones tóxicas, anormalidades electromagnéticas y minimización de la radioactividad natural constituyen un criterio básico para la selección del material.

Valorización de residuos: El uso de materiales elaborados con residuos, reutilización o reciclaje de subproductos de la construcción, frente a otros materiales con fuentes de materias primas convencionales debe ser potenciado.

ESPECIFICACION DE CORRIENTES Y EQUIPOS

En las tablas 3.9 y 3.10, y en las figuras 3.2 y 3.3, se presentan la referencia de la nomenclatura de corrientes de flujo y equipos, utilizados en la simulación de las tres vías correspondientes a la obtención de Bioetanol.

Tabla 3.9. Corrientes utilizadas en cada vía de estudio.

CTE	ÁCIDO DILUÍDO	EXPLOSION DE VAPOR	SOLVENTE ORGÁNICO
1	Bagazo	Bagazo	Bagazo
2	Acido Sulfúrico	Vapor	A prtet2
3	A pretratamiento 2	Neutralizado	1
4	Vapor	Vapor 1	A Neutralizado
5	Neutralizado	A Expansión	A Filtrado
6	Vapor 1	A Filtrado	8
7	A Expansión	Vapor 2	9
8	A Filtrado	A SSF	Vapor 2
9	Vapor 2	4	Reposición
10	A SSF	A Fermentación Xilosa	Reciclo Etanol
11	A Fermentación Xilosa	lignina Precipitada	A SSF
12	4	Solución Xilosa	4
13	Solución Xilosa	Etanol 4	A Fermentación Xilosa
14	lignina Precipitada	CO2-4	lignina Precipitada
15	CaO	TR3	Solución Acuosa Xilosa
16	Solución Neutral Xilosa	Inoculo 3	Etanol 4
17	Yeso	TR2	TR3
18	Solución Agua Xilosa	Inoculo 2	Inoculo 3
19	Etanol 4	TR1	TR2
20	CO2-4	Inoculo 1	Inoculo 2
21	TR3	CO2	TR1
22	Inoculo 3	CO2-2	Inoculo 1
23	TR2	CO2-3	Etanol 3
24	Inoculo 2	Etanol 3	Etanol 2
25	TR1	Etanol 2	CO2-4
26	Inoculo 1	Etanol 1	Etanol 1
27	CO2	A scrubber	CO2
28	CO2-2	Agua de Lavado	CO2-2
29	CO2-3	CO2-1	CO2-3
30	Etanol 3	Agua Oh	A scrubber
31	Etanol 2	A Sistema de Separación	Agua de Lavado
32	Etanol 1	Venteo 1	CO2-1
33	A scrubber	Rec feed	Agua Oh
34	Agua de Lavado	2	A Sistema de Separación
35	CO2-1	Venteo	Vapor para adsorción
36	Agua Oh	A Rectificación	A desti
37	A Sistema de Separación	A columna Rectificadora	Rec feed
38	A desti	A Deshidratación	2
39	Rec feed	Water +	A columna Rectificadora
40	2	A Tamiz Molecular	A Deshidratación

41	Venteo	Recup 1	Water +
42	Rectificación	Alcohol	A Tamiz Molecular
43	A rect 2	Rec	Recup 1
44	Agua	Reciclo	Alcohol
45	A columna Rectificadora	A Reciclo	Rec
46	A Deshidratación	Alcohol 3	Reciclo
47	Water +	Etanol Anhidrido	A Reciclo
48	A Tamiz Molecular		Alcohol 3
49	Reciclo		Etanol Anhidrido
50	Rec		
51	Alcohol		
52	Recup 1		
53	A Reciclo		
54	10		
55	Alcohol 3		
56	Etanol Anhidrido		

Fuente: Información obtenida utilizando el Software Aspen - Hysys®

Tabla 3.10. Nomenclatura de Equipos

INDICADOR	EQUIPO
E	Intercambiadores Calor
T	Columna de Destilación
V	Válvulas
Mix	Mezclador
X	Separador Spliter
CRV	Reactor
T'	Tanque
R	Reciclo
A	Ajustador

Fuente: Información soportada por el Software Aspen - Hysys®

Estudio de la ruta con Explosión de Vapor Saturado (EVS), Vía II

De acuerdo con el diagrama propuesto en la simulación ver figura 3.2, el bagazo de caña, se trató con Vapor Saturado a alta presión (220°C y 22.9 atm), el cual luego se descomprime súbitamente hasta la presión atmosférica. El rendimiento de la reacción, con respecto a la degradación de hemicelulosa es del 60% y la transformación de la lignina es del 80%, debido a las altas temperaturas. Para la sacarificación y fermentación de la celulosa, la torta de celulosa obtenida en el primer filtrado se transporta mediante bandas a un tanque de mezclado en donde se le adiciona agua, luego se pasa a un intercambiador de calor en donde se disminuye la temperatura a 32°C. Después de enfriar, se alimenta la suspensión a

los tanques de sacarificación y fermentación simultánea (32°C, 101,3 KPa, 72 horas tiempo de residencia) junto con el complejo biológico (enzimas producidas por *T. reesei*, *S. cerevisiae*, y las fuentes de nitrógeno DAP y CSL). Se mantiene la temperatura de operación mediante un serpentín interior por el que circula agua a 13°C. El flujo de agua adicionada previamente está ajustado para obtener una carga de sólidos del 20% en los tanques [10].

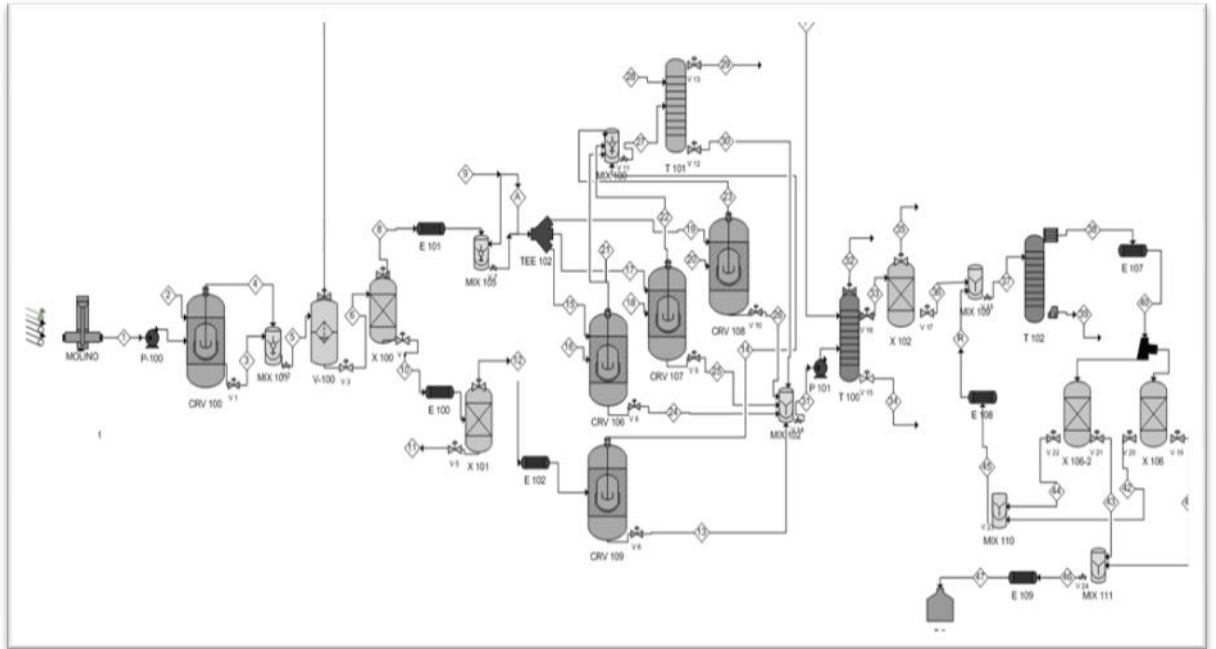


Figura 3.2. Diagrama del Proceso de Producción de Bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, Explosión de Vapor Saturado en la etapa de pretratamiento. Obtenida del simulador Aspen – Hysys®

Para fermentar los azúcares C_5 , la solución se alimenta al tanque de fermentación (32°C, 101,3 KPa, 36 horas tiempo de residencia). Los rendimientos de esta etapa son: sacarificación de celulosa del 90%, fermentación de glucosa del 92% y fermentación de azúcares C_5 del 85%. El producto gaseoso compuesto por una mezcla de dióxido de carbono y etanol, se envía a una torre empacada de absorción (5 m de empaque) con agua en contracorriente. La corriente de tope contiene un 98% m/m de CO_2 . La corriente de fondos se mezcla con las corrientes líquidas de los fermentadores y se envían a la etapa de purificación. La descripción de las composiciones y parámetros de las principales corrientes del

proceso se describen en las tablas 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14, para cada etapa utilizada [11].

Tabla 3.11. Fracciones másicas de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía II

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	0,5	0,23	0,11	0,135	0,025
	Agua	25000	1	0	0	0	0
CRV-100	Vapor	50000	1	0	0	0	0

Tabla 3.12. Fracciones másicas en la etapa de Fermentación Vía II

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O
Mix-105	4	55000	1
CRV-106	Inoculo 3	5	1
CRV-107	Inoculo 2	5	1
CRV-108	Inoculo 1	5	1
T-101	Agua Lavado	5000	1

Tabla 3.13. Flujo másico de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía II

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	25000	11500	5500	6750	1250
	Agua	25000	25000	0	0	0	0
CRV-100	Vapor	50000	50000	0	0	0	0

Tabla 3.14. Flujo másico de entrada a la etapa de Fermentación Vía II

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H ₂ O
Mix-105	4	55000	55000
CRV-106	Inoculo 3	5	5
CRV-107	Inoculo 2	5	5
CRV-108	Inoculo 1	5	5
T-101	Agua Lavado	5000	5000

Estudio de la ruta con Solvente Orgánico (SO), Vía III

La figura 3.3, representa el proceso de la vía con Solvente Orgánico, en donde el bagazo de caña fue tratado previamente con una solución de agua y etanol (etanol: 34% w agua: 66%w T: 184.5°C) [10]. En el pretratamiento (185°C, 2 MPa, T_{residencia}: 10 min) se obtiene una conversión de hemicelulosa del 59%, y una disolución de lignina del 100%. Los productos de esta etapa son alimentados a un tanque de descarga (100°C, 101 KPa, 15 min tiempo de residencia) donde se realiza una separación flash. La corriente gaseosa contiene etanol, los componentes volátiles del bagazo, gran parte del furfural, hidroximetilfurfural y

ácido acético formados en la etapa del pretratamiento. Para recuperar la mayor cantidad de etanol posible, se recupera mediante condensación el etanol de la corriente gaseosa y la corriente de fondo del separador flash es alimentada a una torre de destilación. Las dos corrientes de etanol recuperado se mezclan y se reutilizan en el proceso. La corriente de fondo de la torre de destilación se alimenta a un filtro de tambor rotatorio en donde se obtienen una torta (40% humedad) que contiene primordialmente celulosa y un filtrado que consiste en una solución acuosa lignina y los azúcares de cinco carbonos. El filtrado se recupera para enfriarlo a 50°C, temperatura a la cual la lignina se recondensa y se precipita.

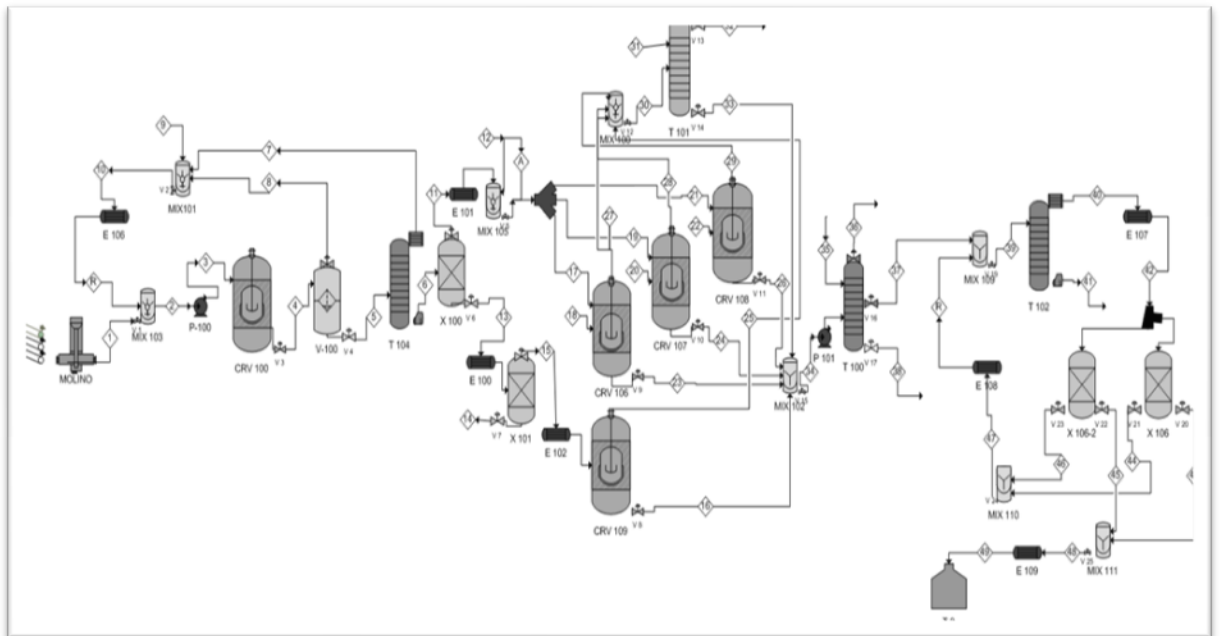


Figura 3.3. Diagrama del Proceso de Producción de Bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar, utilizando Solvente Orgánico en la etapa de pretratamiento, obtenida del simulador Aspen-Hysys®

La lignina es separada mediante un filtro de tambor rotatorio y el filtrado se enfría a 32°C para alimentarse al tanque de fermentación de pentosas. Para las etapas de sacarificación, fermentación, destilación y purificación del etanol, se sigue la misma ruta descrita en el caso de estudio I, obteniendo rendimientos del 90% respecto a la sacarificación y fermentación de la celulosa y del 85% para la fermentación de los azúcares C₅[13]. Los datos de fracciones másicas y flujos

molares utilizados en esta vía se presentan en las tablas 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20.

Tabla 3.15. Fracciones másicas de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía III

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O	ETANOL	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	0.5	0	0,23	0,11	0,135	0,025
	Reposición	16380	0,996887	0,003113	0	0	0	0

Tabla 3.16. Fracciones másicas de entrada a la etapa de Fermentación Vía III

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O
Mix-105	4	60100	1
CRV-106	Inoculo 3	0.001	1
CRV-107	Inoculo 2	0.001	1
CRV-108	Inoculo 1	0.001	1
T-101	Agua Lavado	5000	1

Tabla 3.17. Fracciones másicas de entrada a la etapa de separación y deshidratación del etanol

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O
T-100	Vapor absorber	24000	1

Tabla 3.18. Flujo másico de entrada a la etapa de Pretratamiento Vía III

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O	ETANOL	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA	CENIZAS
Mix-103	Bagazo	50000	25000	0	11500	5500	6750	1250
	Reposición	25000	16329	51	0	0	0	0

Tabla 3.19. Flujo másico de entrada a la etapa de Fermentación Vía III

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O
Mix-105	4	60100	55000
CRV-106	Inoculo 3	0.001	0.001
CRV-107	Inoculo 2	0.001	0.001
CRV-108	Inoculo 1	0.001	0.001
T-101	Agua Lavado	5000	5000

Tabla 3.20. Flujo másico de entrada a la etapa de separación y deshidratación del etanol

Equipo	Corriente	Flujo Kg/h	H2O
T-100	Vapor absorber	24000	24000

CONSUMO DE ENERGIA

Vía de obtención con Explosión de Vapor Saturado

Tabla 3.21. Flujo de Energía suministrado a la Vía II

ETAPAS DE PROCESO	EQUIPO	CORRIENTE	UNIDAD kJ/h	TOTAL kJ/h
PRETRATAMIENTO	BOMBA	P-100 -Q1	195700	195700
		CRV-106-QTR1	1643000	
FERMENTACION E HIDRÓLISIS	REACTORES	CRV-107-QTR2	1643000	5851880
		CRV-108-QTR3	1643000	
		CRV-109-QTR4	920800	
		BOMBA	P-101-QPUMP2	

OPUS	COLUMNA DESTILACION	T-102 QREBSC	22340000	22995200
	INTERCAMBIADORES	E-107-QVAP	655200	

Vía de obtención con Solvente Orgánico

Tabla 3.22. Flujo de Energía suministrado a la Vía III

ETAPAS DE PROCESO	EQUIPO	CORRIENTE	UNIDAD kJ/h	TOTAL kJ/h
PRETRATAMIENTO	BOMBA	P-100 -Q1	368900	107238900
	INTERCAMBIADORES	E-105- QH1	70700000	
	COLUMNA DESTILACION	T-104-Q105	36170000	
FERMENTACION E HIDRÓLISIS	REACTORES	CRV-106-QTR1	1747000	6191682
		CRV-107-QTR2	1747000	
		CRV-108-QTR3	1747000	
		CRV-109-QTR4	948800	
		BOMBA	P-101-QPUMP2	
OPUS	COLUMNA DESTILACION	T-102 QREBSC	21570000	22239000
	INTERCAMBIADORES	E-107-QVAP	669000	

INGRESO DE CELULOSA AL SISTEMA

La referencia de la energía eléctrica y la cantidad de compuestos químicos, para las vías de estudio, fueron tomadas del artículo "Evaluación del ciclo de vida de las nuevas tecnologías de conversión de etanol lignocelulósico [26]. La relación de grados FPU comparados a la cantidad de materia se obtuvo de la fuente Wooley et al, 1999.

Vía de obtención con Explosión de Vapor Saturado

Tabla 3.23. Composición de Celulosa utilizada en la Vía II

CORRIENTE	FLUJO Kg/h	Composición Celulosa	Kg Celulosa
ASSF	26970	0,426331	11498,14707

Fuente: Software de simulación Aspen - Hysys®

1 Kg Celulosa → 20 FPU Celulosa
 11498,14707 Kg Celulosa → **229962.9414 FPU Celulosa**

1 Kg Celulosa → 600000 FPU Celulosa
0,38327157 Kg Celulosa ← 229962.9414 FPU Celulosa

0.0832 Kg Celulosa → 1 Kg Caldo
 0,38327157 Kg Celulosa → **4,6072 Kg Caldo**

Tabla 3.24. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la Vía II

Materia Prima	NH ₃	(NH ₄) ₂ *SO ₄	CaO	H ₂ SO ₄	LPG	Caldo
Kg/ton Bagazo	48	16	58	78	0,2	200,2
Composiciones	0,23976024	0,07992008	0,28971029	0,38961039	0,000999001	1
Materia Kg	1,104486578	0,368162193	1,334587948	1,794790689	0,00460203	4,60662944

Fuente: Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies

0.0832 Kg Celulosa → 8.6 MJ Electricidad

0,38327157 Kg Celulosa → **39,61701314 MJ Electricidad**

Vía de obtención con Solvente Orgánico

Tabla 3.25. Composición de Celulosa en la vía III

CORRIENTE	FLUJO Kg/h	Composición Celulosa	Kg Celulosa
ASSF	27670	0,415645	11500,89715

Fuente: Software de simulación Aspen - Hysys®

1 Kg Celulosa → 20 FPU Celulosa

11500,89715 Kg Celulosa → **230017.943 FPU Celulosa**

1 Kg Celulosa → 600000 FPU Celulosa

0,383363238 Kg Celulosa ← 230017.943 FPU Celulosa

0.0832 Kg Celulosa → 1 Kg Caldo

0,383363238 Kg Celulosa → **4,60773123 Kg Caldo**

Tabla 3.26. Cantidad de compuestos químicos requeridos para la obtención de celulosa en la Vía III

Materia Prima	NH ₃	(NH ₄) ₂ *SO ₄	CaO	H ₂ SO ₄	LPG	Caldo
Kg/ton Bagazo	48	16	58	78	0,2	200,2
Composiciones	0,23976024	0,07992008	0,28971029	0,38961039	0,000999001	1
Materia Kg	1,10475074	0,36825024	1,33490715	1,79521996	0,00460312	4,60773123

Fuente: Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies

0.0832 Kg Celulosa → 8.6 MJ Electricidad

0,383363238 Kg Celulosa → **39,62648858 MJ Electricidad**

PRODUCCION DE ETANOL-VINAZA

Vía de obtención con Explosión de Vapor Saturado

6725,128787Kg Etanol → **8,448654255 m³ Etanol**

Relación de vinaza/etanol:

8,448654255 m³ Etanol → 100,1177672 m³ Vinaza

Tabla 3.27. Composición de Vinaza, Vía II

Sustancia	% Kg/m3	Unidad Kg
N2	0,77	71,6251562
P205	0,19	17,6737398
k20	6	558,1181
CaO	2,45	227,898224
MgO	1,04	96,7404707
SO	3,73	346,963419
Fe	5	465,098417
Cu	17,78	1653,88997
Zn	3	279,05905
Mn	8	0
Materia Orgánica	52,04	4840,74432
Total		8557,81087

Fuente: Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinaza [27]

Vía de obtención con Solvente Orgánico

6725,128787Kg Etanol → 8,448654255 m³ Etanol

Relación de vinaza/etanol:

8,448654255 m³ Etanol → 93,01968335 m³ Vinaza

Tabla 3.28. Composición de Vinaza, Vía III

Sustancia	% Kg/m3	Unidad Kg
N2	0,77	71,6251562
P205	0,19	17,6737398
k20	6	558,1181
CaO	2,45	227,898224
MgO	1,04	96,7404707
SO	3,73	346,963419
Fe	5	1653,88997
Cu	17,78	465,098417
Zn	3	279,05905
Mn	8	744,157467
Materia Orgánica	52,04	4840,74432
Total		9301,96833

Fuente: Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinaza [27]

EMISIONES OBTENIDAS

Inventarios de emisiones como resultado del Software SIMAPRO 7.1®

Vía de obtención con Acido Sulfúrico

Tabla 3.29. Inventario de ciclo de Vida, Vía I

Sustancia	Emisión	Unidad	Bioethanol	Vinasse	Oxyde Calcium	Lignine	Calcium Sulfate
Heat, waste	Aire	MJ	15,0870	10,908	394,34	1,7624	30,129
Acids	Crudo	Kg	X	X	9,2068	0,0411	0,7034
Ammonia	Agua	Kg	X	X	0,0452	0,0002	0,0035
Ammonium Sulfate	Agua	Kg	X	X	0,0151	6,7E-05	0,0012
Celulose	Suelo	Kg	X	X	470,56	2,1031	35,952
Cenize	Suelo	Kg	X	X	51,148	0,2286	3,9078
D-Xylose	Suelo	Kg	X	X	41,538	0,1856	3,1736
Hemicelulose	Suelo	Kg	X	X	21,380	0,0956	1,6335
LPG	Agua	Kg	X	X	0,0002	8,4E-07	1,4E-05
Water	Crudo	Kg	X	X	2045,9	9,1441	156,32
Furfural	Aire	Kg	4,9E-07	3,6E-07	4,1247	0,0184	0,3151
Ethanol	Aire	Kg	0,0005	0,0004	X	X	X
Phosforous Oxide	Aire	Kg	0,0026	0,0019	X	X	X
Oxyde Calcium	Suelo	Kg	0,0034	0,0024	X	X	0,0764
Sulfuric acid	Agua	Kg	0,0059	0,0043	1,8224	0,0081	0,1392
Ethanol	Agua	Kg	0,0069	0,0050	X	X	X
Nitrogen	Aire	Kg	0,0106	0,0077	X	X	X
Wáter	Aire	Kg	0,0136	0,0099	1830,7	8,1820	139,87
Magnese Oxide	Agua	Kg	0,0144	0,0104	X	X	X
Oxyde Calcium	Crudo	Kg	0,0178	0,0128	5,2622	X	0,4021
Furfural	Agua	Kg	0,0276	0,0382	0,7705	0,0034	0,0589
Sulfuric acid	Crudo	Kg	0,0311	0,0225	X	X	X
Calcium Oxide	Agua	Kg	0,0339	0,0245	0,0546	0,0003	0,0042
Zinc waste	Desecho	Kg	0,0415	0,0300	X	X	X
Sulfate Calcium	Suelo	Kg	0,0442	0,0319	13,088	X	X
Sulfur Oxide	Aire	Kg	0,0516	0,0370	X	X	X
Copper waste	Desecho	Kg	0,0692	0,0500	X	X	X
Hemicelulose	Agua	Kg	0,0722	0,0520	X	X	X
Potase Oxide	Aire	Kg	0,0830	0,0600	X	X	X
Mineral waste	Desecho	Kg	0,1106	0,0800	X	X	X
D-Glicose	Agua	Kg	0,1271	0,0919	X	X	X
Celulose	Agua	Kg	0,1589	0,1148	X	X	X
Cenize	Agua	Kg	0,1727	0,1248	X	X	X
Cenizas	Crudo	Kg	0,1727	0,1249	51,149	0,2286	3,9079
Lignine	Agua	Kg	0,1771	0,1281	X	X	X
D-Xylose	Agua	Kg	0,2299	0,1662	X	X	X
Iron waste	Desecho	Kg	0,2459	0,1778	X	X	X
Water, process	Crudo	Kg	0,6908	0,4994	X	X	X
Organic	Suelo	Kg	0,7198	0,5204	X	X	X
Lignine	Suelo	Kg	0,7554	0,5462	276,22	0,2345	21,104

Hemicelulosa	Crudo	Kg	0,7598	0,5494	225,06	1,0059	17,195
Lignine	Crudo	Kg	0,9325	0,6742	276,20	1,2345	21,103
Celulose	Crudo	Kg	1,5888	1,1486	470,57	2,1032	35,953
Carbon dioxide	Aire	Kg	1,9737	0,8601	0,3754	0,0017	0,0650
Water	Agua	Kg	20,327	14,685	345,72	1,5451	26,415
Water, fresh	Crudo	m3	0,0199	0,0144	1,6276	0,0073	0,1244
Water, river	Crudo	m3	20,858	3,3896	7,7428	0,0360	1,3406

Vía de obtención con Explosión de Vapor Saturado

Tabla 3.30. Inventario de ciclo de Vida, Vía II

Sustancia	Emisión	Unidad	Bioethanol	Lignine	Vinasse
Heat, waste	Aire	MJ	10,3385	2,5287	7,4745
Celulose	Crudo	Kg	1,7100	2,0027	1,2363
Cenizas	Crudo	Kg	0,1859	0,2177	0,1344
Hemicelulosa	Crudo	Kg	0,8178	0,9578	0,5913
Lignine	Crudo	Kg	1,0037	1,1755	0,7257
Water, process,	Crudo	Kg	0,7435	X	0,5375
Water, process,	Crudo	Kg	X	8,7075	X
Carbon dioxide	Aire	Kg	1,4827	0,0049	1,0719
Ethanol	Aire	Kg	0,0005	X	0,0004
Furfural	Aire	Kg	7,2E-07	0,0100	5,2E-07
Nitrogen	Aire	Kg	0,0106	X	0,0077
Phosforous Oxide	Aire	Kg	0,0026	X	0,0019
Potase Oxide	Aire	Kg	0,0830	X	0,0600
Sulfur Oxide	Aire	Kg	0,0516	X	0,0373
Water	Aire	Kg	0,0148	5,0020	0,0107
Ammonia	Agua	Kg	X	0,0002	X
Ammonium Sulfate	Agua	Kg	X	6,4E-05	X
Calcium Oxide	Agua	Kg	0,0339	0,0002	0,0245
Celulose	Agua	Kg	0,1710	X	0,1237
Cenize	Agua	Kg	0,1859	X	0,1344
D-Glicose	Agua	Kg	0,1369	X	0,0989
D-Xylose	Agua	Kg	0,1466	X	0,1060
Furfural	Agua	Kg	0,0297	0,0037	0,0215
Hemicelulose	Agua	Kg	0,3108	X	0,2247
Lignine	Agua	Kg	0,1497	X	0,1082
LPG	Agua	Kg	X	8,1E-07	X
Magnese Oxide	Agua	Kg	0,0144	X	0,0104
Sulfuric acid	Agua	Kg	X	0,0003	X
Water	Agua	Kg	23,571	1,8416	17,041
Copper waste	Desecho	Kg	0,0692	X	0,0500
Iron waste	Desecho	Kg	0,2459	X	0,1778
Mineral waste	Desecho	Kg	0,1106	X	0,0800
Zinc waste	Desecho	Kg	0,0415	X	0,0300
Celulose	Suelo	Kg	X	2,0025	X
Cenize	Suelo	Kg	X	0,2177	X
D-Xylose	Suelo	Kg	X	0,0925	X

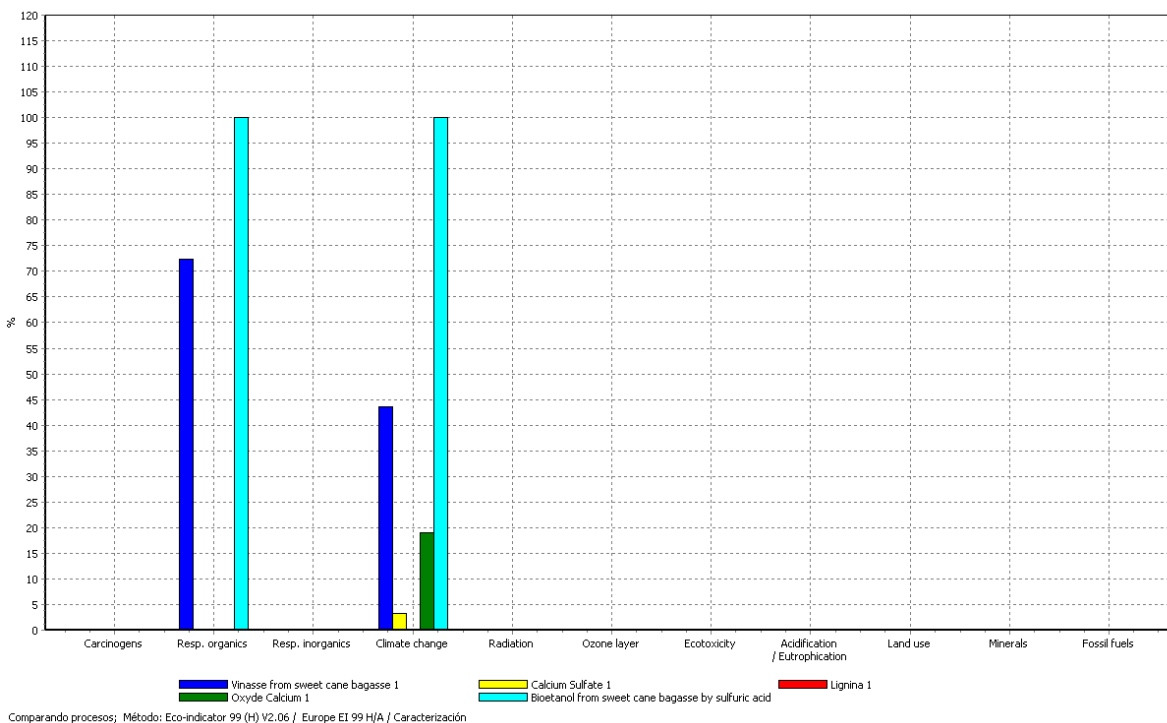
Hemicelulose	Suelo	Kg	X	0,3639	X
Lignine	Suelo	Kg	0,8539	0,1752	0,6173
Organic	Suelo	Kg	0,7198	X	0,5204
Water, fresh	Crudo	m ³	0,0157	0,0087	0,0113
Water, river	Crudo	m ³	10,866	0,1031	7,8560

Vía de obtención con Solvente Orgánico

Tabla. 3.31. Inventario de ciclo de Vida, Vía III

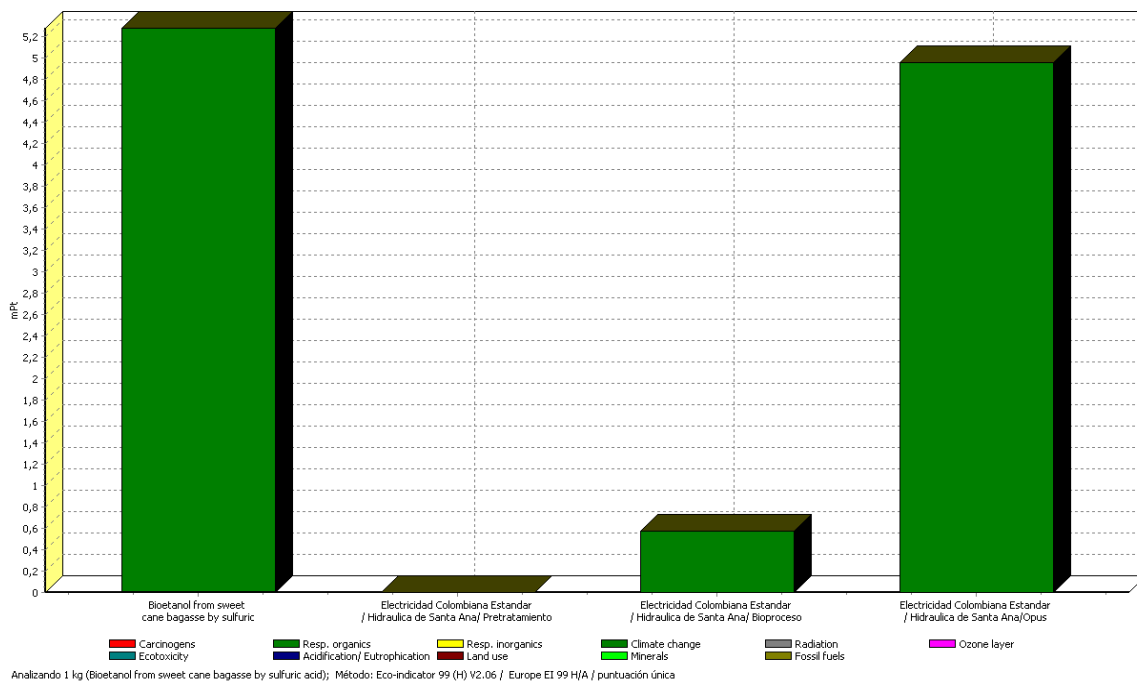
Sustancia	Emision	Unidad	Bioetanol	Vinasse	Lignine
Heat, waste	Aire	MJ	8,6619	13,058	2,5287
Celulose	Crudo	Kg	1,7100	2,5778	2,0027
Cenizas	Crudo	Kg	0,1859	0,2802	0,2177
Etanol	Crudo	Kg	0,0076	0,0114	0,0089
Hemicelulosa	Crudo	Kg	0,8178	1,2328	0,9578
Lignine	Crudo	Kg	1,0037	1,5130	1,1755
Water, process, drinking	Crudo	Kg	19,394	29,236	X
Carbon dioxide	Aire	Kg	3,4782	5,2433	2,2793
Etanol	Aire	Kg	0,0004	0,0007	X
Furfural	Aire	Kg	X	X	0,0101
Nitrogen	Aire	Kg	0,0106	0,0165	X
Phosforous Oxide	Aire	Kg	0,0026	0,0039	X
Potase Oxide	Aire	Kg	0,0829	0,1251	X
Sulfur Oxide	Aire	Kg	0,0516	0,0778	X
Water	Aire	Kg	0,0141	0,0212	5,0020
Ammonia	Agua	Kg	X	X	0,0002
Ammonium Sulfate	Agua	Kg	X	X	6,E-05
Calcium Oxide	Agua	Kg	x	X	0,0002
Celulose	Agua	Kg	0,0171	0,0258	X
Cenize	Agua	Kg	0,1859	0,2802	X
D-Glucosa	Agua	Kg	0,1505	0,2268	X
D-Xilosa	Agua	Kg	0,1971	0,2972	X
Ethanol	Agua	Kg	0,0002	0,0003	0,0022
Hemicelulose	Agua	Kg	0,3353	0,5055	X
Lignine	Agua	Kg	0,2475	0,3730	X
LPG	Agua	Kg	X	X	8,E-07
Sulfuric acid	Agua	Kg	X	X	0,0003
Water	Agua	Kg	19,179	28,912	1,8022
Copper waste	Desecho	Kg	0,0692	0,1042	X
Iron waste	Desecho	Kg	0,2459	0,3707	X
Mineral waste	Desecho	Kg	0,1106	0,1668	X
Zinc waste	Desecho	Kg	0,0415	0,0625	X
Celulose	Suelo	Kg	X	X	2,0029
Cenize	Suelo	Kg	X	X	0,2177
D-Xylose	Suelo	Kg	X	X	0,1583
Hemicelulose	Suelo	Kg	X	X	0,3927
Lignine	Suelo	Kg	0,7562	1,1400	0,2898
Water, fresh	Crudo	m3	X	X	0,0115
Water, river	Crudo	m3	50,760	76,519	47,008

RESULTADOS DE ACV



Comparando procesos; Método: Eco-indicator 99 (h) V2.06 / Europe EI 99 H/A / Caracterización

Figura 4.6. Evaluación de Impacto Ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza, y compuestos de Ca para el pretratamiento del bagazo de caña con Ácido Diluido.



Analizando 1 kg (Bioetanol from sweet cane bagasse by sulfuric acid); Método: Eco-indicator 99 (h) V2.06 / Europe EI 99 H/A / puntuación única

Figura 4.7. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía de Ácido Diluido.

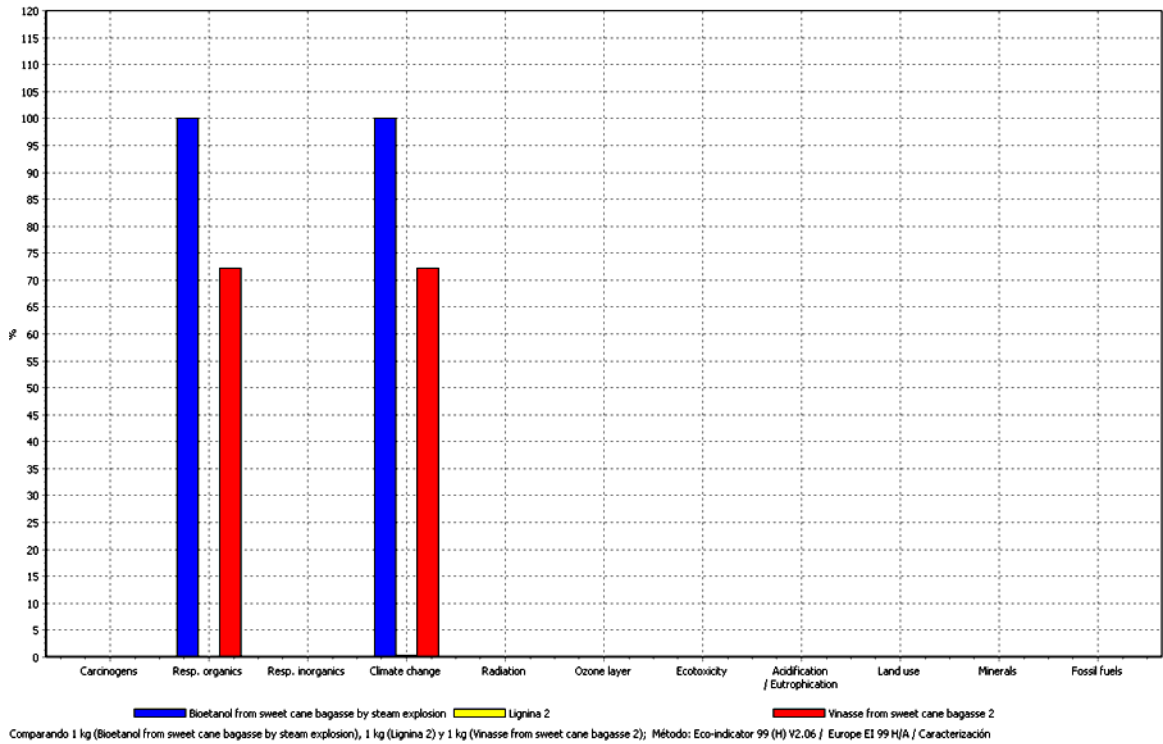


Figura 4.8. Evaluación de Impacto Ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza para el pretratamiento del bagazo de caña con Explosión con Vapor Saturado.

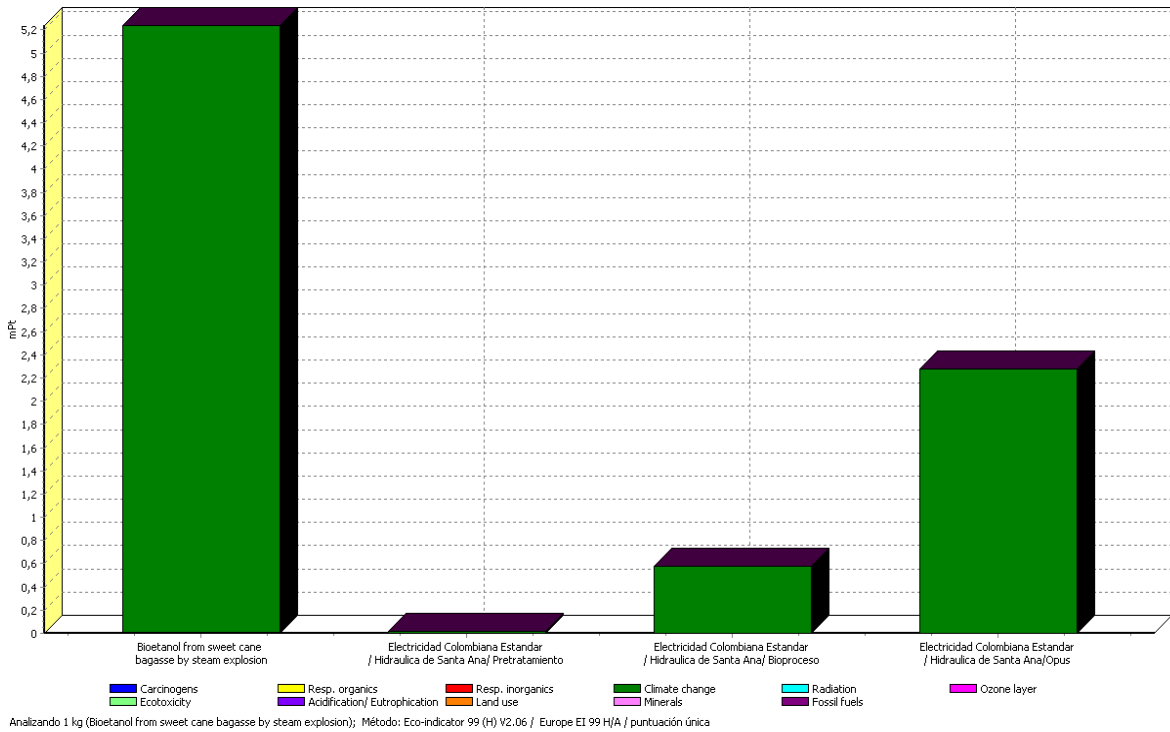


Figura 4.9. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía de explosión de vapor saturado

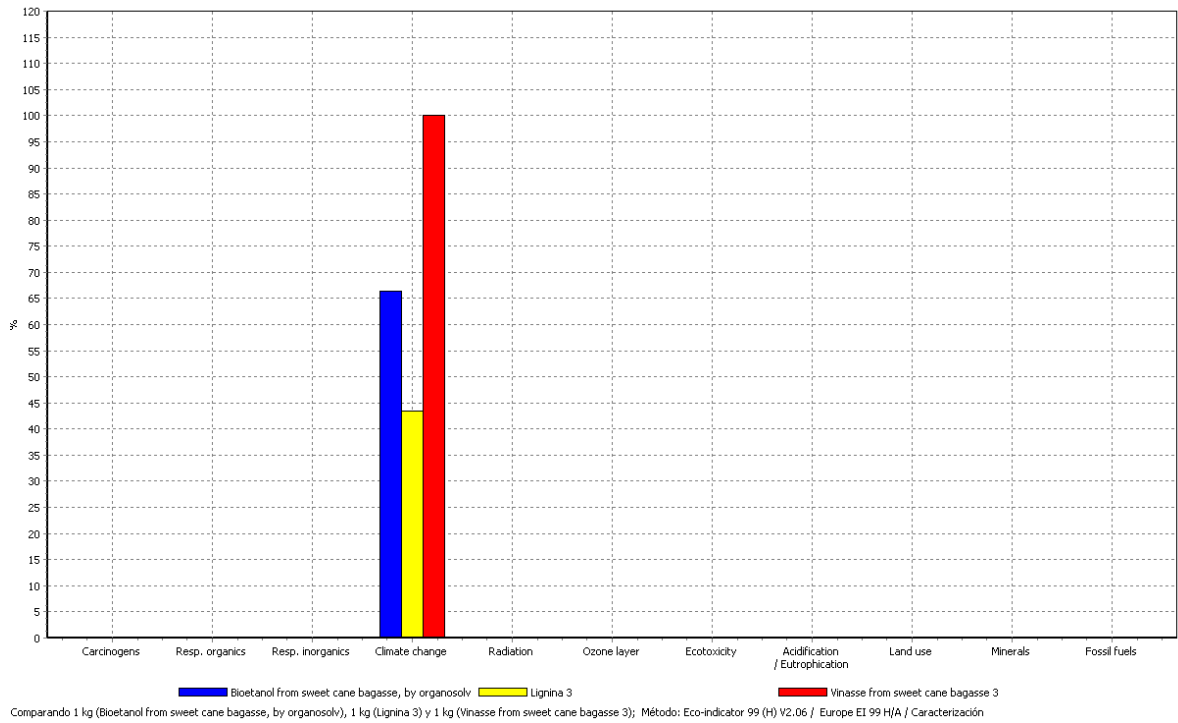


Figura 4.10. Evaluación de Impacto Ambiental originado por la producción de bioetanol y la producción de vinaza, y compuestos de Ca para el pretratamiento del bagazo de caña con solvente orgánico.

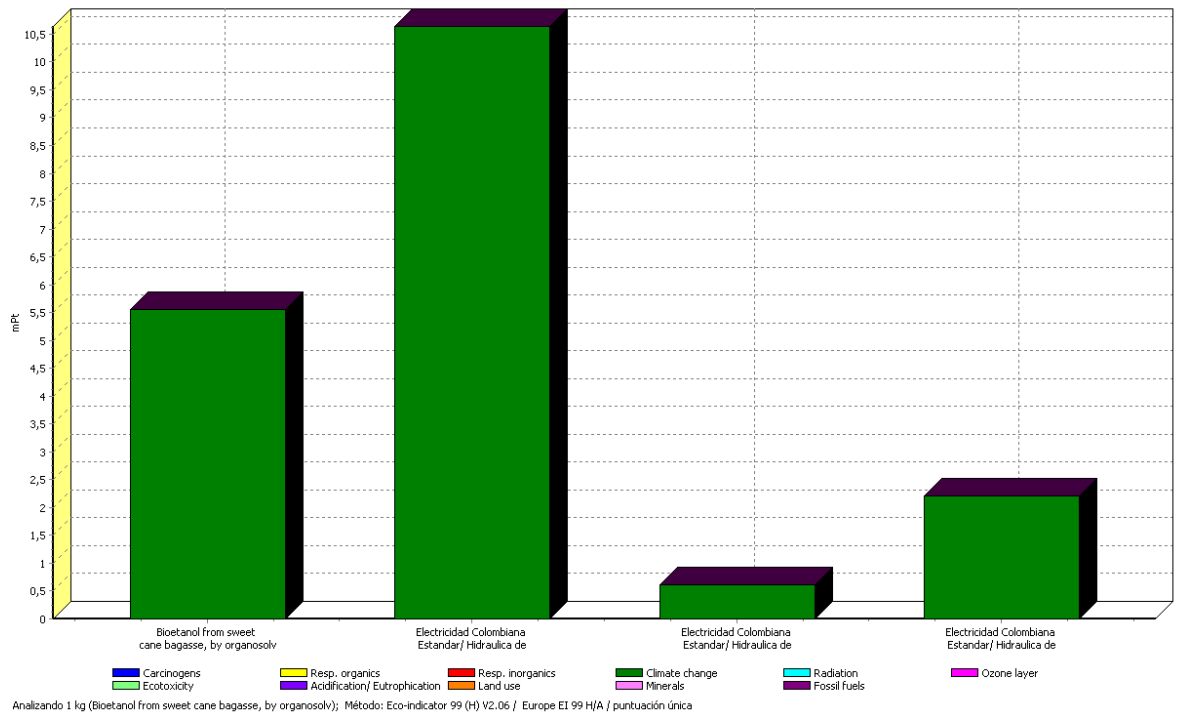


Figura 4.11. Puntuación única para el impacto generado por la producción de energía en la etapa de pretratamiento, bioproceso y sistemas de separación, para la vía con solvente orgánico.

INTEGRACIÓN ENERGÉTICA

Tabla 5.5. Características de los Diseños obtenidos de Aspen HX - Net®.

Diseño	Número Mínimo Intercambiadores	Carcasas	Área m ²
Caso Base	8	9	1.078
Diseño 1	15	25	1.365
Diseño 2	16	20	1.117
Diseño 3	15	20	1.063
Diseño 4	17	35	1.400
Diseño 5	15	19	1.208
Diseño 6	16	17	1.043

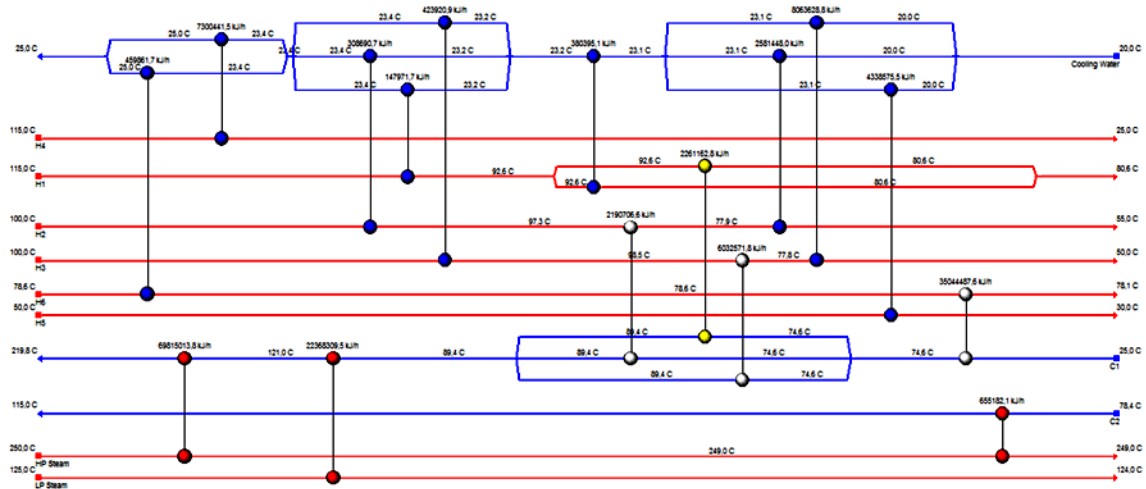


Figura 5.4. Red de Intercambio Energético, Diseño 2 obtenido del Software Aspen HX - Net®

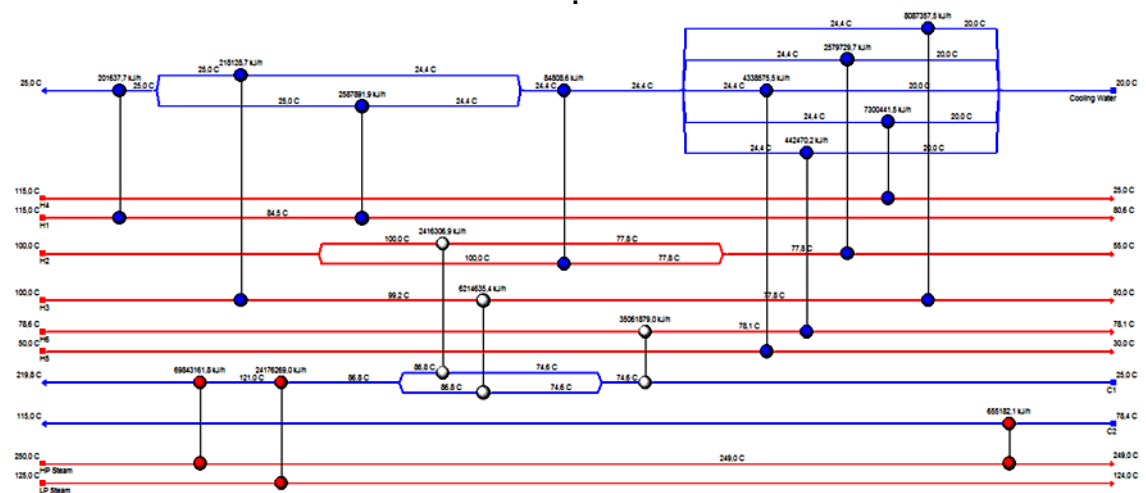


Figura 5.5. Red de Intercambio Energético, Diseño 3 obtenido del Software Aspen HX - Net®

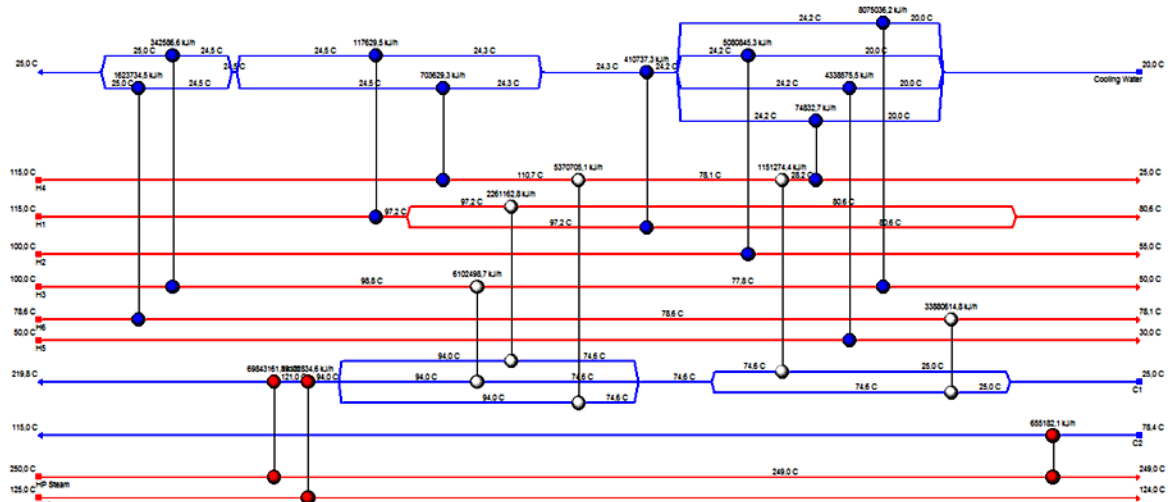


Figura 5.6. Red de Intercambio Energético, Diseño 4 obtenido del Software Aspen HX - Net®

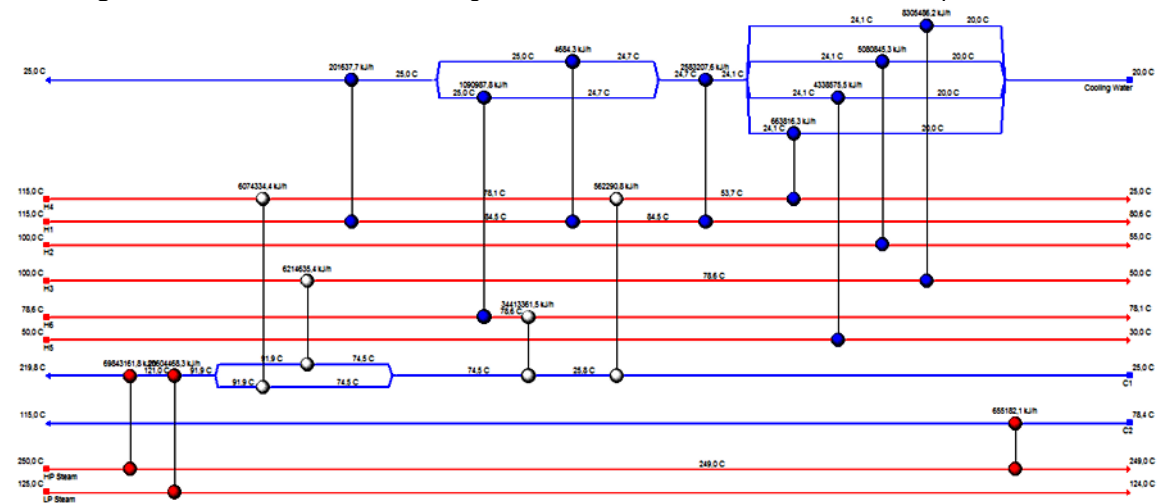


Figura 5.7. Red de Intercambio Energético, Diseño 5 obtenido del Software Aspen HX - Net®

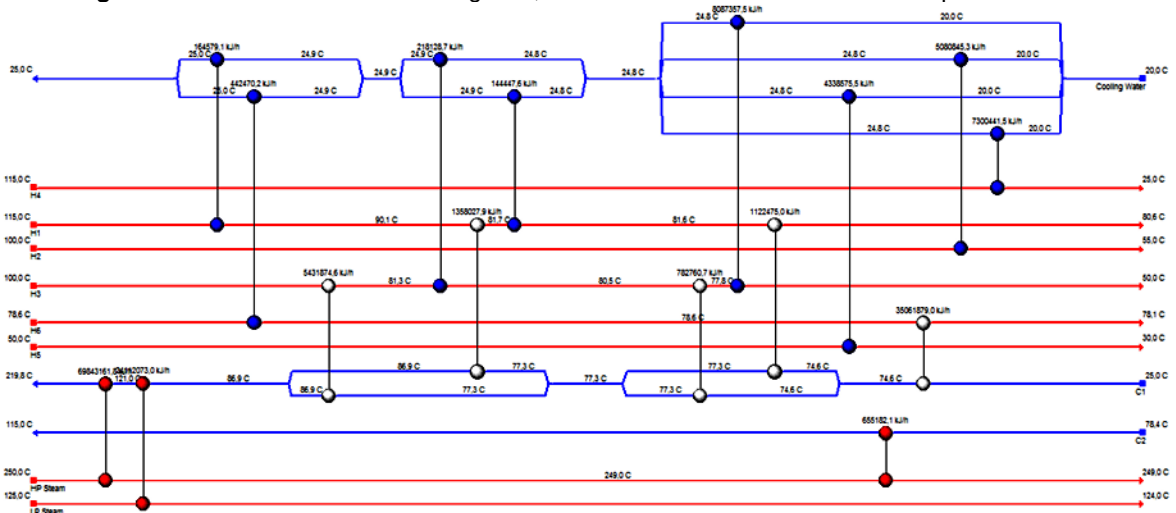


Figura 5.8. Red de Intercambio Energético, Diseño 6 obtenido del Software Aspen HX - Net®

GLOSARIO

Análisis de fiabilidad

Permite determinar y cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados de un análisis del inventario del ciclo de vida.

Análisis de sensibilidad

Procedimiento sistemático para estimar los efectos, acerca de los métodos y datos escogidos, en los resultados de un estudio del ACV.

Análisis del ciclo de vida -ACV

Fase de valoración del ciclo de vida con el objetivo de entender, evaluar la magnitud e importancia de los impactos medioambientales potenciales de un sistema de producción.

Análisis global del ciclo de vida – ACV global

ACV extendido a diversos aspectos (medioambientales, socio- económicos, seguridad, etc.).

Análisis medioambiental del ciclo de vida – ACV medioambiental

ACV centrado o limitado a aspectos medio ambientales, o parte relativa a aspectos medioambientales de un ACV global.

Análisis comparativo

Relación de aspectos medioambientales con respecto a la superioridad o equivalencia de un producto contra un otro producto competente que cumpla la misma función.

Asignación

Fase del ACV en la cual se determina como se distribuyen los flujos de entrada o salidas de una unidad de proceso, en el interior del sistema de producción, sometido al estudio.

Aspecto medioambiental

Sistemática de actividades de una organización, (producto o servicio) con interactiva acción en el medio ambiente.

Categoría de impacto

Grupo representativo de potenciales impactos al medio ambiente, a los cuales se asignan los resultados del inventario del ciclo de vida.

Ciclo de vida

Fases consecutivas y conectadas de un sistema de producción, que puede incluir desde la adquisición de materias primas o de recursos naturales hasta la disposición final.

Clasificación

Etapas de valoración de los impactos en que los parámetros del inventario son agrupados por categorías de impacto.

Co - producto

Dos o más productos de la misma unidad del proceso.

Definición de objetivos

La primera etapa del análisis del ciclo de vida en la cual se define la aplicación de los resultados, las razones para la realización y el público blanco del ACV.

Diagrama de procesos

Representación gráfica de proceso productivo de lo cual se hace el análisis de ciclo de vida.

Eco Indicador

Los valores estándar de los eco indicadores se pueden considerar como cifra sin dimensión, como base se utiliza el “Eco punto” (Pt). En las listas de eco indicadores se utiliza la unidad de milipuntos (mPt), es decir: $700\text{mPt} = 0,7\text{Pt}$. El valor absoluto de los puntos no es demasiado relevante ya que el objetivo principal es el de comparar las diferencias relativas entre productos o componentes. La escala se elige de tal forma que el valor de un Pt represente una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano Europeo, cuyo valor se ha establecido, dividiendo la carga total en Europa entre el número de habitantes y multiplicado por 1000 (factor de escala).

Efecto medioambiental

Interacción física entre el sistema de producción y el medio ambiente, definido en términos de la extracción de recursos, emisiones de sustancias al medio ambiente, área ocupada por la planta y residuos, etc.

Emisión

Descarga de elementos químicos o físicos (sustancias, calor, ruido, etc.) de un sistema de producción al medio ambiente.

Entrada

Material o energía que entra en un sistema o subsistema de un proceso de producción (los Materiales pueden incluir recursos materias primas y productos).

Evaluación

Segundo paso dentro de la fase de interpretación del ciclo de vida para establecer

confianza en los resultados del ACV o ICV estudiado incluyendo el chequeo de integridad, chequeo de sensibilidad, chequeo de consistencia, o cualquier otra aprobación que sea necesaria según la definición del objetivo y alcance del estudio.

Factor de caracterización

Factor derivado de un modelo que se aplica para convertir los resultados asignados de un ICV en unidades equivalentes de una sustancia con potencial capacidad de promover el impacto al medio ambiente.

Flujo productivo

Flujo de un proceso productivo cualquier, constituido de bienes, materiales, servicios, energía, residuos, etc.

Flujo elemental

Material o energía introducido en el sistema, sometido a estudio, que ha sido sacado del medio ambiente sin la previa transformación humana o Material o energía salido del sistema, sometido a estudio, que ha sido desechado en el medio ambiente sin una subsiguiente transformación

Flujo de energía

Entrada o salida de una unidad del proceso del sistema producción, cuantificado en unidades de energía.

Impacto medioambiental

Consecuencia atribuida al flujo de entrada o salida de un sistema de producción al medio ambiente

Indicador de la categoría de impacto

Representación cuantificable de una categoría de impacto.

Indicador de impacto

Atributo o aspecto natural del medio ambiente, salud humana o recursos, que se identifica como una preocupación o problema ambiental.

Indicador medioambiental

Parámetro representativo del daño de un producto al medio ambiente, obtenido por el análisis de ciclo de vida.

Inventario del ciclo de vida

La fase del análisis de ciclo de vida donde se condensa y cuantifica las entradas y salidas de un determinado sistema de producción a lo largo de su ciclo de vida.

Interpretación de ciclo de vida

Fase del análisis del ciclo de vida en que los resultados del análisis del inventario o la valoración del impacto, o ambos, son combinados con los objetivos y alcance del estudio para obtener conclusiones y recomendaciones.

Límites del sistema

Interfaces entre un sistema de producción y el medio ambiente u otros sistemas de producción.

Perfil medioambiental

Lista valorada de todas las acciones sobre el medio ambiente asociado con el ciclo de vida de un producto según determinados criterios.

Perfil medioambiental normalizado

Perfil medioambiental constituido por índices de impactos normalizados.

Producto

Bien rentable o servicio producido por un proceso económico, que no requiere, a priori, ninguna transformación adicional para su uso.

Recurso

Material existente en el medio ambiente el cual puede ser explotado del medio ambiente por procesos económicos. Estos son recursos bióticos o abióticos.

Residuo

Cualquier salida del producto que es desechada.

Salidas

Material o energía que dejan el subsistema o sistema en el proceso de producción (los materiales pueden incluir recursos, productos intermedios, productos, emisiones y residuos).

Sistema medioambiental

El medio ambiente y todos los procesos que ocurren en ello.

Sistema de producción

Conjunto de unidades del proceso materialmente y energéticamente conectadas que realizan uno o más funciones definido.

Tabla de inventario

Lista de elementos directamente asociados al producto los cuales son obtenidos del sistema de producción y que tienen efectos potenciales sobre el medio ambiente.

Unidad funcional

Especificación física o funcional de un producto o sistema productivo para su uso

como unidad de referencia en un estudio de análisis del ciclo de vida.

Unidad del proceso

La porción más pequeña de un sistema de análisis que reúne los datos necesarios para realizar el análisis del ciclo de vida.

Valoración del impacto del ciclo de vida

Fase de valoración del análisis del ciclo de vida con el objetivo de entender, evaluar la magnitud e importancia de los impactos potenciales al medio ambiente promovidos por un sistema de producción.