



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

*Facultad de Química-Farmacia.  
Departamento de Ingeniería Química.*

## *Trabajo de Diploma*

*Título: “El análisis de ciclo de vida del azúcar y la sostenibilidad tecnológica”.*

*Autor: Edik Sánchez León.*

*Tutores: MSc. Ana M. Contreras Moya.*

*Dra. Elena Rosa Domínguez.*

SANTA CLARA  
2005

“AÑO DE LA ALTERNATIVA BOLIVARIANA PARA LAS AMÉRICAS”



## Resumen

La evaluación de Ecoindicadores a partir de metodologías que permiten analizar el ciclo de vida de un producto, tienen como objetivo detectar los principales problemas ambientales a lo largo de este, como vía a preservar el medio ambiente al obtener mayor eficiencia, beneficios económicos en el proceso y reducir considerablemente la contaminación ambiental.

El trabajo realizado aborda el tema de la Evaluación de Eco indicadores en la industria azucarera, basado en el Eco indicador 99, aplicado directamente a la producción de azúcar crudo en el CAI “Ciudad Caracas”. Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de utilización del mismo en las diferentes instalaciones de la industria azucarera, así como, los principales impactos en cada etapa del proceso de obtención del producto; se planteó un balance cualitativo del ciclo de vida del producto azúcar en términos exergéticos para el sistema analizado, que permite evaluar el cambio de calidad de la energía que se distribuye en todo el ciclo.

### **Palabras Claves:**

Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Ecoeficiencia, Contaminación Ambiental, Producciones más limpias, Medio Ambiente, Exergía, Productos orgánicos, Ecopuntaje.

# Abstract

The evaluation of Ecoindicators starting from methodologies that allow to analyze the cycle of life of a product, has as objective to detect the main environmental problems along this, as road to preserve the environment when obtaining bigger efficiency, economic benefits in the process and to reduce the environmental contamination considerably.

The carried out work approaches the topic of the Evaluation of Echo indicators in the sugar industry, based on the indicator Eco 99, applied directly to the production of raw sugar in the CAI "Caracas City". The obtained results show the feasibility of use of the same one in the different facilities of the sugar industry, as well as, the main impacts in each stage of the process of obtaining of the product; in this work thought about a qualitative balance of the cycle of life of the product sugar in exergy terms for the analyzed system that allows to evaluate the change of quality of the energy that is distributed in the whole cycle.

## **Key words:**

Analysis of Cycle of Life (LCA), Ecoefiency, Environmental Contamination, cleaner Productions, Environment, Exergy, organic Products, Ecopoints.

## Índice

	Pág
<b>Introducción</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: Revisión bibliográfica</b> .....	4
<b>1.1- La industria azucarera</b> .....	4
1.1.1- Etapas del proceso de producción del Azúcar Crudo.....	5
1.1.1.1- Recepción y limpieza de la materia prima.....	6
1.1.1.2- Etapa de molienda.....	6
1.1.1.3- Etapa de purificación del guarapo. Clarificación.....	7
1.1.1.4- Etapa de Evaporación.....	8
1.1.1.5- Etapa de Cristalización.....	8
1.1.1.6- Etapa de centrifugación o purga.....	9
1.1.1.7- Secado, Enfriamiento y Envase del producto.....	9
1.1.2- Producción y residuos. Caracterización.....	10
1.1.2.1- Residuos de la industria azucarera.....	12
1.1.2.2- Residuales líquidos.....	12
1.1.2.3- Residuales sólidos.....	13
1.1.2.4- Residuales gaseosos.....	14
1.1.2.5- Producciones más limpias.....	14
1.2 - Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del Producto.....	14
1.2.1- Objetivos generales del ACV.....	15
1.2.2- Fases de un ACV producto o proceso.....	16
1.2.2.1- Definición de objetivos y alcance de ACV.....	16
1.2.2.2- Inventario. ACV.....	17
1.2.2.2.1- Inventario. Elementos claves. ACV.....	17
1.2.2.3- Evaluación de Impactos. ACV.....	18
1.2.2.3.1- Evaluación del Impacto. Elementos claves del ACV.....	18
1.2.2.3.2- Categorías de Impactos ambientales. ACV.....	18
1.2.2.3.3- Evaluación de Impactos. Etapa de Clasificación. ACV.....	19
1.2.2.3.4- Evaluación de Impactos. Etapa de Caracterización. ACV.....	19
1.2.2.3.5- Evaluación de Impactos. Etapa de Valoración. ACV.....	20

1.2.2.3.6- Evaluación de Impactos. Etapa de Normalización. ACV.....	20
1.2.3- Consideraciones requeridas sobre el ACV.....	21
1.2.4- Eco-indicadores.....	21
1.2.4.1- Eco-indicator 95 el Eco-indicator 99.....	22
1.2.4.2- Diferencia entre Eco-indicator 95 el Eco-indicator 99.....	24
1.2.4.3- Software para medir Eco-indicadores.....	24
1.2.5 Exergía aplicada al ciclo de vida del producto.....	26
<b>CAPÍTULO II: Determinación de balances de materiales y energía para diferentes escenarios de iteración.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 - Objetivo y alcance de estudio.....</b>	<b>29</b>
2.2 - Determinación de balances de materiales y energía para diferentes escenarios de iteración.....	29
2.2.1- Balance de Materiales y energía para el primer escenario de iteración.....	29
2.2.2.- Balance de Materiales y energía para el segundo escenario de iteración.....	37
2.2.3- Balance de Materiales y energía para el tercer escenario de Iteración.....	40
<b>CAPITULO III: Análisis de Sostenibilidad del Ciclo de Vida de la producción de azúcar mediante el uso de Ecoindicadores y análisis energético.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1- Cálculo de Ecoindicadores a lo largo del Ciclo de Vida del azúcar crudo.....</b>	<b>46</b>
3.2- Explicación del análisis del ciclo de vida de la producción de azúcar en términos exergéticos.....	56
3.3- Balances planteados en términos de exergía para el ciclo de vida del. azúcar crudo.....	59
<b>Conclusiones .....</b>	<b>64</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>65</b>

<b>Referencias.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>72</b>

## CAPITULO I: Revisión bibliográfica

### 1.1 La industria azucarera

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar; alcanza entre 2 y 5 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro. Se conocen diversas variedades cultivadas, que se diferencian por el color y la altura del tallo.

( Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000).

El azúcar no era conocida en la antigüedad. Ninguno de los libros antiguos la menciona. Los profetas sólo consignan unas cuantas cosas sobre la caña de azúcar, un raro y caro lujo importado de tierras lejanas. Se atribuye al imperio persa la investigación y el desarrollo del proceso que solidificó y refinó el jugo de la caña, Esto ocurrió poco después del año 600 de nuestra era y comenzó a usarse como medicina; en esa época, un trocito de azúcar era considerado como una rara y preciada droga. La llamaban *sal India* o *miel sin abejas* y se importaban pequeñas cantidades a un gran costo. Herodoto la conocía como *miel manufacturada* y Plinio como *miel de caña*. Durante la época de Nerón un escritor le puso el nombre de *saccharum*. Dioscorides hace referencia a «una especie de miel sólida llamada saccharum, que se encuentra en las cañas en la India y en la Arabia; tiene la consistencia de la sal y es crujiente». El nombre en latín medieval para un trozo de esa preciosa sustancia fue substituido más tarde en occidente por el de *azúcar*, sobreviviendo a través de las lenguas del imperio árabe y de las lenguas latinas. ( <http://www.mind-surf.net/drogas/azucar.htm>, 2001)

La azúcar en el mundo es obtenida de dos fuentes principales: la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) o a partir de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris L*), mediante los procedimientos industriales convencionales. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla germina hasta que el azúcar se comercializa nacional e internacionalmente mediante procedimientos industriales tradicionales. (<http://www.autentico.org/oa09068.php>, 1999); (Austin, 1992)

En nuestro país la azúcar es obtenida a partir de la gramínea, las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. Sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser los siguientes:

Componentes	Proporción	Componentes	Proporción
agua	73 - 76 %	<u>glucosa</u>	0,2 - 0,6 %
<u>sacarosa</u>	8 - 15 %	fructosa	0,2 - 0,6 %
fibra	11 - 16 %	sales	0,3 - 0,8 %
ácidos orgánicos	0,1 - 0,8 %	otros	0,3 - 0,8 %

Durante el período de crecimiento requiere de altas temperaturas y abundante agua. Con la ayuda del cruce sistemático para el mejoramiento, se han producido variedades adecuadas para una amplia gama de climas y altamente resistentes a períodos de sequía, así como a plagas.

Para el cultivo de la caña es necesario tener en cuenta tanto las características de las diferentes variedades de suelos como de lograr la combinación más eficaz. (Morrel. 1985).

Las industrias azucareras son las encargadas de procesar la materia prima, para la obtención de tan valioso recurso para el hombre; cada día su proceso de producción se hace más complejo, buscando mejoras en calidad de producto y minimizando el daño a nuestro ecosistema. ([http://sugar.cs.jhu.edu/sugar\\_pictures.html](http://sugar.cs.jhu.edu/sugar_pictures.html),2000).

### 1.1.1 Etapas del proceso de producción del Azúcar Crudo

La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial en el continente americano y europeo. El azúcar se consume en todo el mundo, puesto que es una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países.

La sacarosa de la caña de azúcar es un *disacárido* natural formado por el enlace bioquímico de los *monosacáridos* glucosa (azúcar de uvas o dextrosa) y fructosa (azúcar de frutas o levulosa), se obtiene de la planta de la caña por la reacción de fotosíntesis debiéndose separar en el proceso de fabricación otros componentes como

son las fibras, las sales minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros, obteniéndose una sacarosa de alta pureza en forma de cristal. El proceso de obtención del azúcar crudo en las industrias del mundo consta de 7 etapas:

- \* Recepción y limpieza
- \* Molienda
- \* Purificación
- \* Evaporación
- \* Cristalización
- \* Centrifugación
- \* Almacenamiento

Cada etapa debe cumplir con los parámetros de calidad requeridos por el proceso, lográndose un comportamiento de forma fehaciente en todo el proceso. (Anexo 1). (Blackwell, 2000).

#### **1.1.1.1 Recepción y limpieza de la materia prima**

El proceso productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa de siembra de la caña. Una vez la planta madura entre los 12 y 14 meses, las personas encargadas del área de cosecha se disponen a cortarla y recogerla a través de alce mecánico y semimecánico y transportarla hacia los patios de caña de los ingenios, mediante camiones. A la caña que llega del campo se le realiza análisis muestral para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas, la misma para ser procesada debe contener una pureza mínima de 75 °Brix. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras. Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos. (Revista el productor, 2003).

#### **1.1.1.2 Etapa de Molienda**

La caña preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. La extracción del jugo moliendo la caña entre pesados rodillos o mazas constituye la primera etapa del procesamiento del azúcar crudo. Primero, la caña se prepara para la molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en pedazos

pequeños, mediante molinos de martillo que desmenuzan pero no extraen el jugo, o bien, en forma mas general, por una combinación de dos o tres de dichos métodos.

Cada molino esta equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, generalmente caliente (agua de imbibición), para extraer al máximo la sacarosa que contiene el material fibroso. Este proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se lleva a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos.

Todo ingenio consta de un sistema de generación de vapor, conformado por calderas acuotubulares que utilizan el bagazo como combustible principal generando vapor directo, el cual acciona turbo reductoras de molinos y turbos generadores para producir energía eléctrica, que junto con el vapor de escape de las turbinas es utilizado en los procesos de calentamiento y evaporación del jugo. ([http://www.monografias.com/trabajos\\_11/metods/shtml,1998](http://www.monografias.com/trabajos_11/metods/shtml,1998)); (Pérez, 2003)

Posteriormente el jugo mezclado pasa a través de un colador rotatorio para extraer las partículas suspendidas, siendo enviado posteriormente hacia los calentadores.

### **1.1.1.3 Etapa de Purificación del guarapo: Clarificación**

Esta etapa recibe el jugo proveniente de los molinos y mediante procesos químicos y físicos purifica el jugo obteniéndose sacarosa en forma de cristal de alta pureza. Producto de proceso de purificación de jugo se obtiene el residuo llamado cachaza.

Al iniciar la sección se eleva la temperatura considerablemente con lo que se llega a esterilizar, disminuye la viscosidad, la tensión superficial, se complementan algunas reacciones inconclusas, se coagulan las gomas y las ceras presentes en el jugo. Antes de su ingreso a los clarificadores el jugo calentado pasa por los tanques Flash que tienen el propósito de eliminar la presión, la alta velocidad y la energía en exceso que adquiere el jugo en el proceso de calentamiento. El jugo de color verde oscuro procedente de la etapa de molienda es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea en forma general, cal y otros agentes clarificantes. La lechada de cal, alrededor de 16°Be (0,5 kg (CaO) por tonelada de caña), neutraliza la acidez natural del guarapo,

formando sales insolubles de calcio. El jugo clarificado transparente y de un color pardusco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional; por el fondo de los clarificadores, se extraen los sedimentos que contienen un elevado porcentaje de sacarosa y para recuperarla se aplica el proceso de filtración al vacío, también se obtiene la cachaza agotada que es de utilidad en la producción de Bio-abono.

Las sales insolubles en suspensión que se encuentran en la mezcla son separadas en el clarificador por una rotación, logrando también disminuir el porcentaje de dextrana, la turbidez y el color obteniéndose la mezcla clarificada que garantiza una mejor calidad en el proceso de cocimiento y cristalización

El jugo clarificado se transporta por bombas centrífugas al sistema de evaporación de múltiple efecto donde se elimina aproximadamente el 80% de agua presente.

(<http://www.monografias.com/trabajos5/colarq/colarq.shtml>, 1998)

#### **1.1.1.4 Etapa de Evaporación**

En esta sección se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro que posee casi la misma composición del jugo crudo extraído (excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal), contiene aproximadamente un 85 % de agua, y se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12 % ,obteniéndose una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60%. Este proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, los cuales consisten en celdas de ebullición (generalmente cuatro) dispuestas en serie. El jugo entra primero en el preevaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar a ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así el menor punto de ebullición en cada evaporador, evaporándose las dos terceras partes de esta agua. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura. (Hugot, 1980).

#### **1.1.1.5 Etapa de Cristalización**

La cristalización se realiza en los tachos, siendo recipientes al vacío de un solo efecto, proceso combinado en la evaporación y cristalización, en ellos se concentran la mezcla y los otros productos azucarados hasta llegar a un punto por encima del punto de saturación donde la sacarosa pasa del estado de solución a sacarosa en cristales,

obteniendo tamaños del grano a valores normados, El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos para lograr la mayor concentración de sacarosa. La templa (el contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador para adherir partículas de sacarosa disueltas en las mieles al grano, aumentando el volumen del cristal.

#### **1.1.1.6 Etapa de Centrifugación o purga**

La masa cocida proveniente del mezclador o del cristalizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas, forradas en el interior con tela metálica, entre éstas y las paredes hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1000 1800 rpm. El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar que puede lavar con agua si se desea. El licor madre, la miel, pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 hasta 1800 veces la fuerza de la gravedad), y después que el azúcar es purgado se corta, dejando la centrífuga lista para recibir otra carga de masa cocida. Las máquinas modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad (o de una alta fuerza de gravedad) provistas de control automático para todo ciclo. Los azúcares de un grado pueden purgarse utilizando centrífugas continuas.

#### **1.1.1.7 Secado, Enfriamiento y Envase del producto**

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras que son elevadores rotatorios en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, alrededor del 0.05 %, para evitar los terrones. El azúcar se seca con temperatura cercana a 60 °C, se pasa por los enfriadores rotatorios inclinados que llevan el aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta aproximadamente 40-45°C para conducir al envase. El cristal seco y frío se empaca en sacos de diferentes

pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta y comercio. El producto crudo debe cumplir los requisitos indicados en las tablas I y II (Anexo 2). Los requisitos microbiológicos se pueden verificar por los métodos de número más probable y recuento en placa (NMP) o de filtración por membrana (FPM). (<http://html.rincondelvago.com/azucar,2002>); (Casanova, 1997).

### **1.1.2 Producción y Residuos. Caracterización**

El potencial de mercado de las producciones de azúcar crudo a escala mundial ha descendido en la última década, debido a la gran competencia que ejerce el azúcar ecológica, debido al bajo aporte de constituyentes químicos, como a contener mayores cantidades de vitaminas y minerales; estimándose su producción en cerca de US \$ 30 000 millones a finales del año 2004, siendo Europa el destino fundamental en estas producciones. Para el caso del azúcar crudo, el comercio mundial en el 2001 representaba alrededor de US \$6.1 millones (de acuerdo a estimaciones de productores brasileños). La producción mundial de azúcar en el año 2001 (septiembre 2000 a agosto 2001) fue 130.615.770 toneladas métricas valor crudo (tmvc), de las cuales un 73% provienen de la caña de azúcar y el 27% de la remolacha. Los diez mayores productores acumularon el 71% del azúcar mundial, siendo Brasil el mayor productor del crudo (anexo 3) ([www.perafan.com/ea02baja.html#valorcrudo](http://www.perafan.com/ea02baja.html#valorcrudo), 2002)

Cuba se encuentra entre los líderes mundiales en producción de azúcar; la gramínea es su cultivo más importante tanto en volumen como en ingresos. A finales de la década de 1960 se sustituyó la política inicial de rápida industrialización, diseñada para diversificar la economía, por la intensa producción de azúcar. A principios de la década de 1990 la cosecha anual de caña de azúcar fue de 58 millones de toneladas, descendiendo paulatinamente hasta alcanzar en el 1998 las 40.000.000 toneladas. (Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000, Cuba)

En los últimos años, la industria azucarera cubana ha llevado transformaciones necesarias; resultados de zafas anteriores (2002-2003) arrojaron grandes pérdidas, el

bajo precio del azúcar en los mercados internacionales, y otros ascensos en los precios de productos como: el petróleo; el desate de una guerra en Iraq, entre otros factores, trajo consigo que el gobierno cubano efectuara planes de emergencia, anticipando un aumento aún más súbito en los costos del combustible. Debido a un intento de golpe de estado en Venezuela, que interrumpió los suministros durante meses, la inversión para la adquisición de petróleo se tornaba cada vez más elevada, entonces es cuando se toma la decisión de la reestructuración de la industria azucarera". Esta transformación de la industria azucarera impulsaría lo que ha sido desde el principio un objetivo de la Revolución Cubana: romper el dominio de la dependencia económica cubana del azúcar y diversificar más la agricultura y la industria. Sin embargo, el momento en que se tomó la decisión de iniciar estos cambios no fue dictado por esa meta. Tampoco fue dictado por la caída a largo plazo de los precios del azúcar crudo en el mercado mundial (que han ido bajando a una tasa anual promedio del 1.5 por ciento --ajustada para inflación-- durante la segunda mitad del siglo XX). Por tal, el gobierno cubano se vio en la necesidad de dictar numerosas medidas para reorganizar lo que ha estado al centro de la agricultura y la industria de Cuba por más de 150 años.

El objetivo de esta transformación es la concentración de los recursos en los centrales más eficientes y en las tierras más aptas para el cultivo de la caña, a fin de reducir el costo de producción de una libra de azúcar por debajo del precio promedio a largo plazo en el mercado mundial. La meta anual de producción es un promedio de 4 millones de toneladas, para satisfacer el consumo interno y cumplir los contratos internacionales.

El momento en que se decidió aplicar estas medidas es producto de la creciente vulnerabilidad de Cuba, durante la última década, a las presiones ejercidas mediante el mercado mundial y la guerra económica de Washington, así como la necesidad de trastocar la creciente obsolescencia de la industria azucarera cubana. Los métodos de producción y maquinaria ineficientes y la estructura de costos excepcionalmente altos de la agroindustria azucarera cubana es un legado de tres décadas de producción orientada hacia la demanda y los acuerdos comerciales a largo plazo con los países que entonces formaban parte del Consejo de Ayuda Mutua Económica. Para ello, 71

ingenios seguirán moliendo azúcar y 14 se dedicarán ahora a procesar los derivados de la caña. (Silberman, 2004)

### **1.1.2.1 Residuos de la industria azucarera**

Durante los últimos veinte años, se ha venido registrando un aumento significativo en la generación de residuos industriales. La industria azucarera aporta al medio grandes efectos de contaminación, pero es de destacar el uso de sus residuales sólidos favorables a la economía; y la gestión adecuada de los residuos agrícolas cañeros, cuya utilización con diferentes fines muestra una halagüeña perspectiva en Cuba, representa una contribución a la conservación del medio ambiente (Rubio, 2000).

Entre otros, los principales usos de dichos residuos son los siguientes:

- Generación de vapor (sustituyendo el gasoleo y fuel -oil )
- Cocción de alimentos (sustituye la leña, carbón, gasoleo y Keroseno).
- Alimento animal (sustituye parte de otros alimentos )
- Cobertura del suelo (sustituye herbicidas y mantiene la humedad del suelo).

El procesamiento industrial genera: residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

### **1.1.2.2 Residuales líquidos**

Los residuales líquidos están constituidos por todos los desechos líquidos originados en el proceso de fabricación. Los volúmenes aportados, propiedades y composición de esta agua dependerán no solo de su origen y procedencia, sino del grado de eficiencia logrado en el proceso de fabricación y de la metodología de las operaciones industriales (ICIDCA, 1986); (Díaz, 1987); (Eilbeck, 1987).

Las aguas residuales industriales presentan diversas características, en correspondencia con la función que realizan. En la mayoría de los centrales en Cuba los volúmenes de aguas residuales son elevados, difiriendo de la norma que indica que el volumen de agua residual no debe exceder de 0.5-0.6 m<sup>3</sup>/ tonelada de caña, lo que resulta indicativo del uso irracional y por tanto, mayor consumo de agua de abasto,

incidiendo negativamente en el medio y en la eficiencia de los sistemas de tratamiento (Morrel, 1987); (Armalo,1991)

Las aguas residuales del proceso industrial azucarero se originan fundamentalmente por:

- Limpieza de los equipos tecnológicos.
- Limpieza de los diferentes pisos de las diferentes áreas.
- Enfriamiento de equipos auxiliares: bombas de vacío, reductores, etc.
- Aguas de alimentación a condensadores de los sistemas de vacío.
- Enjuague posterior a los tratamientos ácidos y alcalinos de la superficie de transferencia de calor de los equipos de evaporación y calentamiento.( Nemerow, 1991); (Ortega, 1994)

### **1.1.2.3 Residuales sólidos.**

El manejo adecuado de los desechos sólidos generados en el procesamiento de la caña de azúcar produce un impacto ambiental favorable, ya que tanto el bagazo, como la cachaza y cenizas poseen gran valor desde el punto de vista económico para la industria azucarera y otros fines. Las características del bagazo están en dependencia de la variedad de la caña utilizada, el mismo es destinado a la combustión, con el fin de producir vapor. Se conoce que una tonelada de bagazo seco equivale a 0.33 toneladas de fuel-oil, 3.743 m<sup>3</sup> de gas natural y 0.55 toneladas de carbón. Además, se puede plantear que la generación de CO<sub>2</sub> a partir de la combustión de la caña no afecta al medio si se considera el balance que se produce con la cantidad que absorbe la planta durante un ciclo vegetativo.

La combustión del bagazo origina cenizas, las partículas más pesadas precipitan (cenizas de fondo), mientras que el material más finamente dividido

(cenizas volantes) ha de ser separado de los gases antes que estos salgan a la atmósfera, mediante la utilización de separadores de partículas. Las cenizas volantes

constituyen el 80% del total de las cenizas, correspondiendo el 20% restante a las escorias y a las cenizas de fondo. (Cheremisinoff,1999); (Tchobanoglous, 1994).

#### **1.1.2.4 Residuales gaseosos**

Como consecuencia de la combustión del bagazo y el uso de hidrocarburos se generan gases, material particulado fino y humo, su efecto tóxico, producen riesgos ecológicos, así como en seres humanos que viven en zonas aledañas a la industria y daño irreversible a la fauna y flora local (Canter, 1990);(Bueno,1997);(Campbell,1990)

#### **1.1.2.5 Producciones más limpias**

En los últimos años con vista a disminuir el impacto ambiental, desde 1990, la Organización de las *Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)* ha conducido un programa intensivo y pro ambiental, acompañado de una campaña de información y entrenamiento para promover tecnologías limpias o ambientalmente amigables. El programa se diseñó para incrementar la eficiencia y productividad al reducir la contaminación ambiental. En conjunto con el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*, la ONUDI desarrolló el *Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales (Producción más Limpia)*. Incluye un uso más eficiente de los recursos naturales y por ende minimizar los desechos y la contaminación, así como el riesgo a la salud humana y a la seguridad. Esta estrategia ofrece mayores ventajas comparadas con los métodos tradicionales de control y remediación de la contaminación, no solo para beneficio del medio ambiente, sino que trae consigo ventajas competitivas y económicas para aquellas organizaciones que la implementan.(<http://www.cmpl:ipn.mx/Metodología/metodología,2001>); (Márquez,2000); ( Rigola, 1990); (UNEP, 1998).

### **1.2 Análisis del ciclo de vida (ACV) del producto**

La progresiva constatación de que todas las actividades desarrolladas en el seno de una empresa producen impactos en el medio ambiente, conlleva a la necesidad de

analizar en detalle como reducir el impacto de sus productos, no sólo en su producción o en su eliminación, sino en todas y cada una de las fases por las que el producto pasa.(Conesa, 1993) ; ( Cordobés,2000). ( Davis ,1991 ); (PNUMA, 2003).

En los últimos años de la década de los ochenta, el concepto de la “administración del ciclo de vida” llegó a convertirse en un tema estrella, era preciso obtener una herramienta fiable, con la capacidad para evitar problemas derivados de percepciones subjetivas. Surge así el “**Análisis del Ciclo de Vida**” (ACV), que en general se puede definir como: “una aproximación por parte de la administración de la empresa para reducir el impacto de un producto, paquete o actividad sobre la salud humana y el medio ambiente.(Henn y Fava, 1994); (Denberg van, 1995).

El gran salto metodológico fue dado a comienzos de la década del noventa, con las contribuciones de la EPA-EEUU, e instituciones ambientales europeas, tales como la BUWAL-Suiza, el CML-Holanda, el IVL-Suecia, entre otros.

El ACV es una herramienta que contribuye de forma diferenciada a la conservación del entorno, en cada país insertado en este tipo de análisis (anexo 5).

Algunos diseñadores han dado varias definiciones:

1- Según la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) apoyados en la norma ISO 14040 (1997):

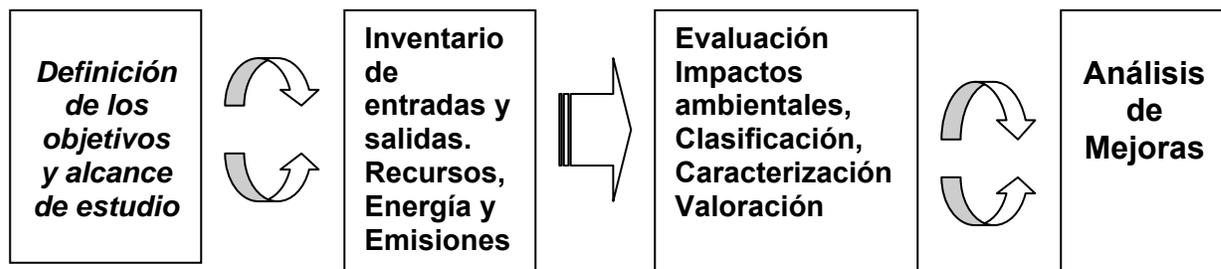
***“(…)es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”.***([www.iso.ch/](http://www.iso.ch/)) ; ([www.setac.org](http://www.setac.org));([AENOR,628.48 AEN](#));(Ahmad,1985);(Berkel,1997);(Hofstetter,1998). (Anexo 4).

### **1.2.1 Objetivos generales del ACV**

- Suministrar un cuadro lo más detallado posible, a cada una de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el medio ambiente

- Identificar las etapas que generan mayores impactos , dando posibles mejoras ambientales
- Obtener datos ambientales de calidad, que facilite el diálogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental (Heijungs, 1992).

## 1.2.2 Fases del ACV del producto



### 1.2.2.1 Definición de objetivos y alcance de ACV

- Propósito y aplicación del estudio. Causas por las que se desea realizar un **ACV** y tipo de aplicación (interno o externo) de los resultados obtenidos.
- Sistema a estudiar: ámbito de estudio. Definición de los límites del sistema, tanto geográfico, como temporales, así como los parámetros que lo caracterizan.
- Unidad funcional: Unidad física, que facilite la comparación de productos que realizan la misma función, por ejemplo mil envases de vidrio de un litro de capacidad, material necesario para encender una cocina.
- Calidad de los datos: Grado de confianza. Tipo de fuentes de la información directos o indirectos , banco de datos de ACV locales, regionales o globales \_\_, antigüedad de los datos y grado de variabilidad.
- Procedimiento de asignación de cargas. Consideración de los sub productos y de los co-productos. Criterios de asignación.

- Métodos de evaluación de impactos seleccionados: Existen en la actualidad diferentes metodologías de valoración de impactos; es importante citar la que se utilizará y por qué.
- Usuarios de la información. Formato de presentación del informe técnico, de difusión ó soporte informático.
- Revisión crítica. Realización o no de una revisión crítica, según la tipología del estudio. Elección del tipo de revisión (al final del estudio o por etapas). (Doménech,1994); (Ericsson,1994).

### **1.2.2.2 Inventario. ACV**

Cosiste en “la obtención de los datos y los procedimientos de cálculos necesarios para la cuantificación de las entradas y salidas del sistema- productos, tanto referidas al consumo de materia primas y energía, como las emisiones al Medio Ambiente “.

#### **1.2.2.2.1 Inventario. Elementos claves ACV.**

- Parámetros a estudiar \_Energía: carbón, gasolina, energía nuclear, energía renovables; materias primas: bauxita; cloro, hierro, residuos sólidos: materia orgánica, envases y embalajes, emisiones a la atmósfera: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC<sub>s</sub>, partículas y emisiones al medio acuoso, DQO, metales pesados, nitratos, fosfatos.(Harper, 1992);(Freedman, 1995)
- Recogidas de datos: Bases de datos locales. Fuentes de datos directos e indirectos. Antigüedad.
- Diagrama de flujo. Entradas: materia prima y energía; salidas: emisiones al aire al agua o al suelo. Definición e interconexión entre los diferentes sub.-sistemas.
- Balances de materia y energía del sistema a estudiar
- Asignación de cargas. En el caso de producirse otros productos diferentes a la unidad funcional en el sistema definido.
- Análisis de sensibilidad de los datos del inventario.

- Redefinición de los objetivos y alcance.
- Representación en forma de matriz de los datos .En la abscisa se representan las diferentes etapas del ciclo de vida y en la ordenada los parámetros inventariados: recursos, energía y emisiones (Fultana, 2000); (Fergusson,1990).

### **1.2.2.3 Evaluación de impactos. ACV**

Según la SETAC y la ISO 14042.

“La evaluación de impactos es un proceso cuantitativo y/o cualitativo para la caracterización y evaluación de los efectos de las cargas ambientales, identificadas en la fase de inventario”.

#### **1.2.2.3.1 Evaluación del impacto. Elementos claves del ACV.**

- Finalidad: interpretar el inventario, analizando y evaluando los impactos potenciales producidos por las cargas ambientales identificadas en esta fase previa.
- Proceso: Convertir las tablas del inventario, que disponen de ciertos datos, en un reducido número de categorías de impacto, con el objetivo de facilitar el proceso de toma de decisiones de mejora.
- Aplicación: Facilitar la identificación de los sub-sistemas que influyen más en el impacto de todo el ciclo de vida del producto.(Seoanez, 1995)

#### **1.2.2.3.2 Categorías de impactos ambientales. ACV**

- Categorías de impactos relacionados con los flujos de entrada.
- Consumo de recursos abióticos.
- Consumo de recursos bióticos.
- Ocupación del suelo.
- Categorías de impacto relacionados con los flujos de salida.
- Calentamiento global.

- Disminución del ozono estratosférico.
- Toxicidad humana.
- Eco toxicidad
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Eutrofización.
- Formación de olores
- Contaminación acústica
- Radiación
- Consumo de energía
- Generación de residuos

#### **1.2.2.3.3 Evaluación de Impactos. Etapa Clasificación. ACV**

- En esta fase se agrupa las diferentes cargas ambientales asociadas al ciclo de vida del producto en cada una de las categorías de impactos asociadas.
- Uno de sus principales objetivos es evitar la doble contabilidad.  
(Svoboda, 1993)

#### **1.2.2.3.4 Evaluación de Impactos .Etapa Caracterización .ACV**

- Todas las cargas ambientales, se caracterizan por aportar altos índices de contaminación al medio. Los factores de ponderación proceden, en varios casos, de modelos que han obtenido el consenso de la comunidad científica internacional.

Así pues, se obtiene una lista de cargas ambientales clasificadas en categorías de impacto y caracterizadas con valores que poseen las mismas unidades por categorías (MJ para categorías relacionadas con la energía, m<sup>3</sup> para el consumo de agua, Kg para acidificación, etc.

La ponderación en cada categoría de impacto se obtiene realizando el análisis ambiental a una determinada sustancia. Por ejemplo, se toman como referencias el CO<sub>2</sub> para el calentamiento global, el CFC 11 para la disminución del ozono estratosférico, el etileno para la formación de oxidantes fotoquímicos, SO<sub>2</sub> para la acidificación, etc.

#### **1.2.2.3.5 Evaluación de Impactos. Etapa valoración .ACV**

- Evaluación cualitativa o cuantitativa de la importancia relativa de las distintas categorías de impacto.
- Ponderación de las diferentes categorías de impacto, con lo que se obtiene un resultado único o índice ambiental.
- Al final de la valoración se podrán comparar y evaluar productos de forma sencilla y rápida.

#### **1.2.2.3.6 Evaluación de Impactos. Etapa Normalización .ACV**

Los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud esperada de cada una de las categorías de impactos para un área geográfica y un momento temporal determinado.

#### **➤ Análisis de Mejoras. ACV**

Está en una fase aún en desarrollo y estudio. Define las acciones para reducir los impactos ambientales de los productos y facilita la interrelación entre los aspectos de viabilidad tecnológica en la incorporación de mejoras y los aspectos sociales y económicos asociados. Esta fase permite:

- Combinar la información obtenida en el inventario con la obtenida en la evaluación de los impactos.
- Decidir qué actuaciones deben ser las prioritarias

- La prioridad puede venir marcada por la magnitud del impacto ambiental asociado, por la facilidad técnica en conseguir la reducción, por la conveniencia económica, por el impacto social de la medida y por el impacto sociocultural.
- Esta etapa final del **ACV**, también debería incluir un análisis de sensibilidad.

### **1.2.3 Consideraciones requeridas sobre el ACV.**

Esta es una de las herramientas más objetivas y cuantitativas que pueden ayudar a los diseñadores en el proceso de diseño de productos más respetuosos del Medio Ambiente, enfatizando en aspectos cruciales como son:

- Bondad ecológica de sus materiales.
- Cantidad de materiales utilizados.
- Durabilidad o vida útil.

El **ACV** incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, y en el se consideran las siguientes etapas:

- Extracción y procesamiento de la materia prima
- Producción, transporte y distribución
- Uso, reutilización y mantenimiento.
- Reciclaje y disposición del residuo.

### **1.2.4 Ecoindicadores**

Es una herramienta a emplear en la búsqueda de alternativas más ecológicas, las empresas tienden a utilizar indicadores para evaluar su actuación interna y externa respecto a determinados temas. Dependiendo de sus características, los indicadores proporcionan información de diversos tipos como puede ser financiera, ambiental, etc. de una forma clara, objetiva, transparente y fácil de analizar.

Los indicadores ambientales evalúan el comportamiento ambiental de la industria, y conlleva los siguientes beneficios:

**Identificación de mejoras:** detección de potenciales de optimización, detección de potenciales de reducción de gastos; identificación de oportunidades de mercado

**Comparación:** Seguimiento de mejoras alcanzadas en el tiempo; comparación de comportamiento ambiental con otras empresas (benchmarking)

**Suministro de información:** Medida de consecución de objetivos y metas ambientales; datos para desarrollar informes o declaraciones ambientales, apoyo para el diseño y la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental.

([www.randagroup.es/esp/ma/ind.htm](http://www.randagroup.es/esp/ma/ind.htm), 1999).

#### 1.2.4.1 Eco-indicator 95 y el Eco-indicator 99

En el mundo y en especial en Europa, se han desarrollado varios indicadores que empleando el ACV midan cuantitativamente el impacto medioambiental para diferentes productos, respaldados por bases de datos como la Oficina Federal Suiza del Medio Ambiente, Bosques y Paisajes (BUWAL, entre los métodos más empleados se encuentran: CML 1992, CML 2 baseline 2000, Método Tellus, Ecopoints 97 (Ecopuntos), Método EDIP 97, Método EPS 2000. Cada método logra ser un medidor efectivo del termómetro impacto ambiental, ellos son: **Eco-indicator 95 y Eco-indicator 99.**

##### Eco-indicator 95

Es un método desarrollado por PRé Consultants con colaboración , entre otras , de las universidades holandesas de Ámsterdam, Leiden y Delft y de las empresas Philips y Volvo Netherlands; este método utilizado muy a menudo por los diseñadores, emplea lo que se conoce como aproximación de distancia al objetivo. El eco-indicador se expresa en milipuntos (mPts) por unidad funcional. Para materiales esta unidad funcional es el kilogramo, así el indicador permite obtener datos para la producción de 1 kg de material. Se incluyen efectos ambientales, que son aquellos que dañan el ecosistema o la salud humana según la escala europea (Geadkoop, 1995)

Las categorías de impacto analizadas son:

- Potencial de calentamiento global o efecto invernadero (PCG) medido en Kg de CO<sub>2</sub> .

- Potencial de destrucción de la capa de ozono (PDCO) medido en Kg de halogenuros.
- Potencial de acidificación ( PA) medido en Kg de  $\text{SO}_4^{2-}$
- Potencial de eutrofización(PEU) medido en Kg de  $\text{PO}_4^{2-}$
- Potencial de toxicidad por generación de metales pesados (PTMP) medido en Kg de plomo.
- Potencial de toxicidad humana por formación de agentes carcinogénicos (PTH) medido en Kg benzol-d-pireno.
- Potencial de formación de óxidos fotoquímicos (PFO) EN Kg de  $\text{C}_2\text{H}_4$
- Consumo de energía en MJ
- Emisiones sólidas en Kg.

Los factores de normalización del método se basan en los niveles de contaminación europeos de principios de los 90 (exceptuando la URSS) generados por un ciudadano medio durante un año.

Las unidades en que se miden los factores de normalización son las mismas que las de las categorías de impacto. Así, el hecho de que el valor de una categoría sea más alto que el de otra no significa que su impacto sea mayor, ya que se comparan aspectos diferentes.

Para la evaluación utiliza factores de valoración basados en la gravedad de los efectos de cada impacto ambiental y en la distancia entre el nivel actual de contaminación para cada categoría de impacto y el nivel deseable. Una vez aplicados los factores de valoración, se llega a un índice global que, en este caso, se mide en micro puntos, de modo que cuanto mayor sea el número de micropuntos, mayor será el impacto ambiental del sistema analizado. (Rieradevall, 1995 y 1999);

#### **Eco-indicator 99**

Se basa en métodos más científicos, para realizar el modelo de daños, además de tener una mejor descripción de ellos, es un procedimiento más explícito para establecer coeficientes entre las categorías de daños, introduce el factor suerte (dispersión y degradación) de las emisiones en el medio ambiente, mayor conjunto de emisiones e

impactos, como la disminución de los recursos, el uso del suelo y la radicación de iones.

#### **1.2.4.2 Diferencia entre Eco-indicator 95 y el Eco-indicator 99**

La metodología Eco-indicator 95 ha sido utilizada por los diseñadores, pero también criticada, por no incluirse algunos aspectos ambientales importantes a la hora de desarrollar el método, empleando lo que se conoce como aproximación de distancia al objetivo, no estableciéndose objetivos claros para definir niveles de objetivos sostenibles; este problema se ha solventado en la nueva versión (Eco-indicator 99 ) gracias a la introducción de una aproximación en función de los daños a la salud humana o al ecosistema.

Este Eco-indicator no refleja el estado actual de la metodología de ACV ni de su aplicación; esto no significa, desde luego, que se hayan solucionado todos los problemas. La ciencia ambiental, la tecnología de los materiales y la metodología ACV se seguirán desarrollando, y eso podría suponer futuras mejoras del Eco-indicator.

#### **1.2.4.3 Software para medir Eco-indicadores**

En los últimos años el desarrollo de software ha sido una potente herramienta para la interpretación del ACV del producto, la determinación numérica del impacto ambiental ha sido de gran estudio y vía de solución para valorar el deterioro ocasionado por las industrias, siendo estas las principales aportadoras al medio ambiente de contaminantes. (Medina, 1997).

En la actualidad existen diferentes software creados por los diseñadores ,para el análisis de Ciclo de Vida , en el mundo el más potente es el Simapro.

➤ **Eco-it 1.3**: Es una herramienta muy rápida, permitiendo modelar un producto complejo y su ciclo de vida por unos minutos. Calcula la carga medioambiental, y muestra que partes del ciclo de vida del producto contribuyen a un mayor impacto. Con esta información se obtienen resultados para mejorar la actuación medioambiental del mismo.(Pré Consultants, 2001).

**Bases datos** :Viene con 200 cuentas Eco-indicator 99, para los materiales normalmente usados como metales, plásticos, papel, tabla ,así como la producción,

transporte, energía. Estas cuentas permiten modelar el ciclo de vida de sus productos. 100 cuentas Eco-indicador 95 también son incluidas.

- **Eco-edit 1.3 (revise)**: Es un editor de la base de datos, Eco-revise le permite revisar o crear las bases de datos para el Eco-it 1.3. De esta manera se pueden extender las bases de datos del Eco-indicador que vienen con Eco-it, o incluso crea las nuevas bases de datos con los métodos de proceder diferentes. Mientras SimaPro puede calcular las cuentas solas, este software necesita Eco-revise para agregar al Eco-it las bases de datos. (Pré Consultants, 2001).
- **SimaPro**: Proporciona una herramienta profesional para coleccionar, analiza y supervisa la actuación medioambiental de productos y servicios, determinando numéricamente el impacto en cada una de las fases del ACV del producto, se puede planear fácilmente y analizar los ciclos de vida complejos de una manera sistemática y transparente.

Primero en 1990, SimaPro fue una herramienta probada, fiable y flexible usada por las industrias mayores, consultorías y universidades. Con casi mil licencias del usuario vendidas en 50 países, SimaPro continúa siendo el software de LCA más exitoso mundialmente.

([http://www.pre.nl/simapro/simapro\\_lca\\_software.htm](http://www.pre.nl/simapro/simapro_lca_software.htm), 1999).

El programa contiene una gran base de datos, de la Oficina Federal Suiza para el Medio Ambiente, Bosques y Paisajes (Bundesamt für Umwelt wald und Landchaft BUWAL). (Pré Consultants, 2003). La predicción de impactos se puede realizar a través del Real-Time, desarrollado por SAFER Systems (USA) para la gestión de emergencias en tiempo real en la industria química. Real – Time utiliza de forma efectiva datos atmosféricos, predice continuamente el impacto (por ejemplo dispersión de una nube tóxica) debido a cambios en las condiciones climatológicas de una comunidad. ( Safer Systems, 2003).

En la industria mejicana, se utiliza el programa “Competencia Laboral”. Experiencias de aplicación de este unido al Sima Pro en los ingenios azucareros revela aspectos importantes sobre como involucrar a trabajadores, que están vinculados directamente con la producción, con escaso nivel educativo, en un aprendizaje organizacional orientado simultáneamente a objetivos de competitividad y calidad en el empleo.

La unidad entre los dos modelos se da también desde las perspectivas de gestión de una estrategia de aprendizaje organizacional. El Sima Pro se caracteriza por su aplicación rápida de impacto inmediato, mientras que el modelo de Competencia Laboral requiere de mayor tiempo en la etapa de diseño antes de llegar al personal. Por otra parte, el Sima pro requiere de un esfuerzo constante de renovación para mantener su significado de aprendizaje en la organización, mientras que el modelo de competencia laboral adquiere cada vez más significado en la medida en que madura. (Ruiz, 2001)

### **1.2.5 Exergía aplicada al ciclo de vida del producto**

Los fundamentos teóricos del concepto de exergía fueron expuestos por Gibbs en 1875. La exergía, que es la parte de la energía que puede convertirse en trabajo mecánico, fue descubierta en la termodinámica casi desde sus orígenes formales, con el nombre de "trabajo disponible". Hoy en día cobra una enorme importancia, por un lado, porque la exergía, siendo la medida cuantitativa de la máxima cantidad de trabajo que puede obtenerse de un desequilibrio entre un sistema físico y el ambiente que lo rodea, o entorno, determina cuantitativamente el valor termodinámico de cualquier recurso; y por otro lado, la exergía permite analizar rigurosamente el desperdicio de los recursos en las actividades de una sociedad, estableciendo pautas cuantitativas para su ahorro y uso eficiente. (Rivero, 1990).

La exergía es una cantidad física que depende de las variables de dos sistemas, y no de uno sólo; tiene por ello una propiedad singular, pues de los hechos de que vale cero cuando ambos sistemas están en equilibrio y de que es diferente de cero cuando están en desequilibrio, se sigue que la exergía es la capacidad almacenada de realización de trabajo por dos sistemas en desequilibrio.

Hay exergía acumulada en el mar tropical (por el contraste de temperatura entre la superficie y el fondo), en una masa de agua situada por encima del nivel del mar en una presa (por el contraste de alturas), en una masa de vapor de agua en el subsuelo, como en la geotermia (por la diferencia de temperatura y presión con el aire de la atmósfera), en un cuerpo en rotación (por el contraste en velocidad de giro con

respecto a los cuerpos en reposo), en una masa de petróleo o carbón (por la diferencia en composición química con la atmósfera), etc.

Existe la práctica común de expresar a la entalpía y a la entropía en términos de calor, de manera que la exergía resultante queda igualmente expresada en unidades de calor. Esto es físicamente inconsistente puesto que la exergía es una función de trabajo y no de calor; es por ello que esta es medible a través de la 2<sup>da</sup> Ley de la Termodinámica.

El impacto ambiental generado por un producto a lo largo de su ciclo de vida es expresado en términos de exergía, para mitigar los efectos ocasionados por las industrias actuales; según (Dewulf J, 2001), la describe como: La máxima cantidad de energía que puede ser transformada en trabajo en condiciones ambientales dadas.

El análisis de ciclo de vida es una de las herramientas en la valoración de la sostenibilidad de la tecnología, tiene en cuenta todos los efectos en el ecosistema y la población, en los cuales pueden peligrar las posibilidades de corrientes y de futuras generaciones. El principal estancamiento en los análisis de ciclo de vida radica en los balances de diferentes efectos, estando todo cuantificado en diferentes escalas, por tal, a través de balances exergéticos, basados en la 2<sup>da</sup> Ley de la Termodinámica se pueden cuantificar los efectos inducidos en el propio proceso de producción, y en todo el ciclo de vida del producto. (Dewulf J, 2000).

En la **figura 1.1** se puede precisar la aproximación del ciclo de vida completo de un producto en términos de exergía. Mostrándose todos los cambios exergéticos entre la Ecosfera, la Tecnosfera y Sociedad, a través de la generación, consumo y disposición de un producto.

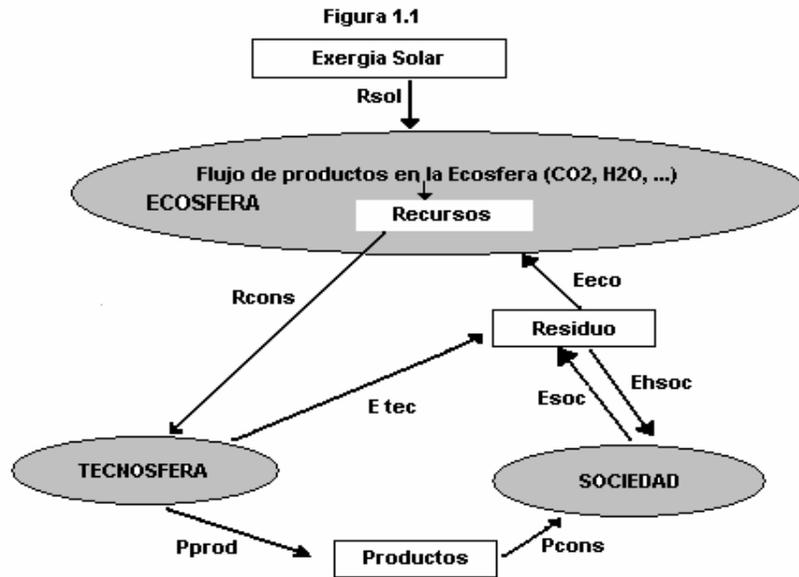


Fig 1.1 Cambios de exergía entre diferentes compartimentos durante el ciclo de vida de un producto.

**Rsol:** flujo de exergía solar a la tierra; **Rcons:** Flujo de exergía de recursos consumidos; **Pprod:** proporción de la producción de la tecnosfera; **Pcons:** Proporción de consumo de la sociedad; **Etec:** Emisión de residuo de la tecnosfera; **Esoc:** Emisión de residuo de la sociedad; **Ehsoc:** Emisión de residuo hacia la sociedad; **Eeco:** Emisión de residuo hacia el ecosistema.

## **CAPITULO II: Determinación de balances de materiales y energía para diferentes escenarios de iteración.**

Según la literatura especializada y los resultados de trabajos previos ( Pérez, 2004), el Análisis de Ciclo de Vida del azúcar crudo se puede realizar siguiendo la metodología propuesta en el diagrama del Anexo 7.

En este trabajo se aplica dicha metodología a la producción de azúcar en el CAI "Ciudad Caracas" con el objetivo de obtener una valoración del impacto generado por el producto azúcar en las diferentes etapas de su ciclo de vida.

### **2.1- Objetivo y alcance del estudio.**

Para el estudio del ciclo de vida del azúcar se consideran tres etapas fundamentales: etapa agrícola, elaboración industrial y distribución del producto, a partir de 2300 toneladas de la gramínea por día como molienda, con el objetivo de obtener los datos necesarios para evaluar el impacto ambiental que tiene lugar en cada una de las fases del ciclo de vida del azúcar. La evaluación de los impactos se realiza según la metodología del Ecoindicador 99.

### **2.2- Determinación de balances de materiales y energía para diferentes escenarios de iteración.**

En el inventario se tienen en cuenta los balances de materiales y energía para diferentes escenarios de iteración (100%, 90%,80% de la capacidad de molienda)

#### **2.2.1- Balances de materiales y energía para el primer escenario de iteración.**

##### **🌱 Etapa de Cultivo**

El cultivo de la caña de azúcar, que se utiliza en el CAI "Ciudad Caracas", ubicado en el municipio de Lajas, Provincia Cienfuegos, en las coordenadas 283.65 LN Y 574.20 LW, se desarrolla en varias Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), ellas son: "La Lima", "San Alejo", "Yumurí", "Ajuria", "Santa Susana", "Manacas", ubicadas en el municipio de Lajas , Provincia Cienfuegos. La superficie total con que cuenta las UBPC es de 358.41 caballerías. En la tabla 2.1 se muestra el resultado del inventario.

La aplicación de componentes químicos al suelo como: fertilizantes y pesticidas aparecen reflejados en el Anexo 8, 9, 10. El consumo de combustible durante toda la etapa, incluyendo la de corte de caña aparece reflejado en el anexo 11.

**Tabla 2.1: Resultados del inventario para la etapa de cultivo de la caña de azúcar**

• <b>Cultivo</b>	
Preparación de la tierra	-----
Superficie agrícola cultivada	358.41 caballerías
Rendimiento agrícola promedio	161073 @
Variedades que se cosechan	Jaronú 60-5, .C120-78, C1051-73, C 323-68.

Índice de Madurez de la Caña	1.00
Tiempo de ocupación del área cultivable	Permanente, multicultivo
Cultivos intercalados	No es recomendable, en caso de hacerlo : arroz (zonas bajas), maíz, frijoles.
Formas de regadío que se utilizan	Por aspersion, En canales
Consumo de agua para regadío y sus características	Se utiliza regadío en menos del 10% del área cultivable , aplicándose no menos de 4-5 riegos/cepa con no más de 210 m <sup>3</sup> / riego, el agua residual proviene de niveles industriales ,embalses, etc.

<p>Cantidad de pesticidas (fungicidas, herbicidas, insecticidas) que son aplicados al suelo:</p>	<p><b>Herbicidas:</b></p> <p>Diurón <b>80</b>--1900 Kg/año</p> <p>Gesapox <b>80</b>— 2300 Kg/año</p> <p>MSMA <b>72</b>— 3440 Kg/año</p> <p>Sal de Amina <b>72</b>-1200 Kg/año</p> <p>Esterisocílico<b>48</b>-5600 Kg/año</p> <p>Asulox <b>40</b>-- 12000 Kg/año</p> <p>Glyphosate-- 4660 Kg/año</p> <p>Finale <b>15</b>-- 3000 Kg/año</p> <p>Gramoxone-- 160 Kg/año</p> <p>Doblete<b>20</b>-- 340 Kg/año</p> <p>Amigan<b>65</b>-- 800 Kg/año</p> <p>Merlin<b>75</b>-- 56 Kg/año</p> <p>Sulfatante<b>90</b>-- 1060 Kg/año</p> <p>Agrotín-- 385 Kg/año</p> <p><b>Total----</b> <b>37081 Kg/año</b></p>
<p>Empleo de productos químicos o naturales como fertilizantes:</p>	<p>Urea-- 716820 Kg/año</p> <p>NH<sub>3</sub>-- 340489.5 Kg/año</p> <p>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-- 197125.5 Kg/año</p> <p>K<sub>2</sub>O-- 645138 Kg/año</p> <p><b>Total— 1899573Kg/año</b></p>
<p>Uso de controladores biológicos</p>	<p>Utilizados para el control de plagas como la mosca Lixophaga;-no se aplican por déficit del producto.</p>

Consumo de combustibles en toda la etapa por diferentes conceptos	1092941 L
Combustible (Diesel) en prep. de tierra .	655764.6 Kg
Combustible(Diesel) en labores culturales	437176.4 Kg
Método de precorte empleado	Cosecha en verde y quema de la caña.
Tipo de corte	Mecanizado
Residuales agrícolas cañeros (RAC). Utilización.	Aportan nutrientes al suelo, alimento animal.
Transportación de la materia prima: • Vehículos utilizados • Distancia a recorrer • Condiciones higiénico-sanitarias • Capacidades	5-7.00 km  Las establecidas 7.00 t
Tiempo transcurrido entre el corte de la caña y su procesamiento	Menor de 24 horas

- ***Procesamiento Industrial.***

Los datos necesarios para conformar el inventario se han obtenido a partir de balances de materiales y energía, de información recogida en la fábrica, índices reportados por el MINAZ y en trabajos precedentes. En los anexos 12 y 13 se detalla la procedencia de la información necesaria para la realización de los balances, que constituyen la base del inventario en esta etapa. La nomenclatura utilizada para todas las corrientes involucradas y sus propiedades así como las variables y parámetros del proceso se relacionan en los anexos 14, 19, 20, 21 respectivamente. Es importante aclarar que se ha tomado como base de cálculo un día de operación y que los cálculos se hicieron utilizando el Excel. Los resultados de los balances se reportan en el anexo 22, para diferentes escenarios. Para una mejor representación de todas las corrientes del proceso productivo se puede ver en los diagramas (anexos 15, 16, 17, 18).

Los residuales líquidos generados se han estimado por el índice de generación que se reporta en el anexo 12 y, están dados en cada una de las etapas por:

I. Extracción del jugo de la caña de azúcar → Se derivan residuales líquidos y sólidos (bagazo). Los residuales líquidos originados en esta etapa provienen de:

- Derrames del tanque de jugo mezclado.
- Derrames de grasas y lubricantes.
- Aguas de limpieza.
- Agua de enfriamiento de la bomba de jugo mezclado.

II. Purificación → residuos del tanque de jugo mezclado, calentadores, clarificador, tanque flash y filtro, debido a la liquidación y limpieza de los mismos. También se producen derrames en las bombas de sosa cáustica y ácido clorhídrico; incrementándose el flujo de residuales con las aguas de limpieza de esta área.

III. Concentración y Cristalización → aguas de limpieza de los evaporadores, tachos, cristalizadores y pisos; además de las aguas de liquidaciones parciales y agua de enfriamiento de la bomba central.

IV. Centrifugación → aguas de limpiezas de las centrifugas.

El flujo de residual se incrementa por las aguas de limpieza de todas las áreas en general de la planta, aguas del laboratorio (lavado de la cristalería), pérdidas reportadas en el enfriadero, entre otras que se dan de forma general.

El consumo de energía eléctrica se estima por el gasto diario promedio reportado para la industria en la zafra analizada; En el (Anexo 22) se muestra el indicador dado en la zafra 2004.

El inventario no se ha podido confeccionar con la rigurosidad que se requiere, para implementar la metodología propuesta, por no contar con la información necesaria para ello. En la Tabla 2.2 se muestra el resultado del inventario para esta etapa.

**Tabla 2.2: Resultados del inventario para la etapa de procesamiento industrial.**

<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Procesamiento Industrial</b></li> </ul>	
Materia prima procesada	2300000 kg/d
Índice de materias extrañas en caña	4.8-6 %
Consumo de insumos:	
• Hidróxido de sodio	103.5 kg/d
• Ácido clorhídrico	103.5 kg/d
• Lechada de cal	32870.83 kg/d
• Zeolita	665.348 kg/d

Generación de vapor (caldera de bagazo)	1904787.6 kg/d						
• capacidad de generación	7t/h						
• presión	100 lbs/in <sup>2</sup>						
• temperatura	165 °c						
• calor latente	2 068.2 kj/kg						
Consumos energéticos							
• Vapor	1498970. kg/d						
• Electricidad total	4321.50 kW-h						
• Electricidad en la planta moledora	921.20 kW-h						
Combustible empleado para la generación de vapor. Propiedades	Bagazo = 871578.9 kg/d						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elem. Quím.</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>47.00</td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub></td> <td>6.50</td> </tr> </tbody> </table>	Elem. Quím.	%	C	47.00	H <sub>2</sub>	6.50
Elem. Quím.	%						
C	47.00						
H <sub>2</sub>	6.50						

	O <sub>2</sub>	44.00
	Cenizas	2.50
	S <sub>8</sub>	0.00
	N <sub>2</sub>	0.00
	Valor calórico	7.98 MJ/kg
	Humedad	48.35 %
Productos intermedios		
• Jugo Mezclado		1860406.015 kg/d
• Bagazo		871578.9 kg/d
• Jugo Filtrado		297664.96 kg/d
• Jugo Alcalizado		1893276.85 kg/d
• Jugo Clarificado		1526611.886kg/d
• Lodo del clarificador		366664.96kg/d
• Cachaza		69000 kg/d
• Meladura		297994.64kg/d
• Azúcar Comercial		2671472.6 kg/d
• Miel Final		1097935.85kg/d
Residuales sólidos. Disposición	Bagazo = 871578.9 kg/d → Generación de vapor Cachaza = 69000 kg/d → Producción de compost Cenizas = 28762.107 kg/d → Áreas exteriores de la planta y otros usos secundarios	
Residuales líquidos Disposición	1150.0 m <sup>3</sup> /d Sistema de lagunas de oxidación	

- **Distribución.**

Los principales países que consumen el azúcar crudo producido en nuestro país son: Ucrania, Rusia, Japón, China, Vietnam, Malasia. En el caso de la producción analizada el producto fue exportado al mercado mundial. Es indispensable, para garantizar las características ecológicas del producto, exigir el cumplimiento, por parte de las entidades competentes, de las condiciones higiénico-sanitarias que están establecidas para la transportación y almacenamiento del producto. El inventario de esta etapa se representa en la Tabla 3.3 que se da a continuación:

**Tabla 2.3: Resultados del inventario para la etapa de distribución del azúcar crudo**

• <b>Distribución</b>	
Forma de comercialización del producto	Envasado , a granel
Envase: • Tipo de envase • Peso del envase • Capacidad • Biodegradable • Destino	-Bolsas de papel del tipo de paredes múltiples(1) -En tolvas(2) (1)223 g , (2)50 kilogramos Si -----
Vías de transportación del producto	Carreteras , vía férrea
Vehículos destinados a la transportación: • Tipo • Capacidad • Consumo de combustible (ida)	FIAT № 619-T1, Tolvas 01497FFCC 16 toneladas(1), 50 toneladas(2) 42 litros

• Distancia a recorrer	85 Km.
• Condiciones de almacenamiento	Las establecidas

### **2.2.2- Balances de materiales y energía para el segundo escenario de iteración.**

Los datos de la etapa de cultivo, procesamiento industrial (balance de materiales y energía) y, etapa de distribución y consumo, se realizó en esta iteración para un 90% de la capacidad de molienda de la industria. La superficie total con que cuenta las UBPC es de 322.6 caballerías. En la tabla 2.1 se muestra el resultado del inventario (Ver anexos 8, 9, 10,11), los detalles de cada escenario restante son similares al primero.

**Tabla 2.4: Resultados del inventario para la etapa de cultivo de la caña de azúcar**

Cantidad de pesticidas (fungicidas, herbicidas, insecticidas) que son aplicados al suelo:	<b>Herbicidas:</b>
	Diurón <b>80</b> -- 1710 kg/año
	gesapox <b>80</b> — 2070 kg/año
	Msma <b>72</b> — 3096 kg/año
	Sal de amina <b>72</b> - 1080 kg/año
	Esterisocílico <b>48</b> -5040 kg/año
	Asulox <b>40</b> -- 10800 kg/año
	Glyphosate-- 4194 kg/año
	Finale <b>15</b> -- 2700 kg/año
	Gramoxone-- 144 kg/año
	Doblete <b>20</b> -- 306 kg/año
	Amigan <b>65</b> -- 720 kg/año

	Merlin <b>75</b> --	50.4 kg/año
	Sulfatante <b>90</b> --	954 kg/año
	Agrotín--	346.5 kg/año
	<b>total----</b>	<b>33372.9 kg/año</b>
Empleo de productos químicos o naturales como fertilizantes:	Urea--	645138 Kg/año
	NH <sub>3</sub> --	306440.5 Kg/año
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> --	177412.95 Kg/año
	K <sub>2</sub> O--	580624.2Kg/año
	<b>Total—</b>	<b>1709615.7Kg/año</b>
Consumo de combustibles en toda la etapa por diferentes conceptos:		983646.9 L
Combustible (Diesel) en prep. de tierra.		590188.14 Kg
Combustible (Diesel) en labores culturales.		393458.8 Kg

- **Procesamiento Industrial.**

Se obtuvo los datos para esta iteración a partir de balances realizados en el Anexo 12.

**Tabla 2.5: Resultados del inventario para la etapa de procesamiento industrial.**

<b>• Procesamiento Industrial</b>	
Materia prima procesada	2070000 kg/d
Índice de materias extrañas en caña	4.8-6 %
Consumo de insumos:	
• Hidróxido de sodio	93.15 kg/d
• Ácido clorhídrico	93.15 kg/d
• Lechada de cal	29583.74 kg/d

• Zeolita	598.81 kg/d
-----------	-------------

Generación de vapor (caldera de bagazo)	1714308.84 kg/d
• capacidad de generación	7t/h
• presión	100 lbs/in <sup>2</sup>
• temperatura	165 °c
• calor latente	1861.38 kj/kg

Consumos energéticos																			
• vapor	1349073. Kg/d																		
• electricidad total	3889.35 kw-h																		
• electricidad en la planta moledora	829.08 kw-h																		
Combustible empleado para la generación de vapor. Propiedades	Bagazo = 784421.01 kg/d																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elem. Quím.</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>47.00</td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub></td> <td>6.50</td> </tr> <tr> <td>O<sub>2</sub></td> <td>44.00</td> </tr> <tr> <td>Cenizas</td> <td>2.50</td> </tr> <tr> <td>S<sub>8</sub></td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>N<sub>2</sub></td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Valor calórico</td> <td>7.98 MJ/kg</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>48.35 %</td> </tr> </tbody> </table>	Elem. Quím.	%	C	47.00	H <sub>2</sub>	6.50	O <sub>2</sub>	44.00	Cenizas	2.50	S <sub>8</sub>	0.00	N <sub>2</sub>	0.00	Valor calórico	7.98 MJ/kg	Humedad	48.35 %
Elem. Quím.	%																		
C	47.00																		
H <sub>2</sub>	6.50																		
O <sub>2</sub>	44.00																		
Cenizas	2.50																		
S <sub>8</sub>	0.00																		
N <sub>2</sub>	0.00																		
Valor calórico	7.98 MJ/kg																		
Humedad	48.35 %																		
Productos intermedios																			
• Jugo Mezclado	1674365.41 kg/d																		
• Bagazo	784421.01kg/d																		
• Jugo Filtrado	267898.46 kg/d																		
• Jugo Alcalizado	1703949.165 kg/d																		

• Jugo Clarificado	1373950.697kg/d
• Lodo del clarificador	329998.46kg/d
• Cachaza	62100 kg/d
• Meladura	268195.17kg/d
• Azúcar Comercial	2404325 kg/d
• Miel Final	988142.26kg/d

Residuales sólidos. Disposición	Bagazo = 784421.01 kg/d → generación de vapor Cachaza = 62100 kg/d → producción de compost Cenizas = 23532.63kg/d → áreas exteriores de la planta y otros usos secundarios
Residuales líquidos Disposición	1035 m <sup>3</sup> /d Sistema de lagunas de oxidación
Residuales gaseosos. Características	Gases de combustión (CO <sub>2</sub> ) → 694212.59 kg/d

- **Distribución.**

Los resultados de la etapa de distribución y consumo aparecen registrados en la tabla 2.3 de la iteración # 1.

### **2.2.3- Balances de materiales y energía para el tercer escenario de iteración.**

Los datos de la etapa de cultivo, procesamiento industrial (balance de materiales y energía) y, etapa de distribución y consumo, se realizó en esta iteración para un 80% de la capacidad de molienda de la industria. La superficie total con que cuenta las UBPC es de 286.72 caballerías. En la tabla 2.1 se muestra el resultado del inventario (Ver anexos 8, 9, 10,11).

**Tabla 2.6: Resultados del inventario para la etapa de cultivo de la caña de azúcar**

<p>Cantidad de pesticidas(fungicidas, herbicidas, insecticidas) que son aplicados al suelo:</p>	<p><b>Herbicidas:</b></p> <p>Diurón <b>80</b>-- 1520 kg/año</p> <p>gesapox <b>80</b>— 1840 kg/año</p> <p>Msma <b>72</b>— 2752 kg/año</p> <p>Sal de amina <b>72</b>- 960 kg/año</p> <p>Esterisocílico<b>48</b>- 4480 kg/año</p> <p>Asulox <b>40</b>-- 9600 kg/año</p> <p>Glyphosate-- 3728 kg/año</p> <p>Finale <b>15</b>-- 2400 kg/año</p> <p>Gramoxone-- 128 kg/año</p> <p>Doblete<b>20</b>-- 272 kg/año</p> <p>Amigan<b>65</b>-- 640 kg/año</p> <p>Merlin<b>75</b>-- 44.8 kg/año</p> <p>Sulfatante<b>90</b>-- 848 kg/año</p> <p>Agrotín-- 308 kg/año</p> <p><b>total----</b> <b>29664.8 kg/año</b></p>
<p>Empleo de productos químicos o naturales como fertilizantes:</p>	<p>Urea-- 573456 Kg/año</p> <p>NH<sub>3</sub>-- 272391.6 Kg/año</p> <p>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-- 157700.4 Kg/año</p> <p>K<sub>2</sub>O-- 516110.4 Kg/año</p>

	<b>Total— 1519658.4Kg/año</b>
Consumo de combustibles en toda la etapa por diferentes conceptos	874352.8 L
Combustible (Diesel) en prep. de tierra .	524611.7 Kg
Combustible (Diesel) en labores culturales	349741.12 Kg

• **Procesamiento Industrial.**

Se procedió para esta iteración a partir de balances realizados en el Anexo 12.

**Tabla 2.5: Resultados del inventario para la etapa de procesamiento industrial.**

• <b>Procesamiento Industrial</b>	
Materia prima procesada	1840000 kg/d
Índice de materias extrañas en caña	4.8-6 %
Consumo de insumos:	
• Hidróxido de sodio	82.8 kg/d
• Ácido clorhídrico	82.8 kg/d
• Lechada de cal	26296.6 kg/d
• Zeolita	532.27 kg/d

Generación de vapor (caldera de bagazo)	1523830.08 kg/d
• capacidad de generación	7t/h
• presión	100 lbs/in <sup>2</sup>
• temperatura	165 °c
• calor latente	1654.56 kj/kg

Consumos energéticos	
----------------------	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• vapor</li> <li>• electricidad total</li> <li>• electricidad en la planta moledora</li> </ul>	<p>1199176. Kg/d</p> <p>3457.2 kw-h</p> <p>736.96 kw-h</p>																		
Combustible empleado para la generación de vapor. Propiedades	<p style="text-align: center;">Bagazo = 697263.12 kg/d</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Elem. Quím.</th> <th style="width: 40%;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: center;">47.00</td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub></td> <td style="text-align: center;">6.50</td> </tr> <tr> <td>O<sub>2</sub></td> <td style="text-align: center;">44.00</td> </tr> <tr> <td>Cenizas</td> <td style="text-align: center;">2.50</td> </tr> <tr> <td>S<sub>8</sub></td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>N<sub>2</sub></td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>Valor calórico</td> <td style="text-align: center;">7.98 MJ/kg</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td style="text-align: center;">48.35 %</td> </tr> </tbody> </table>	Elem. Quím.	%	C	47.00	H <sub>2</sub>	6.50	O <sub>2</sub>	44.00	Cenizas	2.50	S <sub>8</sub>	0.00	N <sub>2</sub>	0.00	Valor calórico	7.98 MJ/kg	Humedad	48.35 %
Elem. Quím.	%																		
C	47.00																		
H <sub>2</sub>	6.50																		
O <sub>2</sub>	44.00																		
Cenizas	2.50																		
S <sub>8</sub>	0.00																		
N <sub>2</sub>	0.00																		
Valor calórico	7.98 MJ/kg																		
Humedad	48.35 %																		
<p>Productos intermedios</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jugo Mezclado</li> <li>• Bagazo</li> <li>• Jugo Filtrado</li> <li>• Jugo Alcalizado</li> <li>• Jugo Clarificado</li> <li>• Lodo del clarificador</li> <li>• Cachaza</li> <li>• Meladura</li> <li>• Azúcar Comercial</li> <li>• Miel Final</li> </ul>	<p style="text-align: right;">1488324.81 kg/d</p> <p style="text-align: right;">697263.12kg/d</p> <p style="text-align: right;">238131.97 kg/d</p> <p style="text-align: right;">1514621.48 kg/d</p> <p style="text-align: right;">1221289.50kg/d</p> <p style="text-align: right;">293331.96kg/d</p> <p style="text-align: right;">55200 kg/d</p> <p style="text-align: right;">238395.71kg/d</p> <p style="text-align: right;">2137178.08 kg/d</p> <p style="text-align: right;">878348.68kg/d</p>																		

Residuales sólidos. Disposición	Bagazo = 697263.12 kg/d → generación de vapor
---------------------------------	---

	Cachaza = 55200 kg/d → producción de compost Cenizas = 20917.89 kg/d → áreas exteriores de la planta y otros usos secundarios
Residuales líquidos Disposición	920 m <sup>3</sup> /d Sistema de lagunas de oxidación
Residuales gaseosos. Características	Gases de combustión (CO <sub>2</sub> ) → 617077.86kg/d

- **Etapa de distribución.**

Los resultados de esta etapa aparecen registrados en la tabla 2.3 de la primera iteración, la tabulación y procesamiento de los datos es similar a las iteraciones anteriores.

Los balances realizados para diferentes escenarios de iteración, es decir, para diferentes capacidades de molienda de la industria, al ser modelados primeramente en el Microsoft Excel, posibilita realizar un análisis comparativo de este, donde al variar los insumos y, al variar las capacidades de molienda para los diferentes escenarios, permitirá conocer el impacto generado en cualquiera de las etapas del ciclo de vida del producto mediante cálculo de Ecoindicadores.

Al analizar el proceso del azúcar para las diferentes condiciones se puede resumir que:

- Las producciones para los diferentes escenarios de iteración fueron relativamente grandes, ellas fueron: primer escenario (114.37 ton /día), segundo escenario (102.63 ton/ día) y el tercer escenario: (91.52 ton/ día).
- El rendimiento agrícola es bajo: para una superficie agrícola cultivable de 358.41 caballerías, es aproximadamente de 161073@.
- El central cumple la demanda de energía eléctrica nacional, el consumo total del SEN es de 260 Mw, vendiendo ó entregando al SEN 3531 Mw.

- El consumo de agroquímicos para la etapa agrícola es relativamente elevado, en las tablas (2.1, 2.4y 2.6) aparece reflejada la cantidad consumida de cada uno de ellos.
- Los residuos líquidos no son analizados de forma sistemática, por lo observado en la inspección visual realizada a la planta de tratamiento, el sistema de tratamiento de los residuos no es eficiente, afectando por ende al ecosistema.

➤ Conclusiones parciales

- En el Cal Caracas, las producciones son relativamente grandes, por lo que también son elevadas las contribuciones al medio ambiente.
- El rendimiento agrícola del cultivo es bajo, para la cantidad de tierra cultivada, lo que requiere la introducción de técnicas más eficientes.
- El CAI cumple la demanda de energía eléctrica, y contribuye con un excedente para entregar al SEN.
- El empleo de productos químicos en el área agrícola, e industrial tiene valores elevados.
- El corte es casi totalmente mecanizado.
- La no existencia de medidores de flujo para el consumo de agua hace imposible estimar la cantidad utilizada en la limpieza de equipos..
- No existe en la industria la cuantificación, una caracterización actualizada de los residuos líquidos y gaseosos.

**CAPITULO III: Análisis de sostenibilidad del Ciclo de Vida de la Producción de Azúcar mediante el uso de Ecoindicadores v análisis exerético.**

**3.1 Cálculo de Ecoindicadores a lo largo del ciclo de vida del azúcar crudo**

Los Ecoindicadores en la industria son determinados por la aplicación del Ecoindicador 99 (GoedKoop M., 2000). Es de destacar que a pesar de tener algunas limitaciones, permite obtener una visión lo más general y acertada posible del impacto producido sobre el Medio Ambiente. Se hicieron algunas consideraciones por las limitaciones de las bases de datos, con el objetivo de lograr una aproximación lo más representativa posible. Se realizó el cálculo del ecoindicador para diferentes escenarios de iteración, midiendo el impacto reflejado en cada una de las iteraciones. Los materiales impactantes durante su ciclo de vida, con sus respectivas magnitudes, se relacionan en la tabla 3.1

➤ **Cálculo de ecoindicadores para diferentes escenarios de iteración**

**Tabla 3.1 Etapa Agrícola (100% de la capacidad de la molienda)**

<b>Material proceso</b>	<b>Cantidad ( Kg /h)</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultados (milipuntos)</b>	<b>Consideración</b>
Combustible (Prep.de Tierra)	75.06	180	13510.8	---
Combustible en lab.Culturales	50.04	180	9007.2	---
Diurón <b>80</b>	0.22	90	19.8	Químico orgánico
Gesapox <b>80</b>	0.26	92	23.92	Químico orgánico
MSMA <b>72</b>	0.39	87	33.9	Químico orgánico
Sal de Amina <b>72</b>	0.14	86	12.04	Químico orgánico
Esterisocílico <b>48</b>	0.64	84	53.8	Químico orgánico
Asulox <b>40</b>	1.37	88	120.6	Químico orgánico
Glyphosate	0.53	96	50.9	Químico orgánico
Finale <b>15</b>	0.34	90	8.19	Químico orgánico
Gramoxone	0.02	98	30.6	Químico orgánico

Doblete <b>20</b>	0.04	91	1.96	Química orgánico
Amigan <b>65</b>	0.09	90	3.64	Química orgánico
Merlin <b>75</b>	0.006	84	0.504	Química orgánico
Sulfatante <b>90</b>	0.12	87	10.4	Química orgánico
Agrotín	0.04	88	3.52	Química orgánico
<b>Fertilizantes</b>				
Urea	82.05	130	10666.5	---
NH <sub>3</sub>	39	160	6240	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	22.6	50	1130	Química inorgánico
K <sub>2</sub> O	74	53	3922	Química inorgánico

**Tabla 3.1.1 Procesamiento industrial**

Material proceso	Cantidad ( Kg /h)	Indicador	Resultados (miliptos)	Consideración
Energ. Calorífica (Bagazo)	36315.8	1.52	55200.0	Madera
Energía Eléctrica	4321.5	7	30250.5	Europa
Lechada de cal	1369.6	0.5	684.8	Química inorgánico
HCL	4.32	39	168	Química inorgánico
NaOH	4.32	38	164.16	Química inorgánico
Zeolita	6.75	14	93.15	Química orgánico
Papel (envase)	50.2	7.56	379.5	papel
Residuos gaseosos.(CO <sub>2</sub> )	79366.1	1.7	134922.4	---

**Tabla 3.1.2 Procesamiento de Distribución.**

Material proceso	Cantidad	Indicador	Resultados(miliptos)	Consideración
Camiones de 16t	1	34	34	-
Combustible (Diesel)	0.42 Kg	75	31.5	---
Camiones 28t	1	22	22	-
Transporte ferroviario	1	3.9	3.9	-

**Tabla 3.1.3 Disposición de envases en vertedero y reciclado**

Material proceso	Cantidad (Kg)	Indicador	Resultados	Consideración
Envases(sacos polietileno) en vertedero	50.2	4.3	215.86	---
Envase reciclado	50.2	-1-2	-60.24	---

**Tabla 3.2 Etapa Agrícola (90% de la capacidad de la molienda)**

Material proceso	Cantidad ( Kg /h)	Indicador	Resultados (milipuntos)	Consideración
Combustible (Prep.de Tierra)	67.55	180	12159	---
Combustible en lab.Culturales	45.04	180	8107.2	---
Diurón <b>80</b>	0.2	90	18	Química orgánico
Gesapox <b>80</b>	0.23	92	22	Química orgánico
MSMA <b>72</b>	0.35	87	30.5	Química orgánico
Sal de Amina <b>72</b>	0.13	86	11.2	Química orgánico
Esterisocílico <b>48</b>	0.58	84	49	Química orgánico
Asulox <b>40</b>	1.23	88	108.2	Química orgánico
Glyphosate	0.48	96	46.1	Química orgánico
Finale <b>15</b>	0.08	90	7.3	Química orgánico
Gramoxone	0.31	98	27.9	Química orgánico
Doblete <b>20</b>	0.02	91	1.96	Química orgánico
Amigan <b>65</b>	0.04	90	3.6	Química orgánico
Merlin <b>75</b>	0.005	84	0.42	Química orgánico
Sulfatante <b>90</b>	0.11	87	9.6	Química orgánico
Agrotín	0.04	88	3.5	Química orgánico
<b>Fertilizantes</b>				
Urea	73.85	130	9600.5	---
NH <sub>3</sub>	35.1	160	5616	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20.34	50	1017	Química inorgánico
K <sub>2</sub> O	67	53	3551	Química inorgánico

**Tabla 3.2.1 Procesamiento industrial**

Material proceso	Cantidad ( Kg /h)	Indicador	Resultados (miliptos)	Consideración
Energ. Calorífica (Bagazo)	32684.2	1.52	49680	Madera
Energía Eléctrica	3889.3	7	27225.1	Europa
Lechada de cal	1232.6	0.5	616	Química inorgánico
HCL	3.89	39	152	Química inorgánico
NaOH	3.89	38	148	Química inorgánico
Zeolita	6.08	14	85.0	Química orgánico
Papel (envase)	45.2	7.56	342	papel
Residuos gaseosos.(CO <sub>2</sub> )	71429.4	1.7	121430.1	---

**Tabla 3.2.2 Procesamiento de Distribución y Consumo**

Material proceso	Cantidad	Indicador	Resultados (miliptos)	Consideración
Camiones de 16t	1	34	34	-
Combustible (Diesel)	0.38 Kg	75	28.4	---
Camiones 28t	1	22	22	-
Transporte ferroviario	1	3.9	3.9	-

**Tabla 3.2.3 Disposición de envases en vertedero y reciclado**

Material proceso	Cantidad (Kg)	Indicador	Resultados	Consideración
Envases(sacos polietileno) en vertedero	45.18	4.3	194.21	---
Envase reciclado	45.18	-1.2	-54.22	---

**Tabla 3.3 Etapa Agrícola (80% de la capacidad de la molienda)**

<b>Material proceso</b>	<b>Cantidad ( Kg /h)</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultados (milipuntos )</b>	<b>Consideración</b>
Combustible (Prep.de Tierra)	60.04	180	10807.2	---
Combustible en lab.Culturales	40.03	180	7205.4	---
Diurón <b>80</b>	0.180	90	16.2	Química orgánico
Gesapox <b>80</b>	0.210	92	19.3	Química orgánico
MSMA <b>72</b>	0.31	87	27	Química orgánico
Sal de Amina <b>72</b>	0.11	86	9.5	Química orgánico
Esterisocílico <b>48</b>	0.51	84	42.8	Química orgánico
Asulox <b>40</b>	1.1	88	97	Química orgánico
Glyphosate	0.42	96	40.3	Química orgánico
Finale <b>15</b>	0.27	90	24.3	Química orgánico
Gramoxone	0.02	98	2.0	Química orgánico
Doblete <b>20</b>	0.03	91	2.94	Química orgánico
Amigan <b>65</b>	0.07	90	6.4	Química orgánico
Merlin <b>75</b>	0.005	84	0.42	Química orgánico
Sulfatante <b>90</b>	0.10	87	8.7	Química orgánico
Agrotín	0.032	88	2.82	Química orgánico
<b>Fertilizantes</b>				
Urea	65.64	130	8533.2	---
NH <sub>3</sub>	31.2	160	4992	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18.1	50	95	Química inorgánico
K <sub>2</sub> O	59.2	53	3138	Química inorgánico

**Tabla 3.3.1 Procesamiento industrial**

Material proceso	Cantidad ( Kg /h)	Indicador	Resultados (miliptos)	Consideración
Energ. Calorífica (Bagazo)	29052.6	1.52	44159.9	Madera
Energía Eléctrica	3457.2	7	24200.4	Europa
Lechada de cal	1095.7	0.5	547.9	Química inorgánico
HCL	3.46	39	134.9	Química inorgánico
NaOH	3.46	38	131.5	Química inorgánico
Zeolita	5.4	14	75.6	Química orgánico
Papel (envase)	40.16	7.56	364.09	---
Residuos gaseosos.(CO <sub>2</sub> )	63492.8	1.7	107937.8	---

**Tabla 3.3.2 Procesamiento de Distribución y Consumo**

Material proceso	Cantidad	Indicador	Resultados(miliptos)	Consideración
Camiones de 16t	1	34	34	-
Combustible (Diesel)	0.34 Kg	75	25.5	---
Camiones 28t	1	22	22	-
Transporte ferroviario	1	3.9	3.9	-

**Tabla 3.3.3 Disposición de envases en vertedero y reciclado**

Material proceso	Cantidad (Kg)	Indicador	Resultados	Consideración
Envases(sacos polietileno) en vertedero	40.16	4.3	172.69	---
Envase reciclado	40.16	-1.2	-48.19	---

➤ **Análisis de impactos generados por etapas y para diferentes escenarios de iteración.**

A continuación se presenta el análisis de impacto producido por cada etapa y en cada escenario de iteración.

➤ **Etapa de cultivo:**

En el gráfico 3.2 y 3.3 (anexo 26) se reportan los resultados de la evaluación de los impactos generados por la aplicación de fertilizantes y herbicidas en la etapa de cultivo, comprobándose que el uso de fertilizantes nitrogenados (urea) en esta etapa genera uno de los mayores impactos, presentando un ecopuntaje de 10.66 Kpt, mostrando el amoníaco un ecopuntaje elevado a continuación de la urea, lo que se relaciona con que el nitrógeno presenta una exportación marcada en la cosecha, provocando daños a la salud, por lixiviación puede transmitirse a corrientes profundas provocando la contaminación de la misma, puede contaminar a la vez las aguas superficiales (eutroficación) por medio de escurrido, el rendimiento de la cosecha con respecto a la dosis de nitrógeno no es lineal, pasado el punto de saturación el exceso de nitrógeno en el suelo reduce el efecto positivo de otros elementos como el (K, P), reduciendo por ende el rendimiento en la cosecha, todo lo expuesto es porque es un producto altamente utilizado en la agricultura como fertilizante.

De los herbicidas (pesticidas) analizados el que mayor impacto reporta es el Asulox 40 por la dosis utilizada, según la literatura el de mayor impacto que debe generar es el Glifosato, lo que se explica por el carácter carcinogénico del producto.

En el gráfico 3.1, anexo 26 se observa el impacto dado por concepto de transportación y consumo del combustible (diesel), utilizados en las labores de preparación y culturales del suelo, como se precisa en el gráfico el mayor efecto está dado por la preparación de la tierra 13.51 Kpt, reflejado en la tabla 3.1 del capítulo III, la base de datos presenta algunas limitaciones como, no reconocer la preparación del suelo agrícola mediante implementos mecánicos (método tradicional de preparación), teniendo mayores desventajas comparado al uso de tracción animal, pero permite el trabajo de tierras en mayor cantidad (ha).

Los impactos producidos por las labores culturales están dadas principalmente por el método que se utilice, si las labores culturales se realizan a mano el impacto siempre será menor que utilizando tecnologías (tractores).

Estudios realizados destacan que la variedad de caña Ja 60-5 es susceptible a la roya bacteriana, al carbón y a la roya, estas dos últimas son muy comunes en nuestro país por lo que se ha ido sustituyendo las diversas y sensibles variedades antes mencionadas, al ser las más resistentes requiere que se aplique mayores volúmenes de productos químicos y de controladores biológicos, para minimizar los efectos.

➤ **Etapa Industrial:**

En los gráficos 3.4 y 3.5, anexo 26, se reportan los resultados arrojados por la etapa de procesamiento industrial, en el mismo se aprecia que el mayor ecopuntaje(134,922 Kpt ) está dado por la emisión de residuos gaseosos, resultado lógico por el impacto sobre el ecosistema, produciendo el calentamiento global asociado a esta acción. Es de destacar que algunos autores deducen que el impacto generado por la emisión de CO<sub>2</sub>, en la industria azucarera, está en equilibrio con la absorción de dicho compuesto por la planta (Rubio, 2000), no obstante la evaluación realizada arroja una magnitud de impacto elevada de esta acción. En orden consecutivo le sigue la combustión del bagazo y el consumo de electricidad con ecopuntajes de 55.2 y 30.25 Kpt, ambos efectos relacionados con el daño a los recursos de la ecosfera.

Los impactos producidos por el consumo de agua fresca y la emisión de residuales líquidos no han sido cuantificados por limitaciones en la base de datos, pero los efectos de estos al ecosistema y a los recursos, no deben ser obviados.

Según (Rubio, 2000), los mayores impactos son generados por los altos consumos de agua, constituyendo este el recurso más valioso por su déficit, a la vez hace incrementar otros impactos asociados como el consumo de energía por concepto de bombeo y la generación de residuales. Los residuales líquidos en proporciones de generación son excesivos en dependencia de cada etapa en particular, al conducirlos a las lagunas de tratamientos y ser tratados emiten gases a la atmósfera, generando un impacto hacia el medio ambiente, también una ineficiencia en el tratamiento de residuales aporta

contaminantes al medio ambiente, afectando las aguas superficiales , de consumo, y a veces el manto freático.

➤ **Etapa de distribución y consumo**

En el gráfico 3.6 y 3.7 (anexo 26) se reporta el impacto producido por la transportación del producto elaborado en relación al medio de transporte, y al combustible consumido por este , resulta más significativo el transporte en sí, con un ecopuntaje de 34 mpt, por ser una acción que genera impactos sobre el ecosistema, la salud y los recursos al contribuir a la compactación del suelo, generación de gases que contribuyen al efecto invernadero, trayendo consigo daños a la salud humana.

Comparando diferentes alternativas de transportación se puede destacar la ventaja del transporte ferroviario (3.9 milipuntos) en relación con el transporte por carretera, y entre estos últimos el de menor impacto está dado por camiones de mayor tonelaje (22 mpt), comparado con los camiones de 16 t según el gráfico 3.7, anexo 26.

Los daños ambientales ocasionados por el consumo del producto están incluidos fundamentalmente en la gestión de los desechos orgánicos generamente controlados por el sistema de tratamiento de residuales sanitarios.

En la gráfica 3.8 (anexo 26) se analiza como posibles alternativas la disposición del envase en vertederos y la recirculación del mismo, es decir la reutilización, destacándose la primera por el mayor impacto (215 mpt), mientras la reutilización del envase presenta un ecopuntaje negativo, indicando que el impacto sobre el medio ambiente es positivo( favorable).

En el gráfico 3.9 se reporta el análisis del ciclo de vida del azúcar, para la etapa de cultivo, procesamiento industrial, distribución y consumo, y reciclado. Precisándose en el mismo que la etapa de mayor ecopuntaje es dada por la etapa de procesamiento industrial con 221,7 Kpt, seguido de la agricultura , distribución y finalmente el reciclaje con un ecopuntaje de -0.066 Kpt (antes mencionado) tiene un efecto positivo sobre el medio ambiente.

Estos datos registrados muestran la eficacia de la metodología desarrollada para identificar la etapa más importante del ciclo de vida del producto.

➤ **Análisis comparativo de las iteraciones para diferentes capacidades de molienda.**

Se realizó un análisis en cada una de las iteraciones utilizando diferentes capacidades de molienda (100%, 90% y 80 %); para cada iteración teniendo en cuenta las diferentes etapas: agrícola, industrial y distribución, se calculó el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto azúcar, auxiliándose de las tablas reportadas en los anexos 26, 27 y 28. En la comparación entre los diversos gráficos el primer escenario arrojó resultados de impactos más relevantes, dado por el consumo de agroquímicos como: fertilizantes y herbicidas en grandes proporciones; el uso de combustible en la preparación de tierras y labores culturales fueron los mayores impactos.

En la etapa industrial el primer escenario generó mayor impacto, dado por la emisión de gases de combustión (según los anexos 26, 27 y 28), seguido por la generación de energía a partir del bagazo y el consumo eléctrico. En la etapa de distribución, el primer escenario genera mayor impacto, debido a que al existir mayor producción los milipuntos generados por el destino del envase (en vertederos) se hacen mayores; una alternativa de mitigar el impacto es reciclando el envase.

El análisis comparativo para los diferentes escenarios permite cuantificar la complejidad del impacto cuando existe variabilidad en los parámetros tanto de la agricultura, industria, como en la distribución.

### 3.2 Explicación del Análisis del ciclo de vida de la producción de azúcar en términos exergéticos.

El análisis de ciclo de vida es una de las herramientas en la valoración de la sostenibilidad de la tecnología, teniendo en cuenta todos los efectos en el ecosistema y la población se realizó una aproximación para el ciclo de vida del producto azúcar en términos exergéticos, vinculado al CAI “Ciudad Caracas”, para ello, basado en la metodología propuesta por (Dewulf J, 2000) se planteó un balance exergético de forma cualitativa aplicado a la industria azucarera.

La aproximación propuesta para el ciclo de vida completo del azúcar en términos de exergía es la representada en la figura ilustrada 3.1. En la misma se observan todos los cambios exergéticos existentes en la ecosfera, la tecnosfera y la sociedad, a través de la generación, consumo y disposición del producto azúcar. Cuatro tipos de corrientes de cambio exergéticas son representadas: exergía solar, recursos, productos y residuos.

La exergía solar (**R<sub>sun</sub>**), es primeramente un flujo principal en la ecosfera, en su proceso de conversión genera productos (**R<sub>prod</sub>**), emitiendo los recursos exergéticos formados a la ecosfera; en el ciclo de vida del azúcar, la corriente de exergía solar para la sociedad puede ser omitida en este esquema; como la tecnosfera consume exergía solar durante la fabricación de un producto, por ejemplo en la agricultura, la exergía solar puede ser vista como un recurso separado del ecosistema natural.

El segundo tipo de cambio de exergía que envuelve los recursos, representado en el esquema, está dado por el de la tecnosfera desde la ecosfera, la tecnosfera está conformada por la etapa agrícola y la etapa industrial, incluyendo a la etapa de producción reactivos y de agroquímicos, la misma consume los recursos exergéticos (**R<sub>cons</sub>**) de la ecosfera, el tercer caso está dado por el consumo del producto de la tecnosfera por la sociedad (**P<sub>cons</sub>**), y finalmente , los residuos son generados durante la producción y consumo de los productos (**ETecind, EtecA, EDsoc, Eheco**), emitidos por la tecnosfera y la sociedad respectivamente.

Ambos, la ecosfera y la sociedad son expuestos a este residuo. Todos estos procesos, ocurriendo en la ecosfera, la sociedad y la tecnosfera, generan calor de radiación a temperatura ambiente con un contenido cero de exergía. Este calor de irradiación es relacionado para la irreversibilidad de los procesos, siendo introducido en los balances exergéticos.

La nomenclatura utilizada en el esquema exergético durante el ciclo de vida del producto azúcar es la siguiente:

**Rsun:** Exergía Solar

**Rprod:** Recursos producidos en el proceso de

**RconA:** Recursos consumidos por la agricultura

**RconI:** Recursos consumidos por la industria

**Rprod:** Recursos producidos por la industria

**Pcon:** Productos consumidos por la sociedad

**Eteca:** Emisiones emitidas por la agricultura como parte de la tecnosfera

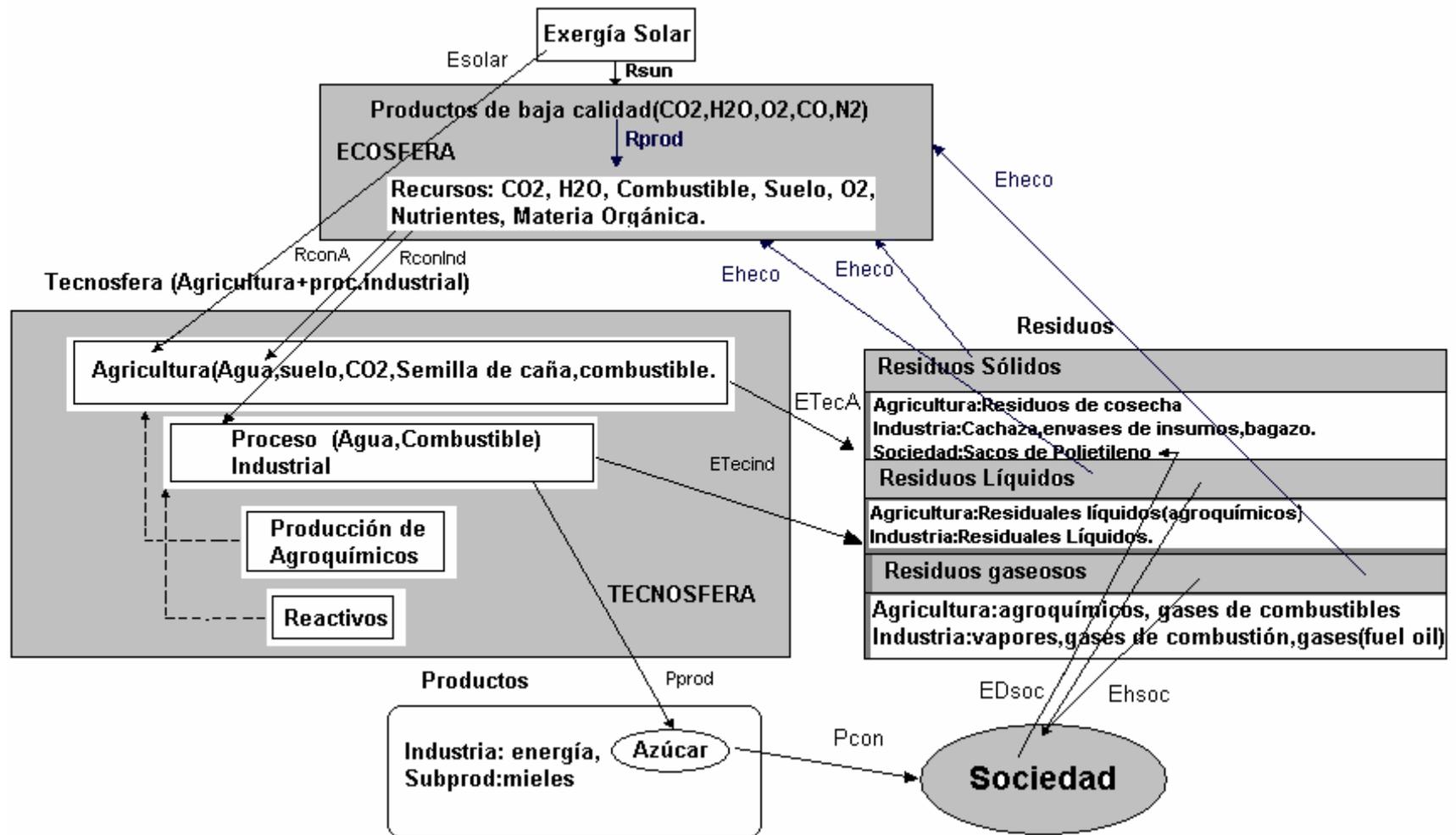
**Etecind:** Emisiones emitidas por la industria como parte de la tecnosfera

**Eheco:** Emisiones hacia la exosfera (sólidas, líquidas y gaseosas)

**Edsoc:** Emisiones de la sociedad

**Ehsoc:** Emisiones hacia la sociedad

Figura 3.1 Ciclo de Vida en términos de Exergía del Azúcar Crudo



### 3.2.1 Balances planteados en términos de exergía para el ciclo de vida del azúcar crudo.

A continuación se procede al balance exergético de forma cualitativa en el ciclo de vida del azúcar, para la ecosfera, sociedad y la tecnosfera. El balance de los mismos se hizo a partir de la figura 3.1 y apoyados en la nomenclatura utilizada, reflejada en el anexo 25.

#### ➤ Balance total exergético en la Ecosfera

$$\frac{dExeco}{dt} = (R_{sun} - I_1) - R_{cons} + (E_{heco} - I_2) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

a) Recursos consumidos por la tecnosfera (Rconst)

$R_{const} = \sum$  recursos consumidos por la tecnosfera ( Etapa agrícola+Industrial ).

$R_{consA} = R_{agua} + R_{suelo} + R_{CO_2} + R_{semilla\ caña} + R_{combustible}$

$R_{consInd} = R_{agua} + R_{combustible}$

$$R_{const} = R_{consA} + R_{consI} \quad \text{Ecuac. 3.1.1}$$

b) Emisiones (E) de residuos hacia el ecosistema (Eheco).

$$E_{heco} = \sum \text{Emisiones (gaseosas+líquidas+sólidas)}. \quad \text{Ecuac. 3.1.2}$$

$$E_{hecosólidos} = E_{Tecinds} + E_{Dsocs} + E_{TecAs}$$

$E_{Tecinds} = E_{cachaza} + E_{envases}$

$E_{Dsocs} = E_{sacos\ de\ polietileno}$

$E_{TecAs} = E_{residuales\ de\ cosecha}$

$$E_{hecolíquidos} = E_{TecindL} + E_{Tecagqcos}$$

$E_{TecindL} = E_{residuales}$

$E_{Tecagqcos} = E_{herbicidas} + E_{fertilizantes}$

$$E_{hecogaseosos} = E_{TecA} + E_{TecInd}$$

$E_{TecAg} = E_{agroqcos} + E_{combustible\ en\ lab.\ agrícola}$

$ETecindg = Evap + E_{gases \text{ de combustión}} + E_{combustible \text{ para Transp. (Diesel)}}$

c)  $R_{sun}$  --- recursos de la exergía solar

d)  $I_1, I_2$  --- Pérdidas de exergía ó irreversibilidad de compuestos orgánicos y/o inorgánicos presentes.

e)  $R_{prod} = R_{sun} - I_1$

**Ecuac: 3.1.3**

$$R_{prod} = \sum (R_{CO_2} + R_{H_2O} + R_{O_2} + R_{CO})$$

➤ **Balance total exergético en la Tecnosfera**

---


$$\frac{dETec}{dt} = R_{cons} - P_{prod} - ETec - I_3 + R_{agroquímicos} + R_{reactivos} \quad \text{Ecuac:3.2}$$


---

f)  $R_{con} = R_{const} =$  realizados en el balance exergético de la Exosfera (realizados en a))

g)  $P_{prod} = P_{prodInd}$

**Ecuac 3.2.1**

h)  $ETec = ETecA + ETecInd$

**Ecuac 3.2.2**

$ETecA = ETecAg$  (balances realizados en b))

$ETecInd = ETecindg + ETecinds + ETecindL$  (balances realizados en b))

I)  $I_3$  ---- Pérdidas de exergía ó irreversibilidad de compuestos orgánicos y/o inorgánicos presentes.

J)  $R_{agroquímicos} = R(\sum \text{Fertilizantes}) + R(\sum \text{Herbicidas})$

(Referidos en el Capítulo II)

**Ecuac:3.2.3**

K)  $R_{reactivos} = R_{CaOH} + R_{HCL} + R_{Zeolita}$

**Ecuac:3.2.4**

➤ **Cambio de exergía total en la sociedad ( Exsoc )**

$$\frac{dExsoc}{dt} = P_{con} - ED_{soc} - I_4 + (E_{hsoc} - I_5) \quad \text{Ecuac: 3.3}$$


---

L) **Pcons= Pazúcar**

**Ecuac: 3.3.1**

M) **EDsoc= Esocs**

**Ecuac: 3.3.2**

Esocs= Envasado de polietileno

N) **I<sub>4</sub> ----** Pérdida de exergía de compuestos orgánicos y/o inorgánicos debido al efecto de las emisiones

O) **Ehsoc= EhsocL+Ehsocg**

**Ecuac: 3.2.3**

EhsocL= EhsocLind

EhsocLind = ETecindL( realizados en b))

Ehsocg = Ehsocgind +EhsocgA

Ehsocgind= ETecindg(realizados en b))

EhsocgA = ETecAg (realizados en b))

P) **I<sub>5</sub> ---** Pérdida de exergía de compuestos orgánicos y/o inorgánicos debido al efecto de las emisiones sobre la sociedad.

Combinando las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3 y desde  $ETec + EDsoc = Eheco + Ehsoc$ , El cambio de exergía global (  $Ex_{global}, J$  ) en función del tiempo a través del análisis de ciclo de vida de un producto puede ser calculado como:

$$\frac{dEx_{global}}{dt} = R_{sun} - I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - i_5 \quad \text{\underline{\underline{Ecuación 3.4}}}$$

Asumiendo que no hay acumulación de productos, entonces  $P=P_{prod}=P_{cons}$ .

Si el ciclo de vida no afecta el equilibrio termodinámico global, entonces:

**$R_{sun} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$**  ; suponiendo que toda la exergía solar es liberada como calor a baja temperatura.

Sin embargo el contenido exergético global puede cambiar a través de fluctuaciones en el contenido de exergía de la Tecnosfera, sociedad y la exosfera.

El cambio en la exergía es estudiada, teniendo en cuenta los recursos renovables; el consumo de recursos puede ser visto desde la perspectiva renovable (Dewulf, 2000):

$$\alpha = \frac{R_{prod}}{R_{cons}} \quad \text{Ecuac: 3.5}$$

donde:  $R_{prod} = \sum ( R_{CO_2} + R_{H_2O} + R_{O_2} + R_{CO} )$  y

$$R_{cons} = R_{consT} = R_{conA} + R_{consInd}$$

$$R_{conA} = R_{agua} + R_{suelo} + R_{CO_2} + R_{semilla\ caña} + R_{combustible\ agríc.}$$

$$R_{consInd} = R_{agua} + R_{combustible}$$

Por tanto:

$$\alpha = \frac{\sum R(CO_2 + RH_2O + RO_2 + RCO)}{R(Agua + suelo + CO_2 + semillacaña + Combustible)_{agricultura} + R(Agua + combustible)_{industria}}$$

Si la tecnosfera consume recursos en proporciones iguales a la proporción de la producción, entonces la cantidad disponible de recursos para las proximas generaciones permanece constante, si  $\alpha$  tiende a cero, entonces la tecnosfera toma los recursos en proporciones no sustentables: la proporción de consumo tiende a ser más alta que la proporción de la producción.

➤ **Conclusiones Parciales**

1. Se determinó el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto azúcar, basado en la metodología Ecoindicador 99, lográndose detectar los principales problemas ambientales.
2. El mayor impacto está dado por la elaboración industrial del producto.
3. El mayor impacto generado se alcanza en los gases de combustión (emisión de CO<sub>2</sub>).
4. El empleo de agroquímicos refleja un elevado peso en el puntaje a alcanzar y, por tanto, el impacto ambiental.
5. El uso de transporte ferroviario en la etapa de distribución y consumo, disminuye el puntaje obtenido, al ser menor el efecto sobre el entorno.
6. La aplicación de un método u otro para el tratamiento del envase, hace que el impacto sea positivo (reutilización) ó negativo (disposición en vertedero).
7. La comparación entre diferentes escenarios de iteración permitió evaluar el escenario y la etapa de generación de mayor impacto.
8. Es factible obtener los balances exergéticos en el sistema, lo que permite determinar el cambio de calidad de la energía que se distribuye en todo el ciclo de vida del producto.

## Conclusiones

1. La aplicación de la metodología basada en el Ecoindicador 99 a lo largo del Ciclo de Vida del azúcar permitió calcular el impacto ambiental generado en cada una de las fases del producto y establecer comparaciones a partir de los resultados obtenidos.
2. En los valores de impacto reflejados en el CAI "Ciudad Caracas", por medio del Ecoindicador 99 se obtiene que la etapa de mayor impacto está por el procesamiento industrial.
3. Los principales impactos por etapas están dados por la aplicación de Agroquímicos (fertilizantes nitrogenados, herbicidas) y el uso de combustible (Diesel) en las labores de preparación de tierras y culturales, en la fase de cultivo; la emisión de gases de combustión, durante el procesamiento industrial y la utilización de carros de menor tonelaje en la etapa de distribución por carreteras.
4. El balance exergético aplicado a los diferentes sistemas (Ecosfera, Sociedad y Tecnosfera) de forma cualitativa, permite el análisis del cambio de calidad de la exergía que se distribuye a lo largo del ciclo de vida del producto y la irreversibilidad del proceso.

## Recomendaciones

1. Evaluar el balance exergético planteado en el trabajo, para las condiciones del CAI “Ciudad Caracas” y extendiendo los resultados para su aplicación en otras instalaciones.
2. Combinar los resultados del balance exergético con la evaluación del Ecoindicador 99.

## Glosario

**Aspecto Ambiental:** Elementos de las actividades, productos o servicios de una organización, que puede interactuar con el ambiente. Representa cualquier tipo de materia, energía u otros recursos, que fluye desde el medio ambiente hacia el proceso industrial y viceversa, y que puede generar impacto ambiental.

**Auditoria ambiental:** Es una herramienta de gestión que consiste en una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la efectividad de la organización, la gerencia y los equipos ambientales, para proteger el medio ambiente mediante un mejor control de las prácticas ambientales, y la evaluación del cumplimiento de las políticas ambientales de la empresa, incluyendo los requerimientos legales.

**Calentamiento global:** Aumento de la temperatura media del planeta a consecuencia del efecto invernadero ocasionado por el aumento de la concentración de gases poliatómicos, como el CO<sub>2</sub>, el metano, el vapor de agua, el óxido nitroso, etc. Estos gases absorben parte de la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre, de modo que el balance energético entre la radiación recibida del sol y la emitida por la Tierra queda desequilibrado, con efectos sobre el clima y probablemente un aumento de la temperatura.

**Contaminación:** La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

**Ecología:** Es el estudio de las relaciones entre los organismos y su ambiente. El término proviene del griego: oikos (casas) y logos (estudio), y fue propuesto por el biólogo alemán Ernst Haeckel en el siglo XIX. Fue considerada durante mucho tiempo como una subdivisión de la biología; sin embargo, su acelerado desarrollo en las últimas décadas, ha llevado a su consolidación como una disciplina integradora que relaciona procesos físicos y biológicos, y que tiende un puente natural entre las ciencias naturales y las ciencias sociales.

**Eutrofización:** Concentración excesiva de nutrientes en el medio acuático que favorece el rápido crecimiento de las algas. Estas forman una barrera que impide que la luz llegue a

los organismos que viven en zonas más profundas, y su alta actividad metabólica agota los nutrientes del medio. La descomposición de los tejidos vegetales de las algas muertas, provoca la rápida disminución del oxígeno disponible, favoreciendo el desarrollo de procesos anóxicos que generan compuestos tóxicos para muchos microorganismos.

**Evaluación de impacto ambiental:** Procedimiento que tiene por objetivo identificar, predecir e interpretar, los impactos ambientales que se producirían debido a la ejecución de un proyecto o actividad.

**Gestión de residuos:** Conjunto de operaciones entre las que se incluyen la recogida, el transporte, el almacenamiento, la valorización, la disposición del rechazo y la comercialización de las materias de los residuos, además de la vigilancia de estas operaciones y de los lugares de descarga después de su clausura.

**Impacto ambiental:** La alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada.

**Materia orgánica:** A efectos de la gestión de residuos, son las fracciones residuales vegetales y animales susceptibles de ser rápidamente degradadas mediante procesos químico – biológicos.

**Medio ambiente:** Es el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural, que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.

**Reciclaje:** Opción de valorización que implica la transformación de los residuos para su fin inicial o para otros fines , dentro de un proceso de producción , incluyendo el compostaje y la biometanización ( obtención de biogas mediante procesos de fermentación de materia orgánica ), pero no la recuperación de energía .

**Residuo:** Cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención de hacerlo.

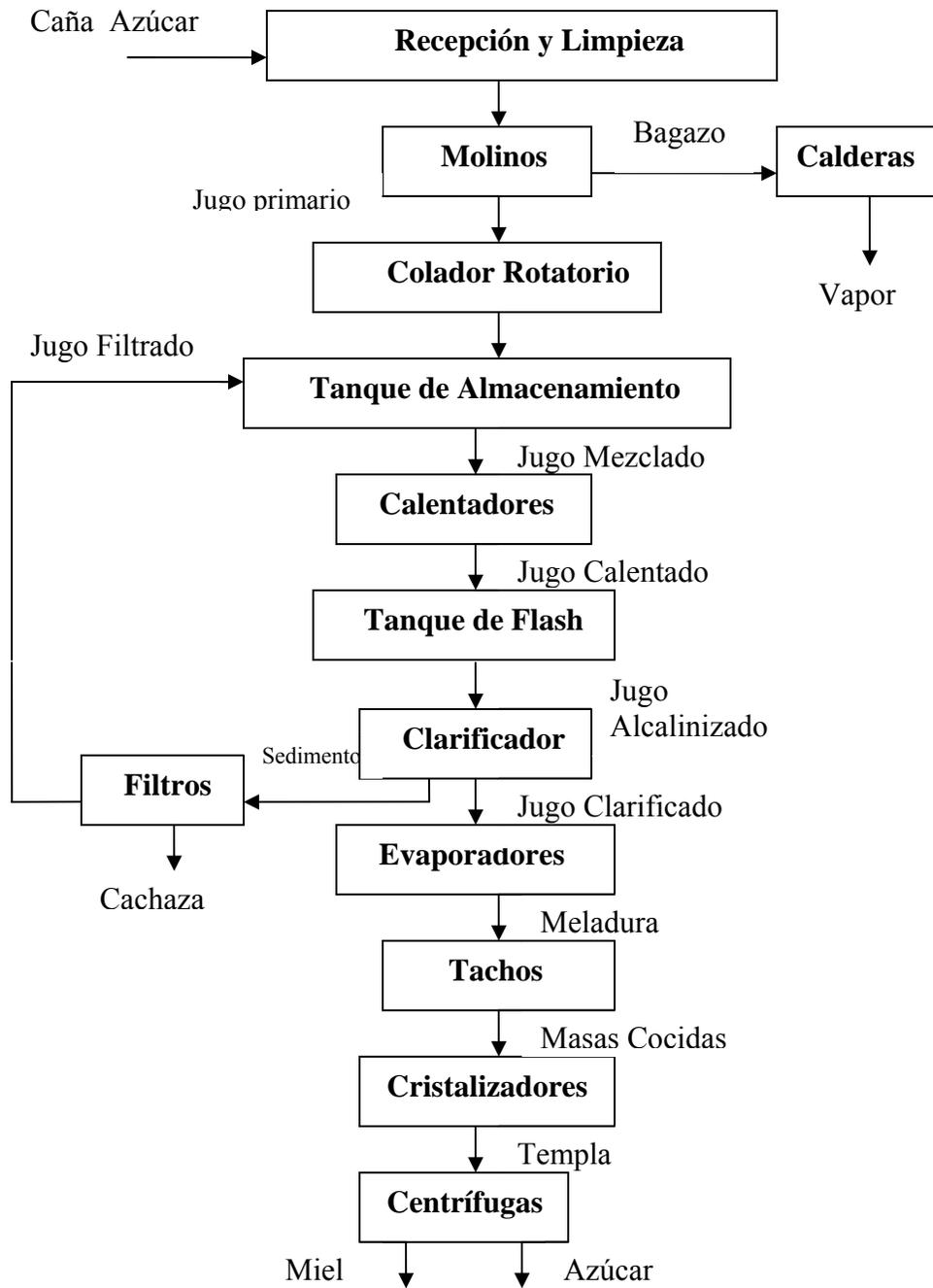
**Subproductos:** Son los residuos que pueden utilizarse directamente como materias primas de otros procesos o como sustitutos de productos comerciales, sin necesidad de operación de tratamiento.

**Toxicidad humana:** Problemas de salud humana provocados por agentes químicos (sustancias) o físicos (radiaciones) presentes en el aire, el agua o el suelo. Los efectos tóxicos son muy variados y pueden presentarse a corto plazo (Toxicidad aguda) o a largo plazo (como los productos cancerígenos, que propicien la formación de tumores).

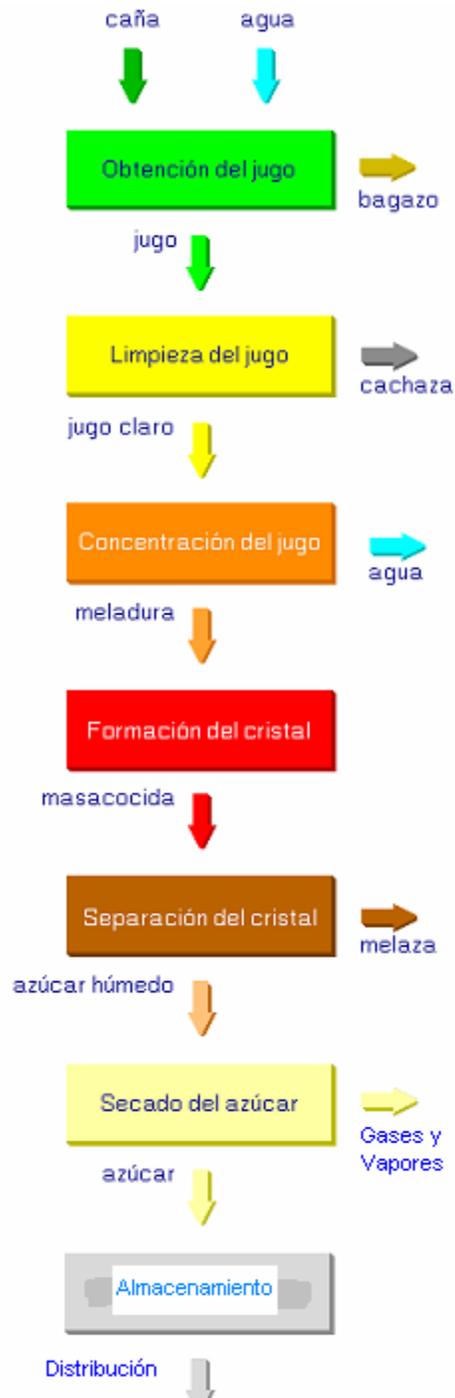
**Vertedero de residuos:** Instalación de disposición de residuos en la que son depositados en superficie o bajo tierra; siendo en algunos casos nombrados como rellenos sanitarios.

# Anexo I

## Producción Azúcar Crudo



## Anexo 1.1



## Anexo 2

### Índices de calidad del Azúcar Crudo

#### Tabla - I

Requisitos del azúcar crudo.	
Requisitos	Límite
Polarización, °S, a 20 °C, mínimo	96,0
Humedad, % m/m, máximo	1,0
Factor de seguridad, máximo	0,30

#### Tabla II

Contenido de metales pesados permitido en el azúcar Crudo.	
Metal	Límite
Arsénico, expresado como As, mg/kg, máximo	1,0
Cobre, expresado como Cu, mg/kg, máximo	2,0
Plomo, expresado como Pb, mg/kg, máximo	2,0

#### Tabla III

Requisitos microbiológicos del azúcar crudo para consumo directo.	
Microorganismo	Límite
Coliformes totales, NMP/g	< 3
Coliformes, FPM, UFC/g	< 80
Bacterias mesófilas aerobias, UFC/g	< 5.000
Bacterias mesófilas aerobias, FPM, UFC/g	< 5.000
Mohos y levaduras, UFC/g	< 2.000
Mohos y levaduras, FPM, UFC/g	< 2.000

**UFC** Unidades Formadoras de Colonias.

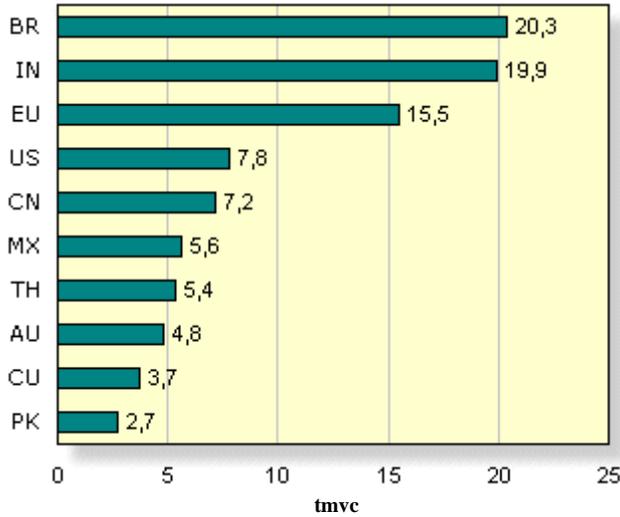
**NMP** Número Más Probable.

**FPM** Filtración Por Membrana.

La filtración por membrana se considera método alterno.

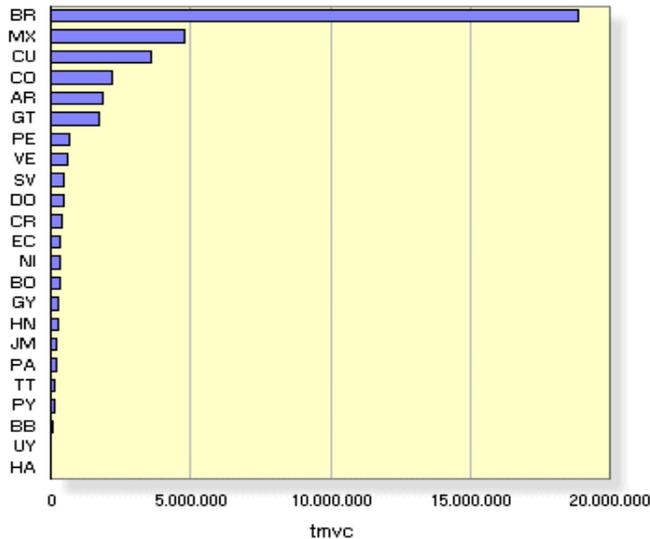
### Anexo 3

## Producción de azúcar crudo a escala mundial



Brasil BR	20.336.100
India IN	19.906.213
Union Europea EU	15.500.157
Estados Unidos US	7.774.000
China CN	7.160.707
México MX	5.613.529
Tailandia TH	5.370.310
Australia AU	4.768.350
Cuba CU	3.747.794
Pakistán PK	2.719.584

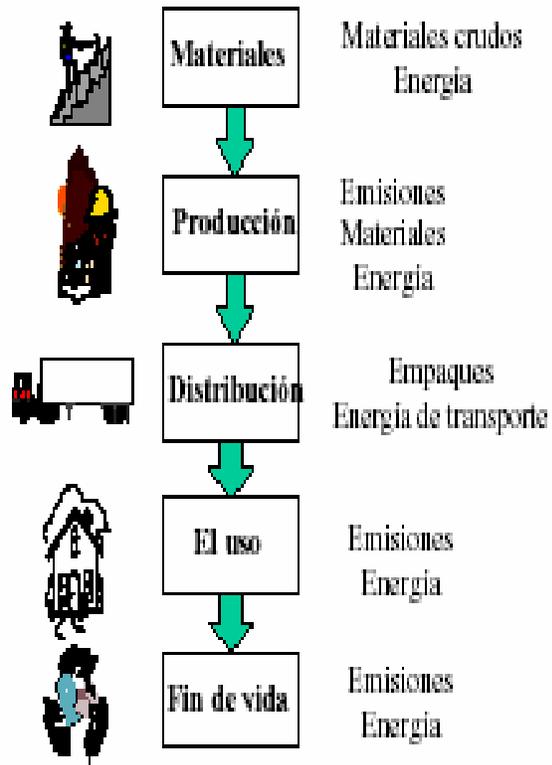
Los diez mayores productores mundiales de azúcar Crudo a escala mundial. (2000-2001)



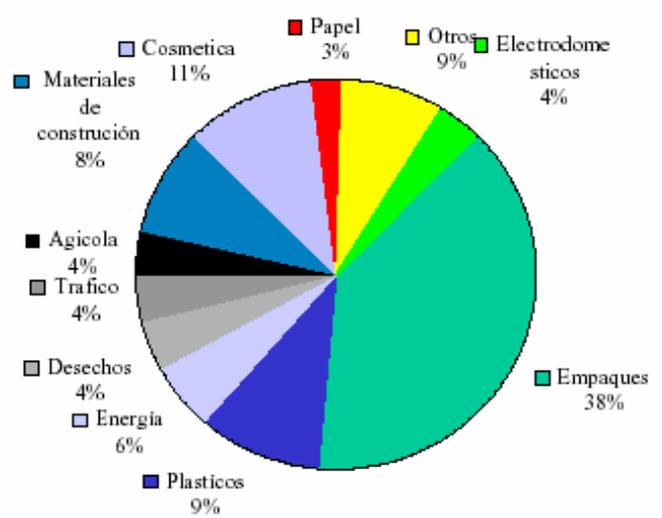
Brasil	18.900.000
México	4.800.000
Cuba	3.600.000
Colombia	2.200.000
Argentina	1.850.000
Guatemala	1.700.000
Perú	680.000
Venezuela	600.000
El Salvador	495.000
Rep. Dominicana	465.000
Costa Rica	375.000
Ecuador	340.000
Nicaragua	335.000
Bolivia	305.000
Guyana	254.000

Producción de azúcar Crudo en Latinoamérica y el Caribe (Año 1998- 1999)

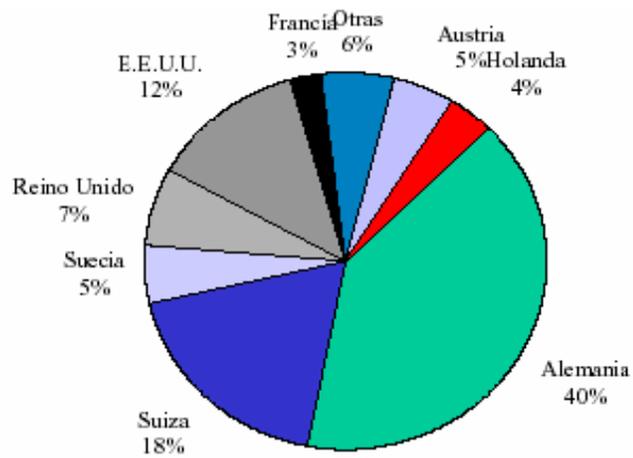
## Anexo 4



## Anexo – 5

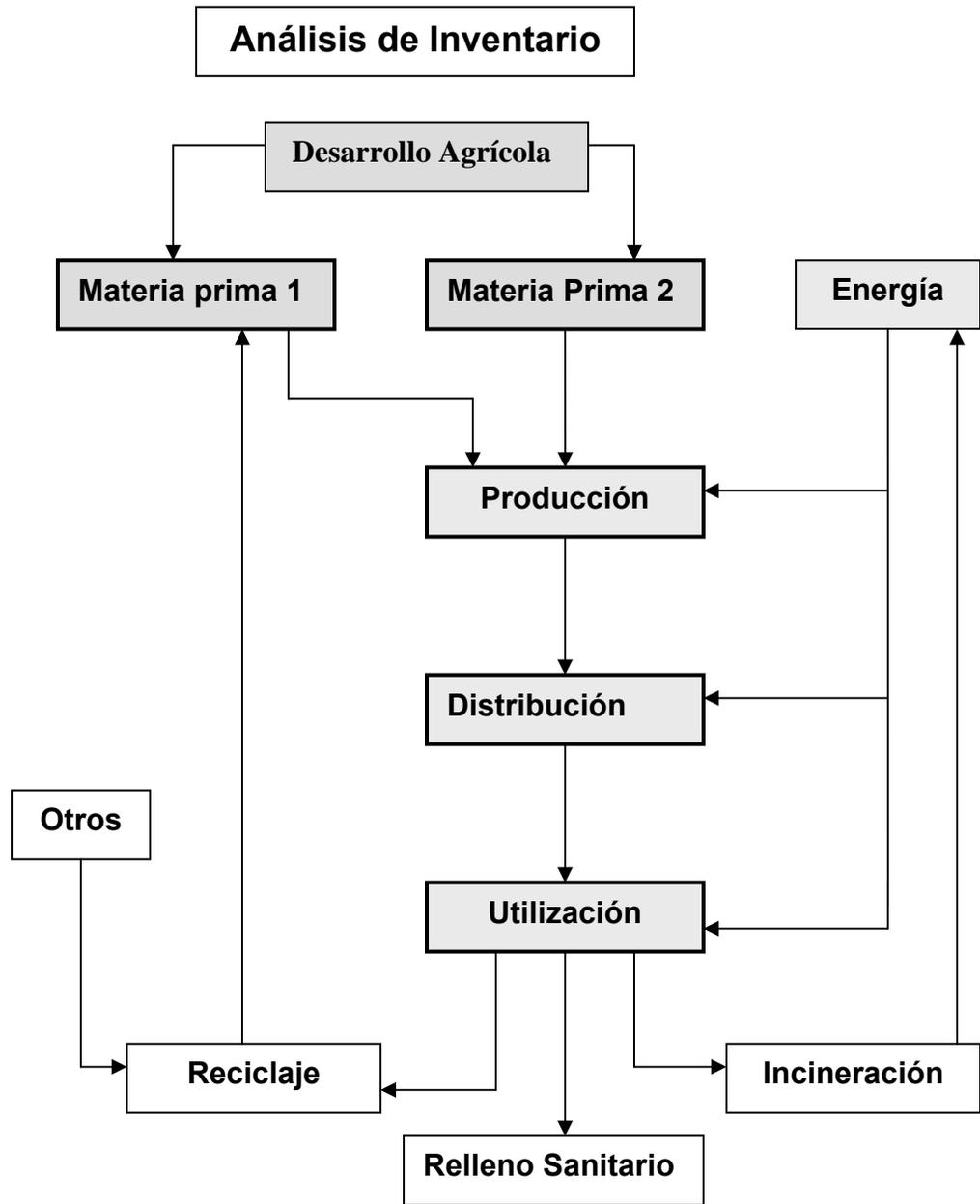


**Productos analizados en estudios de ACV**

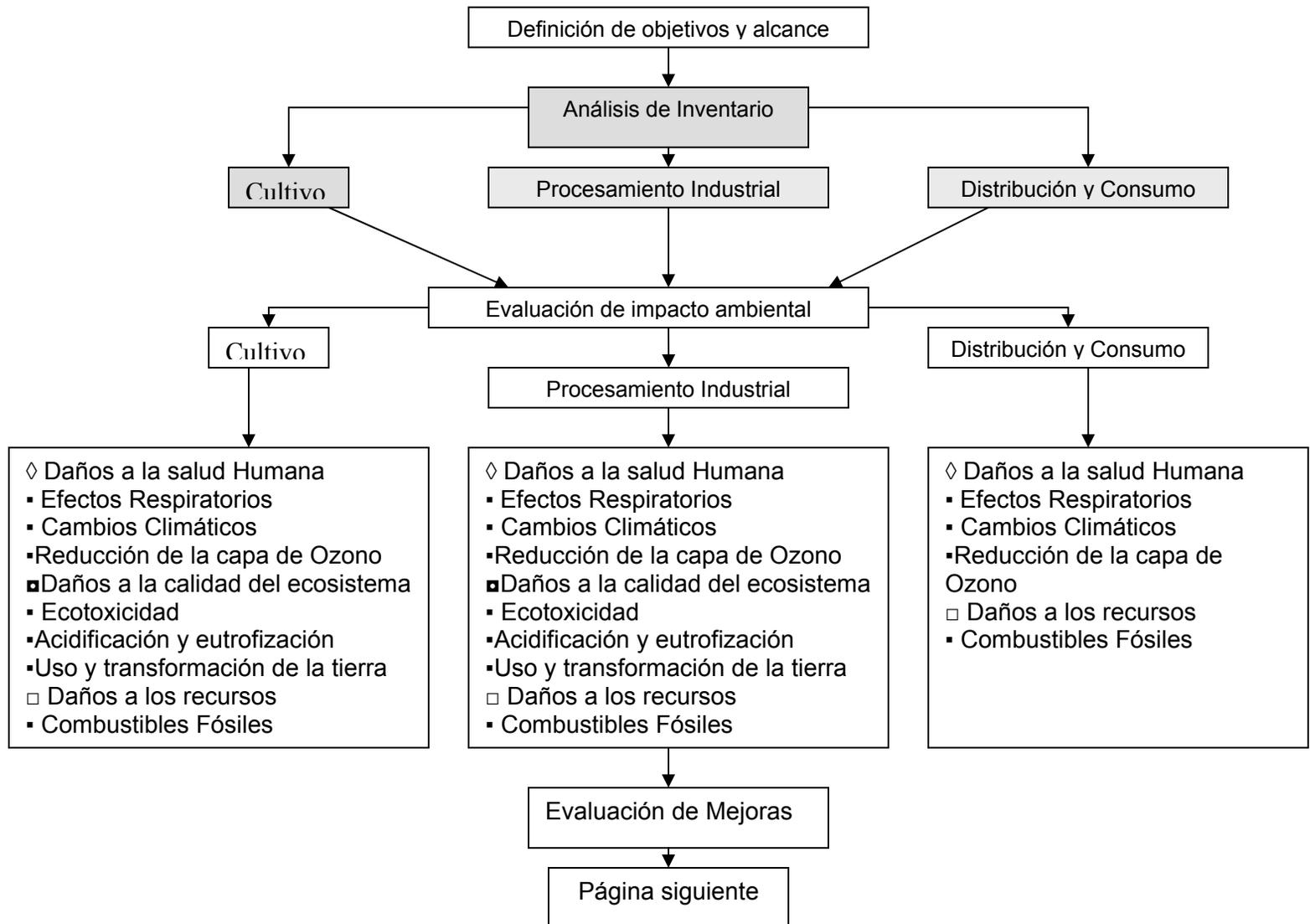


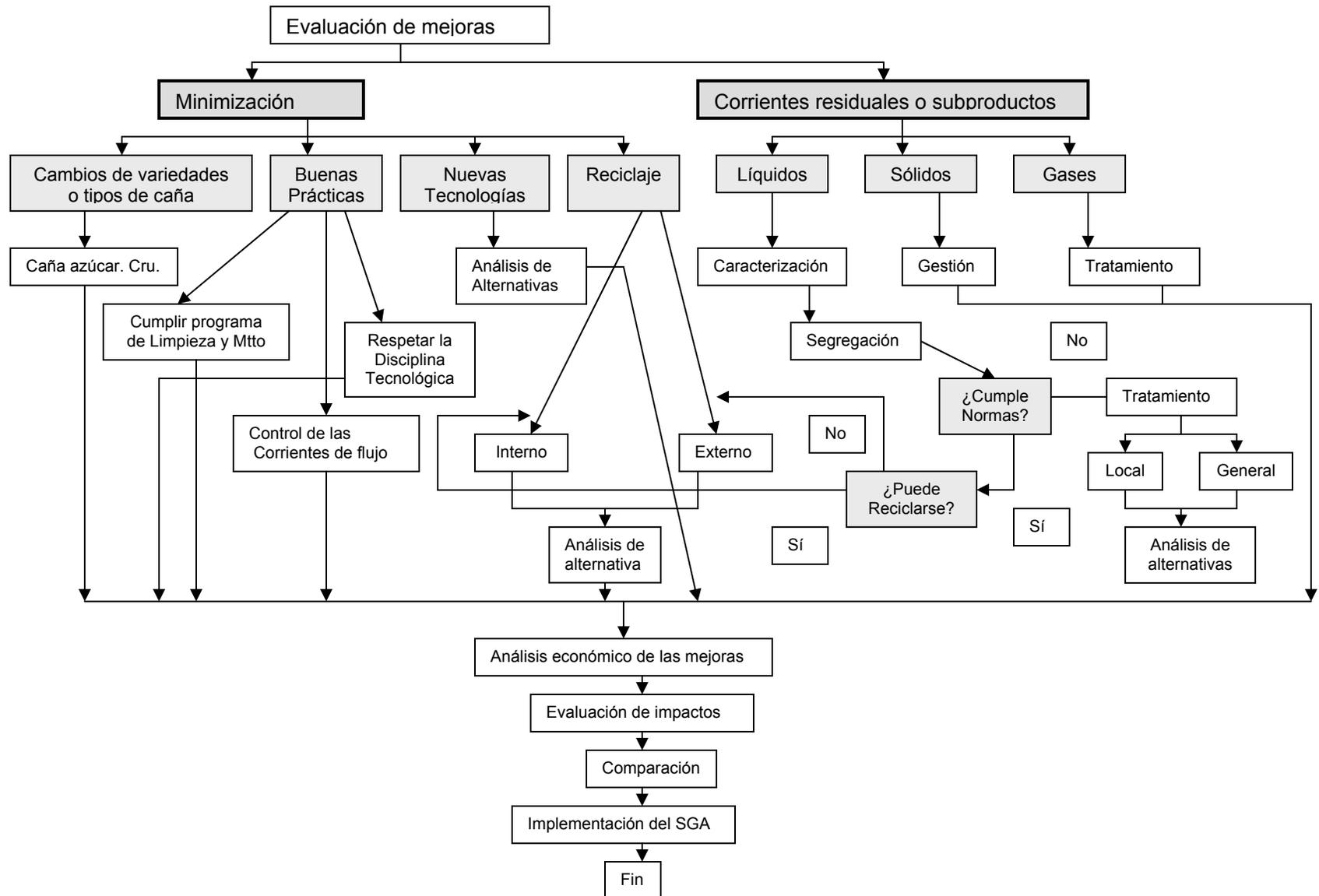
**Contribución individual de cada país al número de estudios de ACV**

Anexo – 6



**Diagrama heurístico para la aplicación de la metodología del análisis de Ciclo de Vida en la producción de azúcar crudo**





Anexo – 8

**Distribución de herbicidas(en Kg) .Cifras aprobadas el 21 / 1/2004**

Productos	Consumo por UBPC						
	La Lima	San Alejo	Yumurí	Santa Susana	Ajuria	Manacas	Total
Diurón 80	340	320	400	220	220	400	1900
Gesapox 80	400	400	475	250	275	500	2300
MSMA 72	680	600	760	460	440	500	3440
Sal de Amina72	200	200	200	200	200	200	1200
Esterisocílico48	1000	1000	1200	600	1000	800	5600
Asulox 40	2300	2000	2600	1600	1700	1800	12000
Glyphosate	800	800	1000	560	600	900	4660
Finale - 15	600	550	650	400	400	440	3000
Gramoxone-20	40	40	20	20	20	20	160
Doblete -20	60	60	80	40	40	60	340
Amigan -65	160	160	200	140	140	200	800
Merlin -75	9	14	10	6	7	10	56
Sulfatante -90	180	180	220	120	130	230	1060
Agrotin	75	70	80	50	50	60	385
Total por UBPC	6844	6394	7895	4606	5222	6120	
Total de Herbicida(Kg, t)							<b>(37081Kg)</b> <b>(37.081 t)</b>

Anexo – 9

**Distribución de Fertilizantes(en Kg) .Cifras aprobadas el 21 / 1/2004**

Tipos de fertilizantes		Consumo por UBPC					
		La Lima	San Alejo	Yumurí	Santa Susana	Ajuria	Manacas
N <sub>2</sub>	Urea	137960	121120	161660	113180	90380	92520
	NH <sub>3</sub>	65531	57532	76788.5	53760.5	42930.5	43947
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		37939	33308	44456,5	31124.5	24854.5	25443
K <sub>2</sub> O		124164	109008	145494	101862	81342	83268
<b>Total</b>		<b>365594</b>	<b>320968</b>	<b>428399</b>	<b>299927</b>	<b>239507</b>	<b>245178</b>
<b>Total de fertilizantes</b>							<b>1899573 Kg</b> <b>1899.6 ton</b>

Anexo – 10

**Producción de caña (@) por cada UBPC. Cifras aprobadas en el año 2004**

Unidades	Area para molienda	
	Caballerías	Producción(@)
La Lima	68.98	24384
San Alejo	60.56	28919
Yumurí	80.83	39015
Santa Susana	56.59	17615
Ajuria	45.19	19660
Manacas	46.26	31480
<b>Total</b>	<b>358.41</b>	<b>161073</b>

Anexo – 11

**Consumo de Combustible( en Litros) por cooperativa .Año 2004**

Mes	Consumo por UBPC						Total
	La Lima	Alejo	Yumurí	Santa Susana	Ajuria	Manacas	
<b>Enero</b>	17190	15572	14359	9416	16797	11126	
<b>Febrero</b>	26135	33735	27488	27197	32824	25006	
<b>Marzo</b>	44127	43373	45238	31995	55376	14761	
<b>Abril</b>	29036	22010	73891	44479	15804	22967	
<b>Mayo</b>	14452	16259	19776	21465	15984	15082	
<b>Junio</b>	10227	9006	10440	11148	10476	10004	
<b>Julio</b>	9553	5880	7550	5873	5405	7025	
<b>Agosto</b>	8553	3646	6159	5926	4109	4307	
<b>Septiembre</b>	16599	10175	13791	8515	9886	13509	
<b>Octubre</b>	5790	9932	6372	3869	4413	3405	
<b>Noviembre</b>	3095	4156	6644	2876	2709	2059	
<b>Diciembre</b>	2010	1383	1767	1415	1444	1520	
<b>Total</b>	196767	175127	233475	174174	176027	137371	<b>1092941 L</b>

## Anexo 12

Indices para cuantificar determinados materiales, energía y corrientes en el ciclo de azúcar.

Material	Índice	Fuente
Hidróxido de sodio	45 g/ tca	[ CAI"Ciudad Caracas",2003 ]
Ácido clorhídrico	45 g/ tca	[ CAI"Ciudad Caracas",2003 ]
Zeolita	300 mg/ Ljm	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Residuales líquidos	0.49m <sup>3</sup> / tca	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Gases de combustión (CO <sub>2</sub> )	0.89 Kg/ Kg B	[Pérez,2004]
Cenizas ( bagazo)	2-4 % peso del bagazo	[ Carrazana, 1993]
Residuales líquidos (m <sup>3</sup> / tca)	0.49	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Consumo de electricidad en la industria ( Kw-h/tca)	69.66	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Fertilizantes ( Urea)	2 ton / Cab.	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Fertilizantes(NH <sub>3</sub> )	0.9-1.0 ton / Cab.	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Fertilizantes(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(0.5-0.6) ton/ Cab	[CAI"Ciudad Caracas",2003]
Fertilizantes(K <sub>2</sub> O)	1.8 ton / Cab.	[CAI"Ciudad Caracas",2003]

## Anexo 13

### Datos para la determinación de los balances de materiales y energía.

Simb.	Literatura	Valor	Unidad	Fuente (Valor)
CA	-----	2300	ton	[CAI" Ciudad Caracas",2004]
% Al	26-30	26	%	[CAI"C.Caracas",2004]
% JF	13-20	16	%	[ Morrell, 1987]
Hb	45-50	48.39	%	[CAI"C.Caracas",2004]
Fc	12-16	18	%	[CAI"C.Caracas",2004]
Fb	46-50	48	%	[ Morrell, 1987]
CaO	400-600	500	g(CaO) /tca	[CAI"C.Caracas",2004]
CaO	37	37	g(CaO)/L(Le)	[ Morrell, 1987]
$\rho$ (Le)	( 4-5 ) ° Be	1.030	Kg / L	[ Morrell, 1987]
% C	3	3	%	[ Morrell, 1987]
T (JM)	---	40	°C	[CAI"C.Caracas",2004]
T (JC)	102-106	104	° C	[CAI"C.Caracas",2004]
Bx(JM)	12-15	12	%	[CAI"C.Caracas",2004]
Bx(JCL)	15-20	12.20	%	[CAI"C.Caracas",2004]
Bx(M)	55-65	63	%	[CAI"C.Caracas",2004]
N	---	4	---	[CAI"C.Caracas",2004]
Tv	---	112	° C	[CAI"C.Caracas",2004]
Pv	--	22	Lb/ in <sup>2</sup>	[CAI"C.Caracas",2004]
$\lambda_v$	2224.7	2224.7	KJ / Kg	[ Keenan, 1978 ]
$\lambda_1$	2292.77	2292.77	KJ / Kg	[ Keenan, 1978 ]
$\lambda_2$	2332.14	2332.14	KJ / Kg	[ Keenan, 1978 ]

$\lambda_3$	2358.90	2358.90	KJ / Kg	[ Keenan, 1978 ]
$\lambda_4$	2366.55	2366.55	KJ / Kg	[ Keenan, 1978 ]
TB4	55	55	°C	[ Morrell, 1987]
UD1	2000	2000	W/ m <sup>2</sup> *°C	[ Hugot, 1980]
UD2	1400	1400	W/ m <sup>2</sup> *°C	[ Hugot, 1980]
UD3	950	950	W/ m <sup>2</sup> *°C	[ Hugot, 1980]
UD4	450	450	W/ m <sup>2</sup> *°C	[ Hugot, 1980]
X	1.02-1.04	1.04	Adimens.	[ Espinosa , 1990 ]
FpA	1.0	1.10	Adimens.	[ Espinosa , 1990 ]
FpB	1.14	1.14	Adimens.	[ Espinosa , 1990 ]
FpC	1.20	1.20	Adimens.	[ Espinosa , 1990 ]
FpD	1.25	1.25	Adimens.	[ Espinosa , 1990 ]
tcA	2 <sup>1/2</sup> - 4	2.6	h	[CAI" C.Caracas"
tcB	2-6	3.10	h	[CAI" C.Caracas"
tcC	6-8	6.20	h	[CAI" C.Caracas"
Tg	---	280	°C	[CAI" C.Caracas",2004]
Ta	--	95	°C	[CAI" C.Caracas",2004]
A	0.988	0.988	Adimens	[Espinosa,1990]
B	0.92-0.95	0.94	Adimens	[Espinosa,1990]
C	0.80-0.97	0.89	Adimens	[Espinosa,1990]
Bx(MCA)	---	91.25	W/W	[CAI" C.Caracas",2004]
Bx(MCB)		92.766	W/W	[CAI" C.Caracas",2004]
Bx(MCC)		96.155	W/W	[CAI" C.Caracas",2004]

P ( M )	---	51.56	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
P(MF)	---	33.44	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
P(AC)	---	98.25	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
Bx(MA)	---	63.13	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
Bx(MB)	---	72.00	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
Bx(MF)	---	88.00	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
Bx(Ac)	---	99.625	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]
Pw	---	100	Lb/ in <sup>2</sup>	[CAI”C.Caracas”,2004]
Tw	---	163	°C	[CAI”C.Caracas”,2004]
hv	---	2763.5	KJ/ Kg	[Keenan, 1978 ]
ha	---	397.96	KJ /Kg	[Keenan, 1978 ]
% AE	0.20-0.60	0.45	W/W	[CAI”C.Caracas”,2004]

## Anexo 14

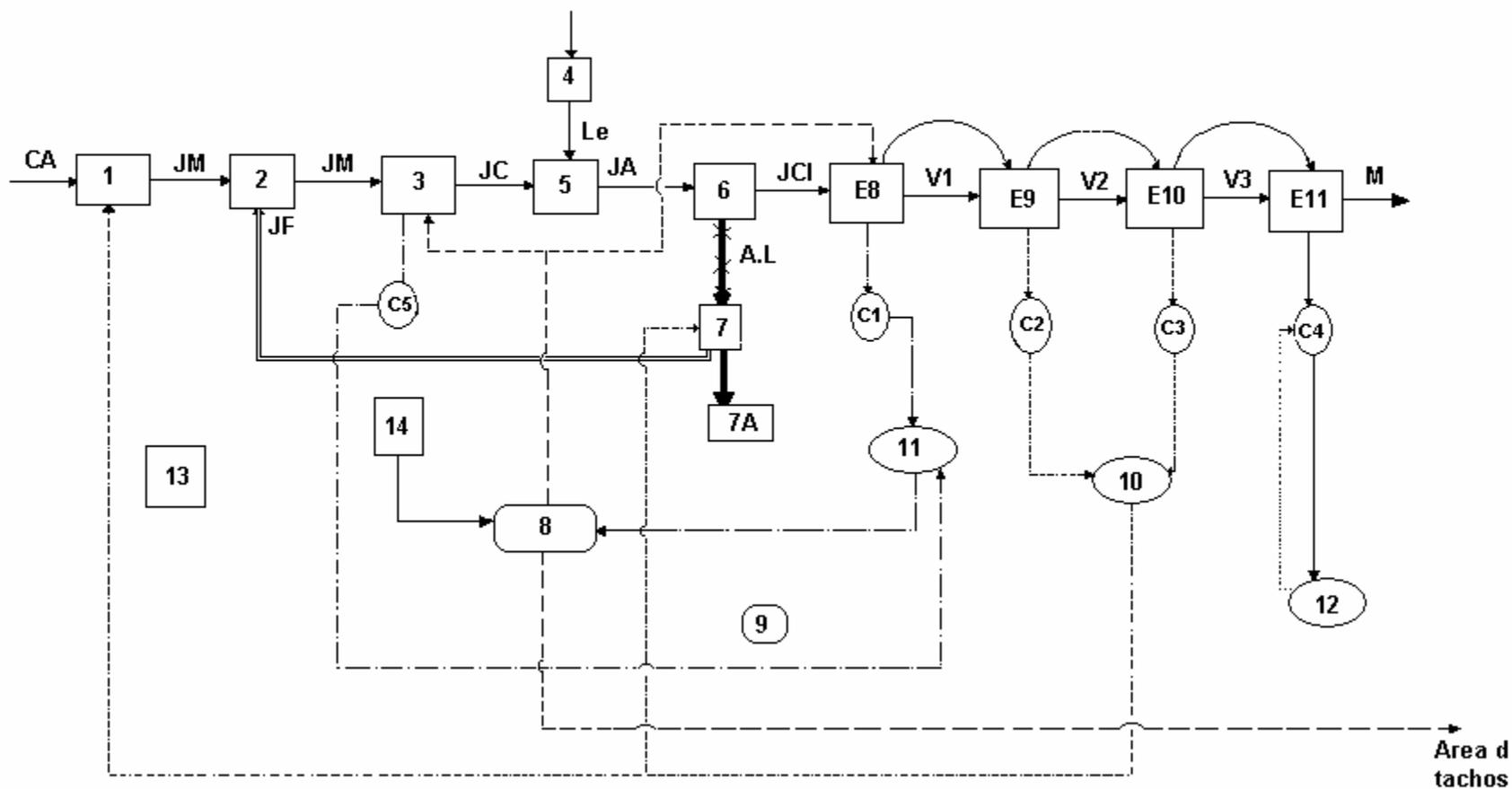
### Parámetros correspondientes a la zafra 2003 – 2004 en el CAI “Ciudad Caracas”

Simbología	Rango	Valor
Bx ( JD)	---	16.50
Pz(JD)	---	12.00
Bx(JM)	10-15	12.00
Pz(JM)	80-84	82
Bx(JCL)	10.1-15	12.52
Pz(JCL)	80-84	82.5
Bx(JF)	12.2-14	13
Pz(JF)	77-79	78
Bx(M)	60-65	62.5
P(M)	---	51.556
Pz(M)	82-84	82.60
Bx(MCA)	---	91.40
Pz(MCA)	---	82.14
Bx(MA)	---	63.15
Bx(MCB)	---	92.76
Pz(MCB)	---	77.60
Bx(MB)	---	72.00
Bx(MCC)	---	96.16
Pz(MCC)	---	64.27
Bx(MF)	---	88.0

P(MF)	---	33.44
Pz(MF)	37.39	38.00
Pz(SB)	90-93	91.80
Pz(Jc)	87-88	87.60
Pz(MA)	67-70	69.00
Pz(MB)	60-62	61.50
Bx(AA)	---	99.75
Bx(AB)	---	99.55
Bx(AC)	---	98.50
P(Ac)	98.07- 98.57	98.30
H(Ac)	0.36-0.38	0.37
Bx(Ac)	---	99.64
Pz(Ac)	---	98.67

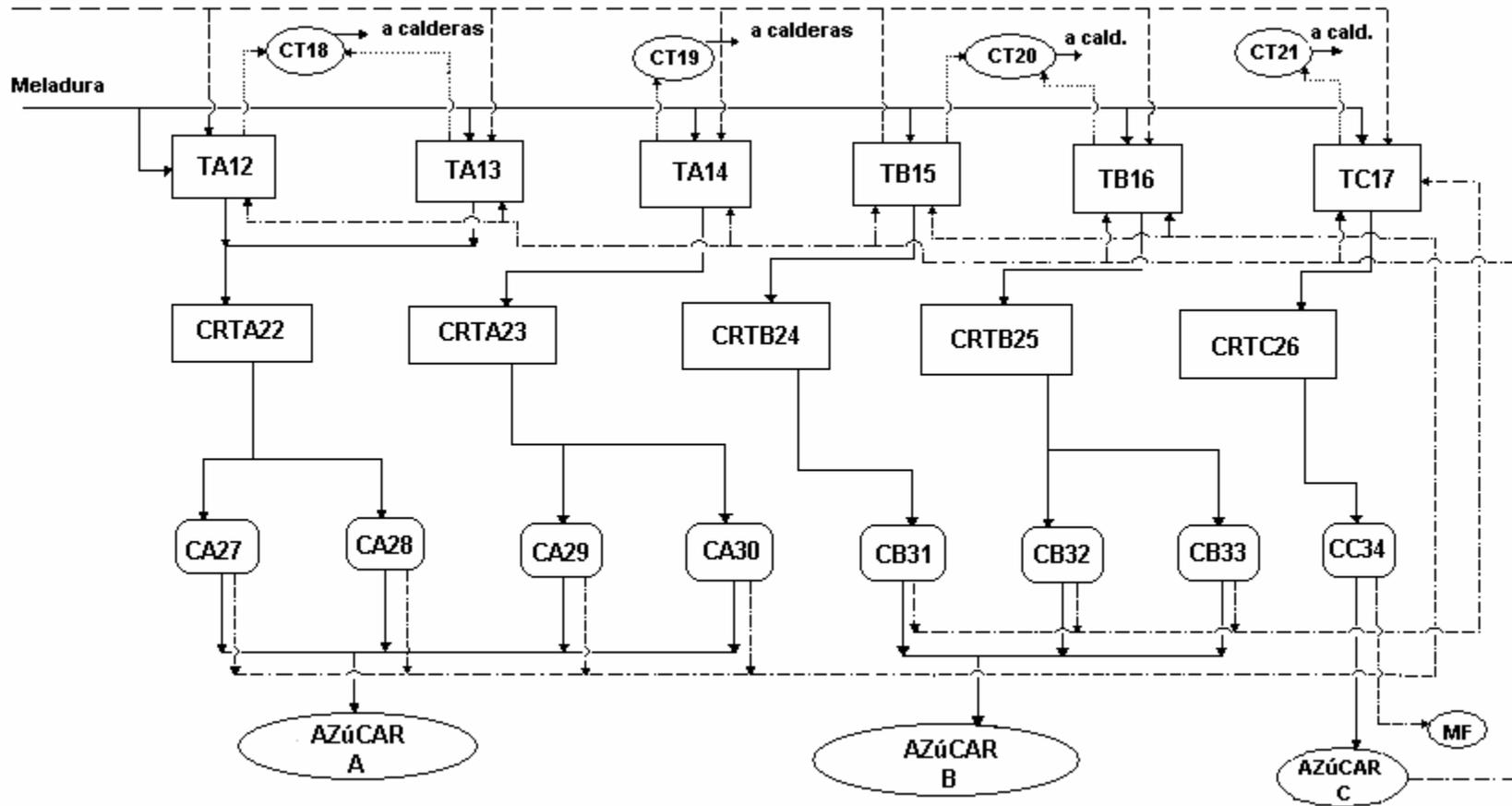
### Anexo 15

Diagrama de segregación de corrientes en el CAI "Ciudad Caracas"

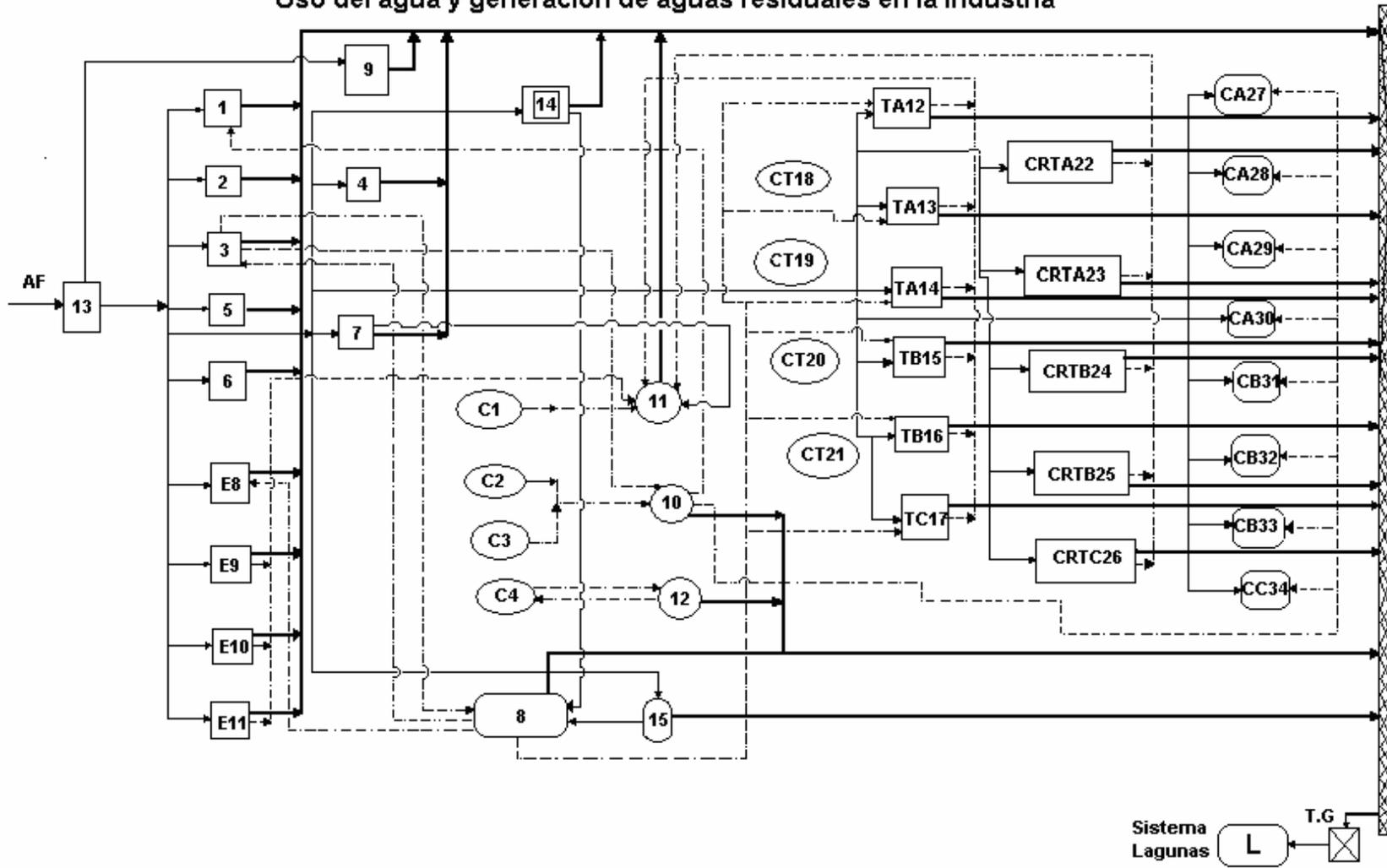


## Anexo 16

### Diagrama de segregación (Area de tachos)



**Anexo 17**  
**Uso del agua y generación de aguas residuales en la industria**



## Anexo 18

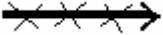
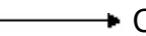
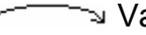
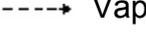
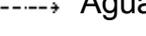
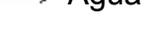
### Simbología de los diagramas representados en los anexos 15, 16 y 17 Para equipos y accesorios

Simbología	Nombre del equipo, accesorio
1	Tren de Molinos
2	Tanque de jugo mezclado
3	Calentador
4	Tanque de preparación de lechada de cal
5	Tanque de flash
6	Clarificador
7	Filtro rápido a presión
E8	Vaso 1 del Múltiple efecto
E9	Vaso 2 del Múltiple efecto
E10	Vaso 3 del Múltiple efecto
E11	Vaso 4 del Múltiple efecto
8	Calderas
9	Laboratorio
10	Tanque de agua vegetal condensada contaminada
11	Tanque de agua condensada no contaminada
12	Enfriadero
13	Tanque de agua fresca
14	Suavizadores
CT18, CT19, CT20, CT21	Condensadores del área de tachos
C1, C5	Condensadores del múltiple efecto y del calentador
C2, C3, C4	Condensadores del múltiple efecto
CRTA22, CRTA23, CRTB24, CRTB25, CRTC26	Cristalizadores A,B Y C
CA27, CA28, CA29, CA30, CB31, CB32, CB33, CC34	Centrífugas de azúcar A, By C
TG	Trampa de grasas
7A	Cachazón
MF	Tanque de miel final

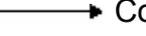
15	Tanque de Agua Tratada
L	Sistemas de lagunas
TA12,TA13,TA14,TB15,TB16,TC17	Tachos de masa cocida A , B, C

❖ **Simbología de corrientes involucradas en el proceso**

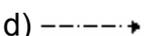
\*\*\* **Área de molinos a evaporación (anexo-15)**

- a)  Agua lodada o sedimento del clarificador
- b)  Cachaza
- c)  Corriente principal del proceso
- d)  Vapores de los jugos extraído
- e)  Agua filtrada
- f)  Vapor de escape de la caldera
- g)  Agua vegetal contaminada para imbibición
- h)  Agua enfriada para condensado
- i)  Agua condensada no contaminada

\*\*\* **Área de Tachos (anexo-16)**

- a)  Vapor de escape de la caldera
- b)  Vapores condensados
- c)  Corriente principal del proceso
- d)  Flujo de mieles A y B
- e)  A calderas → Vapores condensados a la caldera

\*\*\* **Área de utilización del agua y agua residual industrial (Anexo-17)**

- a)  Agua fresca
- b)  Agua residual
- c)  Agua contaminada para limpieza de equipos
- d)  Agua no contaminada

## Anexo 19

### Nomenclatura de las corrientes involucradas en los balances de materiales y energía del proceso.

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
CA	Caña de azúcar procesada
AI	Agua de imbibición
JM	Jugo mezclado
B	Bagazo
JF	Jugo filtrado
JC	Jugo calentado
Vc	Consumo de vapor en calentadores
Le	Lechada de cal
CaO	Óxido de calcio
JCl	Jugo clarificado
JA	Jugo alcalizado
L	Sedimento o lodo del clarificador
C	Torta de cachaza
M	Meladura
E <sub>ME</sub>	Agua evaporada al jugo clarificado
V <sub>ME</sub>	Consumo de vapor en el múltiple efecto
V <sub>1</sub>	Vapor del jugo del primer efecto
V <sub>2</sub>	Vapor del jugo del segundo efecto
V <sub>3</sub>	Vapor del jugo del tercer efecto
V <sub>4</sub>	Vapor del jugo del cuarto efecto
B <sub>1</sub>	Jugo que sale del primer efecto
B <sub>2</sub>	Jugo que sale del segundo efecto
B <sub>3</sub>	Jugo que sale del tercer efecto
G1,G1A	Material alimentado inicialmente al tacho (pie de templa) [2 tachos para azúcar A, B, C (6 tachos)].
W1,W1A	Agua evaporada en el material inicial ( 2 tachos)
MCA	Masa cocida A
MCB	Masa cocida B
MCC	Masa cocida C
MA	Miel A
MB	Miel B

G <sub>2</sub> ,G <sub>2A</sub>	Material a alimentar en el tacho ( meladura, miel )
W <sub>2</sub> ,W <sub>2A</sub>	Agua evaporada del material alimentado
G <sub>T</sub>	Consumo de vapor en el tacho
AC	Azúcar comercial
MF	Miel C o final
V <sub>T</sub>	Consumo total de vapor en los tachos
W <sub>T</sub>	Agua total evaporada en los tachos
Q <sub>vap</sub>	Calor recuperado en el vapor
Q <sub>p</sub>	Pérdidas de calor en los gases de chimenea
Q <sub>n</sub>	Calor necesario para la evaporación
V <sub>p</sub>	Vapor producido según la molida

## Anexo 20

### Simbología de las propiedades de corrientes involucradas en los balances de materiales y energía del proceso.

Simbología	Propiedades
TV	Temperatura del vapor de baja presión
Cp	Calor específico del jugo
$\lambda_v$	Calor latente del vapor de baja presión
T(JC)	Temperatura del jugo mezclado (antes de calentarse)
T(JM)	Temperatura del jugo calentado
P(Le)	Densidad de la lechada de cal
T(JCL)	Temperatura del jugo clarificado a la entrada del múltiple efecto
T1	Temperatura del vapor del jugo del primer efecto
T2	Temperatura del vapor del jugo del segundo efecto
T3	Temperatura del vapor del jugo del tercer efecto
T4	Temperatura del vapor del jugo del cuarto efecto
TB1	Temperatura del jugo del primer efecto
TB2	Temperatura del jugo del segundo efecto
TB3	Temperatura del jugo del tercer efecto
TB4	Temperatura del jugo del cuarto efecto
UD1	Coeficiente de transferencia de calor sucio del primer efecto
UD2	Coeficiente de transferencia de calor sucio del segundo efecto
UD3	Coeficiente de transferencia de calor sucio del tercer efecto
UD4	Coeficiente de transferencia de calor sucio del cuarto efecto
TA	Temperatura aparente
TR	Temperatura real
$\lambda_1$	Calor latente del vapor del jugo que sale del primer efecto a T1(corregido)
$\lambda_2$	Calor latente del vapor del jugo que sale del primer efecto a T2(corregido)
$\lambda_3$	Calor latente del vapor del jugo que sale del primer efecto a T3(corregido)

$\lambda_4$	Calor latente del vapor del jugo que sale del primer efecto a $T_4$ (corregido)
$T_g$	Temperatura de gases de salida de la chimenea
$T_a$	Temperatura del agua de alimentación a calderas
$h_v$	Entalpía del vapor producido en la caldera
$h_a$	Entalpía del agua de alimentación a calderas
$T_w$	Temperatura a la presión de trabajo en la caldera de bagazo
$P_w$	Presión de trabajo en la caldera de bagazo

## Anexo 21

### Principales variables y/o parámetros en los balances de materiales y energía del proceso

<b>Simbología</b>	<b>Variable</b>
% C	Por ciento de cachaza con relación a la caña molida
% JF	Por ciento de jugo filtrado con relación al jugo mezclado
% AI	Por ciento de agua de imbibición con relación a la caña molida
FB	Por ciento de fibra en bagazo
FC	Por ciento de fibra en caña
HB	Humedad del bagazo
Bx(JM)	Brix del jugo mezclado
Bx(JCI)	Brix del jugo clarificado
Bx(B1)	Brix del jugo que sale del primer efecto
Bx(B2)	Brix del jugo que sale del segundo efecto
Bx(B3)	Brix del jugo que sale del tercer efecto
Bx (M)	Brix de la meladura
E	Error en el cálculo de las evaporaciones en el múltiple efecto
X	Factor de pérdida en el múltiple efecto y en calentadores(debido a condiciones técnicas del equipo)
N	Número de efectos
EPE	Elevación del punto de ebullición en los cuerpos del múltiple efecto.
Bx(G1,G1A)	Brix del pie de templa o material inicial
Bx(G2,G2A)	Brix del material alimentado a los tachos
V1	Volumen del material inicial
V2	Volumen de la masa cocida
Bx(MCA)	Brix de la masa cocida A
Bx(MCB)	Brix de la masa cocida B
Bx(MCC)	Brix de la masa cocida C
Bx(MA)	Brix de la miel A
Bx(MB)	Brix de la miel B
Bx(MF)	Brix de la miel final
P(M)	Pol de la meladura
P(MF)	Pol de la miel final

P(AC)	Pol del azúcar comercial
Bx(AC)	Brix del azúcar comercial
Pureza (JM)	Pureza del jugo mezclado
Pureza (JCL)	Pureza del jugo
Pureza (JF)	Pureza del jugo
Pureza (M)	Pureza del jugo
Pureza (MCA)	Pureza del jugo
Pureza (MCB)	Pureza del jugo
Pureza (MCC)	Pureza del jugo
Pureza (MA)	Pureza de la miel A
Pureza (MB)	Pureza de la miel B
Pureza (MF)	Pureza de la miel final
Pureza (SB)	Pureza de la semilla B
Pureza (SC)	Pureza de la semilla C
H(AC)	Humedad del azúcar comercial
Pureza (AC)	Pureza del azúcar comercial

## Anexo 22

**Resultados de balances de materiales y energía para los diferentes escenarios de iteración  
(primera iteración, 100% de la capacidad de molienda)**

<b>Molienda</b>			
Equipos	Balances de materiales y energía	Balance de energía	Resultado (t/d)
<b>Purificación</b>			
Calentadores	$JM=JC$	$V_C \cdot \lambda = JM \cdot C_p \cdot (T_s - T_E) \cdot X$	$JC=1860.40$ $V_C=217.54$
Tanque flash	$JC=Le+JA$	-----	$Le=32.87$ $JA=1893.276$
Clarificador	$JA=L+JCL$	-----	$JCL=1526.611$ $L= 366.67$
filtro	$L=C+JF$	-----	$C=69$
<b>Calderas</b>			
Múltiple efecto	$JCL=M+E$ $JCL \cdot B_x(JCL) = M \cdot B_x(M)$	Se desarrolla en anexo 23	$M=297.994$ $EME=1228.6$ $V_{ME}=307.154$
Tachos y Centrifugas	Se desarrolla en anexo 24		$MF=1097.94$ $AC = 2671.47$ $WT= 5337.33$ $VT=22.38$

Balance térmico en el generador de vapor	
$Q_p = T_g(1-H_B)(5.86 \cdot A_E + \frac{2.09}{1-H_B} - 0.503)$	$IG = \frac{Q_{vap}}{Q_N} = 2.19 \text{ tv/tB}$
$Q_{vap} = (17807.5 - 20231.5 \cdot H_B - Q_P) \cdot ABC$	$V_p = IG \cdot B$
$Q_N = h_v - h_a$	
( Los cálculos se realizaron según Espinosa [1990]	

$Q_P = 1.78 \text{ Kj /tB}$   
 $Q_{vap} = 5.17 \text{ Kj /tB}$   
 $Q_N = 2.37 \text{ Kj / tv}$   
 $V_p = 1904.78 \text{ t /d}$

**Resultados de balances de materiales y energía para la segunda iteración, 90% de la capacidad de molienda)**

<b>Molienda</b>			
<b>Equipos</b>	<b>Balances de materiales y energía</b>	<b>Balance de energía</b>	<b>Resultado (t/d)</b>
<b>Purificación</b>			
Calentadores	JM=JC	$V_C \cdot \lambda = JM \cdot C_p \cdot (T_s - T_E) \cdot X$	JC=1674.36 V <sub>C</sub> =195.79
Tanque flash	JC=Le+JA	-----	Le=29.58 JA=1703.95
Clarificador	JA=L+JCL	-----	JCL=1373.95 L= 330.0
filtro	L=C+JF	-----	C=62.1
<b>Calderas</b>			
Múltiple efecto	JCL=M+E JCL*Bx(JCL)= M*Bx(M)	Se desarrolla en anexo 23	M=268.19 EME=1105.74 V <sub>ME</sub> =276.43
Tachos y Centrífugas	Se desarrolla en anexo 24		MF=988.15 AC 2404.323 W <sub>T</sub> = 4803.6 V <sub>T</sub> =20.142

Balance térmico en el generador de vapor		
$Q_p = T_g(1-H_B)(5.86 \cdot A_E + \frac{2.09}{1-H_B} - 0.503)$	$IG = \frac{Q_{vap}}{Q_N} = 2.19 \text{ tv/tB}$	$Q_P = 1.602 \text{ Kj /tB}$
$Q_{vap} = (17807.5 - 20231.5 \cdot H_B - Q_P) \cdot ABC$	$V_p = IG \cdot B$	$Q_{vap} = 4.65 \text{ Kj /tB}$
$Q_N = h_v - h_a$		$Q_N = 2.13 \text{ Kj / tv}$
		$V_p = 1714.30 \text{ t /d}$
( Los cálculos se realizaron según Espinosa [1990]		

**Resultados de balances de materiales y energía para la tercera iteración, 80% de la capacidad de molienda)**

<b>Molienda</b>			
<b>Equipos</b>	<b>Balances de materiales y energía</b>	<b>Balance de energía</b>	<b>Resultado (t/d)</b>
<b>Purificación</b>			
Calentadores	$JM=JC$	$V_C*\lambda=JM*C_p**(T_s-TE)*X$	$JC=1488.32$ $V_C=195.78$
Tanque flash	$JC=Le+JA$	-----	$Le=26.3$ $JA=1514.6$
Clarificador	$JA=L+JCL$	-----	$JCL=1221.28$ $L=293.33$
filtro	$L=C+JF$	-----	$C=55.2$
<b>Calderas</b>			
Múltiple efecto	$JCL=M+E$ $JCL*B_x(JCL)=M*B_x(M)$	Se desarrolla en anexo 23	$M=238.39$ $EME=982.88$ $V_{ME}=245.72$
Tachos y Centrifugas	Se desarrolla en anexo 24		$MF=878.35$ $AC=2137.18$ $WT=4269.86$ $VT=17.9$

Balance térmico en el generador de vapor	
$Q_p = T_g(1-H_B)(5.86 \cdot A_E + \frac{2.09}{1-H_B} - 0.503)$	$IG = \frac{Q_{vap}}{Q_N} = 2.19 \text{ tv/tB}$
$Q_{vap} = (17807.5 - 20231.5 \cdot H_B - Q_P) \cdot ABC$	$V_p = IG \cdot B$
$Q_N = h_v - h_a$	
( Los cálculos se realizaron según Espinosa [1990]	

$Q_P = 1.42 \text{ Kj /tB}$   
 $Q_{vap} = 4.14 \text{ Kj /tB}$   
 $Q_N = 1.89 \text{ Kj / tv}$   
 $V_p = 1523.82 \text{ t /d}$

## Anexo 23

- **Cálculo de las evaporaciones en el múltiple efecto por el método de tanteo y error basado en el principio de Rillieux.**

1. Suponer todas las evaporaciones iguales

$$V_N = \frac{E}{N}$$

2. Variación de la temperatura aparente

$$\Delta T_A = T_V - T_3$$

3. concentración del jugo a la salida de cada vaso:

Vaso 1     $JCL = V_1 + B_1$

$$JCL * B_X (JCL) = B_1 * B_X (B_1)$$

Vaso 2     $B_1 = V_2 + B_2$

$$B_1 * B_X (B_1) = B_2 * B_X (B_2)$$

Vaso 3     $B_2 = V_3 + B_3$

$$B_2 * B_X (B_2) = B_3 * B_X (B_3)$$

4. Elevación del punto de ebullición en cada vaso

$$EPE_N = \frac{B_X (B_N)}{100 - B_X (B_N)}$$

5. Sumatoria de la elevación del punto de ebullición

$$\Sigma EPE_N = EPE_1 + EPE_2 + EPE_3 + EPE_4$$

6. Caída de temperatura real

$$\Delta T_R = \Delta T_A - \Sigma EPE$$

7. Variación de temperatura sin corregir

$$\Delta T'_N = \Delta T_R * \frac{U'_{DN}}{\Sigma U_D}$$

Donde  $\Sigma U_D = U_{D1} + U_{D2} + U_{D3} + U_{D4}$

$$\Delta T'_1 = \Delta T_4 \quad \Delta T'_2 = \Delta T_2$$

$$\Delta T'_3 = \Delta T_3 \quad \Delta T'_4 = \Delta T_1$$

8. Distribución de la temperatura

$$\begin{aligned}T_3 &= T_{B4} + \Delta T_4 \\T_{B3} &= T_3 + EPE_3 \\T_2 &= T_{B3} + \Delta T_B \\T_{B2} &= T_2 + EPE_2 \\T_1 &= T_{B2} + \Delta T_2 \\T_{B1} &= T_1 + EPE_1\end{aligned}$$

9. Calores latentes del vapor a la temperatura correspondiente ( $T_N$ ),  $\lambda_N$  [Keenan, 1978].

10. corrección de los calores latentes del vapor

$$\lambda_N = \lambda'_N + 0.45 \cdot EPE$$

11. Calor específico del jugo

$$C_{pN} = 1 - 0.0056 \cdot B_{xN}$$

12. Evaporación en cada vaso:

Vaso 1.  $V_{ME} \cdot \lambda_V = JCL \cdot C_{P1} \cdot \Delta T_1 + V_1 \cdot \lambda_1$

Vaso 2.  $V_1 \cdot \lambda_1 = B_1 \cdot C_{P2} \cdot \Delta T_2 + V_2 \cdot \lambda_2$

Vaso 3.  $V_2 \cdot \lambda_2 = B_2 \cdot C_{P3} \cdot \Delta T_3 + V_3 \cdot \lambda_3$

Vaso 4.  $V_3 \cdot \lambda_3 = B_3 \cdot C_{P4} \cdot \Delta T_4 + V_4 \cdot \lambda_4$

$$E = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

## Anexo 24

- Cálculo para determinar el consumo de vapor en los tachos y las corrientes en la etapa de cristalización [Espinosa ,1990].

**Nota:** el área de tachos está constituido por 6 ejemplares (2 para cada tipo de masa cocida A, B, C).

1. Peso del material inicial.

$$G_1 = 1450 * V_1$$

$$G_{1A} = 1450 * V_{1A}$$

$$G_{1N} = G_1 + G_{1A}$$

2. Agua evaporada en el material inicial.

$$W_1 = G_1 * \left( 1 - \frac{Bx(G_1)}{Bx(M_{ABC})} \right)$$

$$W_{1A} = G_1 * \left( 1 - \frac{Bx(G_{1A})}{Bx(M_{ABC})} \right)$$

$$W_{1N} = W_1 + W_{1A}$$

3. Peso de la masa cocida o material final.

$$M_{CABC} = 1450 * V_2$$

$$M_{CABCA} = 1450 * V_{2A}$$

$$M_{CABCN} = M_{CABC} + M_{CABCA}$$

4. Peso del material a alimentar.

$$G_2 = (M_{CABC} - G_1 - G_2) * \frac{Bx(M_{CABC})}{Bx(G_2)}$$

$$G_{2A} = (M_{CABCA} - G_{1A} - G_{2A}) * \frac{Bx(M_{CABCA})}{Bx(G_{2A})}$$

$$G_{2N} = G_2 + G_{2A}$$

5. Agua evaporada del material alimentado.

$$W_2 = G_2 \left( 1 - \frac{B_X(G_2)}{B_X(M_{CABC})} \right)$$

$$W_{2A} = G_{2A} \left( 1 - \frac{B_X(G_{2A})}{B_X(M_{CABC})} \right)$$

$$W_{2N} = W_2 + W_{2A}$$

6. Consumo de vapor en los tachos de masa cocida A, B, C.

$$G_T = \frac{W_1 + W_2 + W_{1A} + W_{2A}}{T_c} * F_p$$

7. Azúcar Producida

$$A_{ABC} = \frac{G_2[B_X(G_2) - B_X(M_{ABC})] + G_1[B_X(G_1) - B_X(M_{ABC})] + G_{2A}[B_X(G_{2A}) - B_X(M_{ABC})]}{B_X(A_{ABC}) - B_X(M_{ABC})} +$$

$$+ \frac{G_{1A}[B_X(G_{1A}) - B_X(M_{ABC})] + E_T * B_X(M_{ABC})}{B_X(A_{ABC}) - B_X(M_{ABC})}$$

8. Miel producida

$$M_{ABC} = G_2 + G_{2A} + G_1 + G_{1A} - A_{ABC} - E_T$$

9. Consumo total de vapor en los tachos

$$V_T = \sum_A^C G_t$$

10. Agua total evaporada en los tachos.

$$V_T = \sum_A^C (W_1 + W_2 + W_{1A} + W_{2A})$$

## Anexo 25

### Nomenclatura utilizada en la aplicación de los balances energéticos en el Ciclo de Vida del Azúcar Crudo.

Simbología	Descripción	Unidad de medida
Rsun	Contenido de exergía solar	$J \cdot S^{-1}$
$I_1$	Irreversibilidad o pérdida de exergía $I_1$	$J \cdot S^{-1}$
Rcons	Recursos consumidos por la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
Rconst	Recursos consumidos por la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
RconA	Recursos consumidos por la agricultura	$J \cdot S^{-1}$
Rconind	Recursos consumidos por la industria	$J \cdot S^{-1}$
Eheco	Emisiones de residuos hacia el ecosistema	$J \cdot S^{-1}$
EhecosoL	Emisiones de residuos sólidos hacia el ecosistema	$J \cdot S^{-1}$
Ehecol	Emisiones de residuos líquidos hacia el ecosistema	$J \cdot S^{-1}$
Ehecog	Emisiones de residuos gaseosos hacia el ecosistema	$J \cdot S^{-1}$
Execo	Contenido energético en la ecosfera	J
Rprod	Total de producción de recursos; para el producto considerado es producto de la exergía solar.	$J \cdot S^{-1}$
$\frac{dExeco}{dt}$	Balance de exergía en la ecosfera	$J \cdot S^{-1}$
$\frac{dExsoc}{dt}$	Balance de exergía en la sociedad	$J \cdot S^{-1}$
$\frac{dExT}{dt}$	Balance de exergía en la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
ETecinds	Emisiones sólidas de la industria como parte de la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
EDsocs	Emisiones sólidas de la sociedad	$J \cdot S^{-1}$

ETecindL	Emisiones líquidas de la industria como parte de la tecnosfera	$J*S^{-1}$
ETecAg	Emisiones gaseosas de la agricultura como parte de la tecnosfera	$J*S^{-1}$
ETecindg	Emisiones gaseosas de la industria como parte de la tecnosfera	$J*S^{-1}$
Pprod	Productos de entrega(producidos) por la tecnosfera	$J*S^{-1}$
PprodA	Productos de entrega(producidos) por la agricultura	$J*S^{-1}$
Pprodind	Productos de entrega(producidos) por la industria	$J*S^{-1}$
ETecA	Emisiones de residuos de la agricultura	$J*S^{-1}$
ETecInd	Emisiones de residuos de la industria	$J*S^{-1}$
ETec	Emisiones de residuos de la tecnosfera	$J*S^{-1}$
I <sub>2</sub> , I <sub>3</sub>	Pérdida de exergía o irreversibilidad	$J*S^{-1}$
Pcons	Productos consumidos por la sociedad	$J*S^{-1}$
Pcon	Productos consumidos	$J*S^{-1}$
EDsoc	Emisiones de la sociedad	$J*S^{-1}$
EDsocs	Emisiones sólidas de la sociedad	$J*S^{-1}$
Ehsoc	Emisiones de residuos hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
EhsocL	Emisiones de residuos líquidos hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
Ehsog	Emisiones de residuos gaseosos hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
EhsocLind	Emisiones de residuos líquidos de la industria hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
Ehsocgind	Emisiones de residuos gaseosos de la industria hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
EhsocgA	Emisiones de residuos gaseosos de la agricultura hacia la sociedad	$J*S^{-1}$
$\alpha$	Factor que permite calcular el consumo de recursos	-
Extec	Contenido energético en la tecnosfera	J
Exsoc	Contenido energético en la sociedad	J

ETecaqcos	Emisiones de agroquímicos como parte de la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
ETecAs	Emisiones sólidas de la agricultura como parte de la tecnosfera	$J \cdot S^{-1}$
Ragroquímicos	Recursos exergéticos de la agricultura como parte de la tecnosfera.	$J \cdot S^{-1}$