



ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA PRODUCCION DE BIOETANOL EN LA PLANTA DE BELLA UNIÓN DE LA EMPRESA ALCOHOLES DEL URUGUAY (ALUR)

Israel Herrera
Cristina de la Rúa
Yolanda Lechón
Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos
Departamento de Energía
CIEMAT

22/09/2015

TABLA DE CONTENIDO

I. SECCIÓN INTRODUCCIÓN.....	3
1 CONTEXTO	3
2 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	5
SECCIÓN II. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).....	9
1. OBJETIVO DEL ESTUDIO	9
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	10
Función del sistema estudiado	10
Unidad funcional.....	10
Sistemas estudiados.....	10
Límites de los sistemas	12
Descripción de los productos estudiados	13
Cuantificación de la unidad funcional.....	15
Reglas de asignación	15
3 DATOS NECESARIOS. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MISMOS.....	16
4 HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA.....	17
SECCIÓN III. ANÁLISIS DE INVENTARIO	18
1 INTRODUCCIÓN	18
2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL SISTEMA A1. CULTIVO DE CAÑA	19
Riego	21
Labores agrícolas	21
Otros procesos	22
Vinculación con la unidad funcional	27
3 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL SISTEMA A2. PRODUCCIÓN DE JUGO CLARIFICADO.	27
Transporte de la caña.	28
Proceso de producción de jugo clarificado.	28
Vinculación con la unidad funcional	28
4 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL SISTEMA A3. PRODUCCIÓN DE AZÚCAR.....	29
Vinculación con la unidad funcional	31
5 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL SISTEMA A4. PRODUCCIÓN DE ETANOL	31

Vinculación con la unidad funcional	32
6 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL SISTEMA A5. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	33
Vinculación con la unidad funcional	34
SECCIÓN IV. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA.....	35
1 IMPACTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO	36
Sistema A1. Producción agrícola de la caña de azúcar	37
Sistema A2. Producción del jugo clarificado	38
Sistema A3. Etapa de producción de azúcar	39
Sistema A4. Etapa de producción de etanol	40
2 BALANCE ENERGÉTICO.....	43
Sistema A1. Producción agrícola de la caña de azúcar	44
Sistema A2. Producción del jugo clarificado	45
Sistema A3. Etapa de producción de azúcar	45
Sistema A4. Etapa de producción de etanol	46
SECCIÓN V. INTERPRETACIÓN	49
1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	49
1.1 Definición de los escenarios analizados	50
1.2 Resultados del análisis de sensibilidad	55
2 ÁREAS DE MEJORA	59
Etapa de producción de caña.....	59
Etapa de extracción y producción de jugo clarificado	61
Etapa de producción de azúcar.....	61
Etapa de producción de etanol.....	62
SECCIÓN V. CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS.....	64

I. SECCIÓN INTRODUCCIÓN.

1 Contexto

El sector del transporte es una actividad vital en una sociedad globalizada como la actual. El continuo movimiento de personas y mercancías tiene una importante participación en la economía, desde diversos puntos de vista: industrial, comercial, del turismo y del ocio, con implicaciones muy fuertes en la generación de empleo. A nivel mundial el interés en los biocombustibles, como parte de la solución a la problemática ambiental generada por las emisiones atribuibles a los combustibles fósiles, es creciente y cada vez más, sustentada en los avances científicos. En el caso de América Latina, el establecimiento de políticas que promueven el uso de biocombustible se dispara debido al hecho del gran potencial con el que cuenta la región [PNUMA, 2012]. De acuerdo con las previsiones del Banco Interamericano de Desarrollo, en 2030, la demanda energética en América Latina y el Caribe podría aumentar en un 75%, al tiempo que la energía producida a partir de fuentes renovables podría representar la mitad de esa demanda total. [IVACE, 2014]. Estos países están en un nivel intermedio de desarrollo; por tanto tienen la gran oportunidad de desarrollar sus sistemas de transporte en forma consistente con el planteamiento de desarrollo sostenible.

Ahora bien, aunque las emisiones de gases efecto de invernadero de los países de la región son modestas (del orden del 4.61% del valor global), la expectativa de crecimiento económico y motorización motiva la acción en mitigación. En América Latina el sector del transporte en cuanto a emisiones de GEI, puede pasar de contribuir menos de 5% al total global, al doble en los próximos 20 años, fundamentalmente producidas por los vehículos circulando por carretera. [FTS, 2011]

También para Uruguay, uno de los principales retos ambientales a los que se enfrenta, sigue siendo su compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asumido con la ratificación del protocolo de Kioto [SNRCC, 2010]. En Uruguay, el transporte junto con la industria, son los sectores que más energía consumen, alcanzando un 63% del total nacional [Perroni, 2013].

La normativa ambiental instaurada desde agosto de 2008, obliga la adopción de la tecnología Euro III (Norma 1998/69/ CE de la Comunidad Económica Europea) en los motores de los vehículos de transporte de peso bruto mayor de cinco toneladas que sean incorporados.

Por otra parte, la Ley 18.195 (Ley de agro combustibles) que tiene por objeto el fomento y la regulación de la producción, la comercialización y la utilización de agrocombustibles (etanol y biodiesel), estableció la obligatoriedad de utilizar Bioetanol en un 5% como mínimo para mezclar con las gasolinias a partir del 31/12/2014 [Ley 18.195, 2007]

Los biocarburantes constituyen la principal alternativa ya disponible a los carburantes de origen fósil con presencia significativa en el mercado. Además de reducir la dependencia energética y ayudar a combatir el cambio climático, presentan otras ventajas, como su contribución al desarrollo del medio rural.

La publicación de las directivas (2009/28/CE y 2009/30/CE) del Parlamento Europeo y del Consejo relativas a la promoción del uso de las energías renovables y de los biocarburantes en el transporte, ha suscitado un debate importante sobre los beneficios ambientales reales de los diferentes combustibles alternativos a los combustibles fósiles actualmente utilizados en el transporte. Por una parte la Directiva de fomento de energías renovables obliga a que el 10% del consumo final de energía en el transporte, en 2020, proceda de fuentes renovables pero al mismo tiempo exige que para el cumplimiento de esta obligación, los biocarburantes deben cumplir unos criterios de sostenibilidad descritos en las Directivas mencionadas. Uno de los criterios de sostenibilidad es la reducción mínima del 35% de las emisiones GEI de los biocarburantes en comparación con los carburantes fósiles, a los que sustituyen. Estas Directivas incluyen la metodología para el cálculo de esta reducción de los GEI a lo largo de ciclo de vida de los biocarburantes. La polémica se ha incrementado con la propuesta de Directiva COM(2012) 595 final que modifica las Directivas 98/70/EC y 2009/28/EC, donde se especifica que a partir del 1 de Julio de 2014 el ahorro de emisiones de los biocarburantes con respecto a los combustibles convencionales debe alcanzar el 60% para aquellas plantas que comiencen a operar a partir de dicha fecha y

dónde sólo el 5% de los biocarburantes puede ser cubierto con cultivos energéticos.
(COM(2012) 595 final)

Las propias directivas reconocen en sus consideraciones que el incremento del uso de los biocarburantes debería ir acompañado de un análisis detallado de su impacto medioambiental, económico y social para determinar la conveniencia de este incremento frente a los combustibles tradicionales.

Este impacto depende en gran medida de las condiciones particulares en las que la introducción de los biocarburantes se realice en cada país, en especial las materias primas que se usen para su obtención, los procesos de producción a partir de estas materias primas y el uso final, bien como aditivos o bien como mezcla en mayores porcentajes, pueden determinar el balance medioambiental de la introducción de estos combustibles.

En este contexto la empresa Alcoholes de Uruguay (ALUR), ha solicitado al CIEMAT el apoyo técnico para la realización del Análisis de Ciclo de Vida de la cadena de transformación de la caña de azúcar en la planta de Bella Unión, propiedad de ALUR.

La utilización de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida de las diferentes opciones planteadas permitirá al final del estudio disponer de una misma base para la comparación de todas ellas.

2 Introducción al Análisis de Ciclo de Vida

La metodología de Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión medio ambiental de “recopilación y evaluación de las entradas, resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema o producto durante su ciclo de vida” (ISO, 2006a).

Esta metodología describe y analiza las corrientes que entran desde la naturaleza al sistema estudiado y las que salen del sistema a la naturaleza a lo largo del ciclo de vida, es decir, desde la extracción de materias primas y su agotamiento hasta emisiones al aire, agua y suelo así como los cambios de uso del terreno.

Por lo tanto, el ACV es una herramienta adecuada para:

- identificar las oportunidades de reducción de impactos ambientales o bien de consumos energéticos y materiales en un producto o proceso dentro de las distintas etapas de su ciclo de vida
- informar a los responsables de tomas de decisiones tanto a nivel industrial como público
- mejorar el posicionamiento en el mercado de ciertos bienes y servicios mediante la difusión de sus beneficios ambientales asociados.

Un ACV consta de 4 fases:

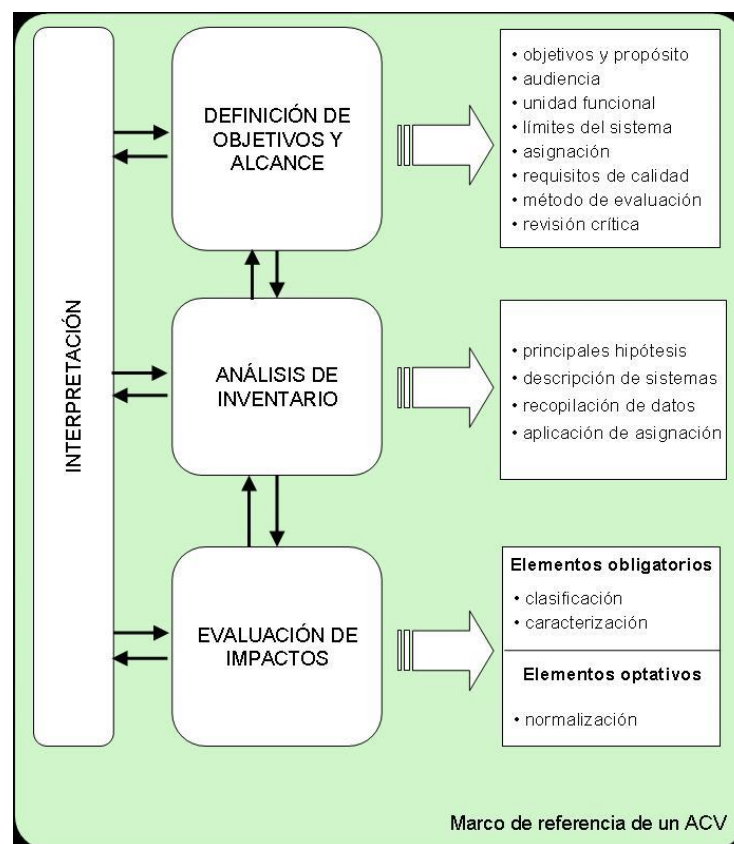


Figura 1: Etapas del ACV. Fuente: Elaboración propia

1. Definición del objetivo y alcance del estudio. En esta fase se definen:
 - Objetivo y propósito del estudio
 - Sistemas estudiados, límites del sistema y unidad funcional
 - Reglas de asignación

- Requisitos de calidad y método de evaluación
- Audiencia y grupo revisor

2. Análisis de inventario del ciclo de vida

En esta etapa se recopilan todos los datos tanto cualitativos como cuantitativos que van a ser necesarios para alcanzar los objetivos que se han definido anteriormente.

3. Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

Según la norma ISO 14040:2006, esta etapa tiene por objeto evaluar la importancia de los impactos ambientales potenciales a partir de los resultados del análisis de inventario.

La norma ISO 14040:2006 distingue dos elementos en esta etapa: (i) elementos obligatorios, que comprende la clasificación de impactos y la caracterización de impactos, y (ii) elementos optativos- la normalización de los impactos. En la Figura 2 me muestra un esquema de los elementos de esta etapa.

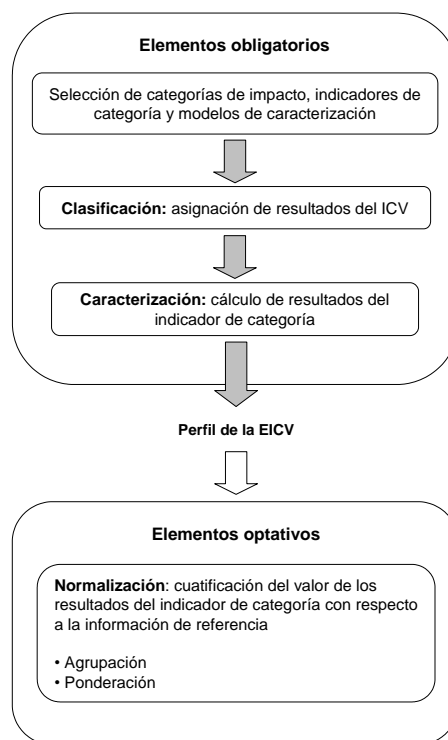


Figura 2: Elementos de la fase de EICV. Fuente: ISO 14040:2006

4. Interpretación del ciclo de vida

En esta fase se analizan los resultados de las etapas anteriores así como todos los supuestos e hipótesis que se han realizado a lo largo del estudio. Se deben identificar los supuestos principales y comprobar la robustez de los resultados. En este sentido, el análisis de sensibilidad analiza cómo pueden variar los resultados cuando los datos, las hipótesis y supuestos que se han escogido para el ACV varían. El último paso de la etapa de interpretación es la formulación de conclusiones y de recomendaciones. Éstas se harán teniendo en cuenta la audiencia a la que va dirigido el estudio y en basadas en los resultados obtenidos en las etapas previas.

SECCIÓN II. Definición del objetivo y alcance del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

1. Objetivo del estudio

El presente estudio de ACV ha sido solicitado por la empresa Alcoholes de Uruguay (ALUR) a la Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos del CIEMAT y sirve como base para el Estudio de Impacto Socioeconómico y Huella de Carbono para la generación de alcohol a partir de caña de azúcar del que formará parte.

Los sistemas evaluados en este estudio, corresponden a los productos generados en toda la cadena de transformación de la caña de azúcar en la planta de Bella Unión.

El objetivo del estudio puede resumirse en:

- Cuantificar y evaluar los impactos ambientales potenciales generados en la transformación de la caña de azúcar, desde el cultivo hasta la obtención de azúcar, etanol y electricidad.
- Cuantificar los impactos asociados la cadena de transformación para las categorías de **cambio climático** y **balance energético**.
- Identificar y evaluar las oportunidades para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida, una vez detectados los impactos en cada etapa de la cadena de transformación (obtención de materias primas, transformación, distribución y fin de vida)

La audiencia esperada para este ACV está formada en principio por los responsables de la empresa ALUR y de la Dirección Nacional de la Energía en Uruguay, que darán a los resultados del estudio la difusión y utilización que consideren oportuna. Por su parte el CIEMAT pretende publicar los resultados obtenidos en revistas científicas de difusión internacional y en congresos nacionales e internacionales.

2. Alcance del estudio

En el alcance del estudio se definen la función del sistema, la unidad funcional y los límites establecidos.

Función del sistema estudiado

El sistema estudiado cumple la función de, a partir del cultivo de caña y de su posterior transformación, producir azúcar refinado seco, etanol anhidro y electricidad que puede ser vertida a la red

Unidad funcional

La unidad funcional es una medida del comportamiento de las salidas funcionales de un sistema y su propósito es proporcionar una referencia para las entradas y salidas del mismo. Esta referencia es necesaria para asegurar que la comparación de los sistemas se hace sobre una base común. La unidad funcional seleccionada debe estar definida y ser mensurable.

Teniendo en cuenta los procesos estudiados, se estableció como unidad funcional la transformación de una tonelada de caña y los productos que de dicha transformación se obtienen. Las unidades funcionales que se han elegido son las siguientes:

1 t de caña procesada

1 MJ de etanol

1 kg de azúcar

1 kWh de electricidad

Sistemas estudiados

Una vez establecida la función del sistema y la unidad funcional, es necesario definir los sistemas y subsistemas que conforman la cadena a analizar. En la Figura 1 se han representado esquemáticamente las etapas principales de los sistemas estudiados:

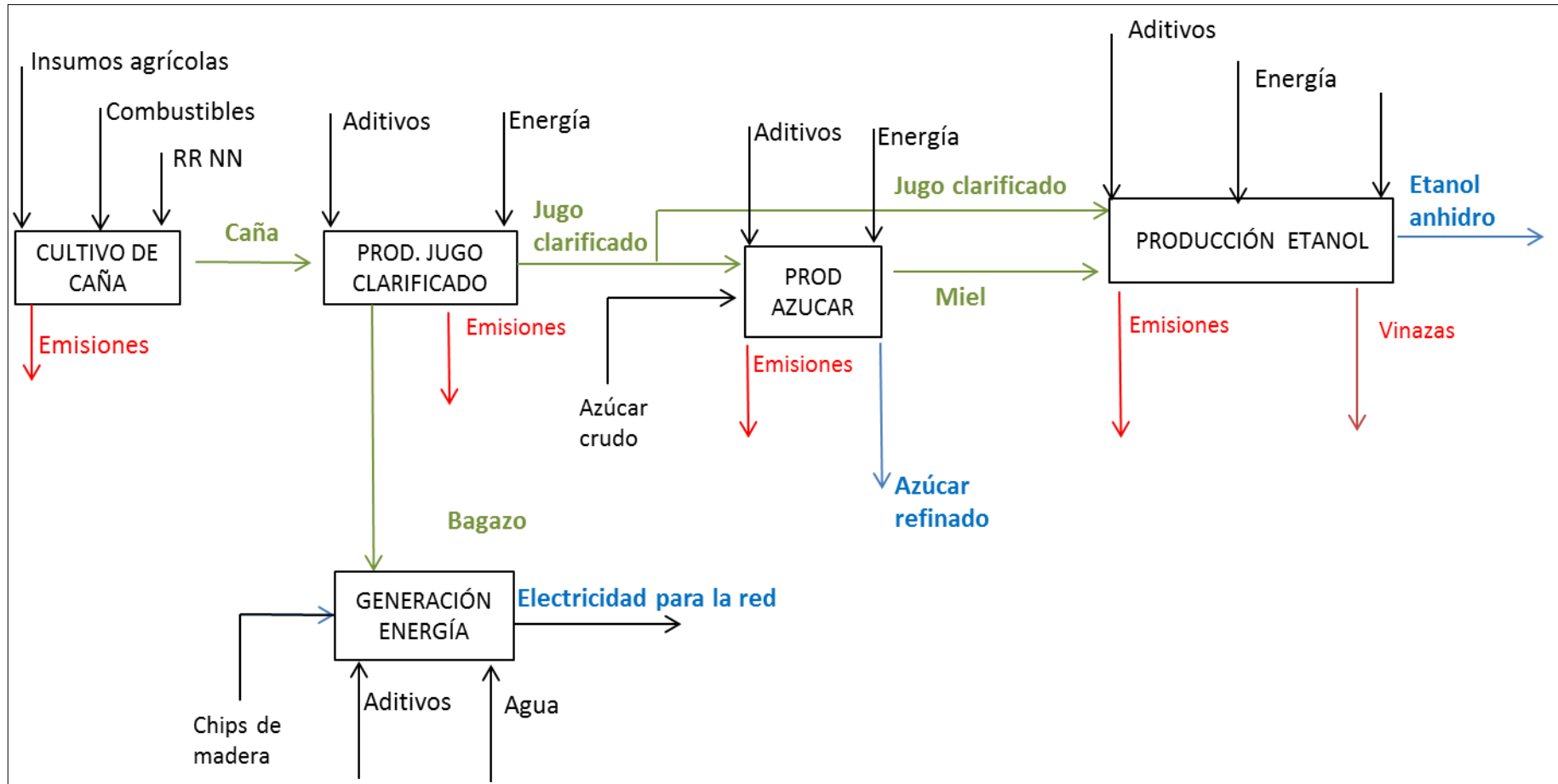


Figura 3. Diagrama general de la cadena de transformación de caña de azúcar en Bella Unión.

Los sistemas estudiados en el Análisis de Ciclo de Vida son los siguientes:

- Sistema A1: Cultivo de la caña
- Sistema A2: Transformación de caña a jugo clarificado
- Sistema A3: Transformación de jugo clarificado a azúcar y miel
- Sistema A4: Transformación de jugo clarificado y miel a etanol
- Sistema A5: Generación de energía

Estos sistemas describen las etapas del ciclo de vida de la transformación de la caña de azúcar en los tres productos de interés, a partir de diversas materias primas. En los sistemas estudiados se incluyen el cultivo, el transporte de la materia prima hasta la planta de transformación y la transformación en la misma para obtener los productos y los subproductos. Asimismo, se considerará el transporte de productos terminados, productos intermedios (co-productos) y residuos.

Son tres los productos objeto de análisis, pero como a lo largo de las etapas que componen el ciclo de vida de esta cadena productiva, se obtienen otros productos como la miel, se hace necesaria la distribución de las entradas y salidas del sistema entre todos los productos obtenidos, para distribuir las cargas ambientales a lo largo de todo el proceso.

El estudio, se ha realizado según la metodología normalizada de Análisis de Ciclo de Vida, siguiendo para ello la serie de normas internacionales UNE-EN-ISO 14040/44 y las recomendaciones de la Plataforma Europea de Análisis de ciclo de vida (ILCD Handbook, 2010). Así mismo, se han seguido las instrucciones de la metodología descrita en la **Directiva 2009/28/CE** relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (en su anexo V) y la Directiva 2009/30/CE, relativa a la Calidad de Carburantes (en su anexo IV).

Límites de los sistemas

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV, qué cargas ambientales se estudiarán y a qué nivel de detalle.

Límites geográficos. El ACV realizado se limita a la transformación de caña de azúcar en tres productos comercializables: azúcar refinado seco, etanol anhidro y electricidad. El ciclo de vida de estos productos, incluye todas las etapas involucradas en su extracción ó producción, transporte y transformación, por lo tanto los límites geográficos se ven

expandidos al tener en cuenta materias primas producidas fuera del territorio nacional.

Para la mayor parte de las operaciones se han usado, en la medida de lo posible, información primaria aportada por ALUR y, cuando han estado disponibles, datos originales de los procesos reales. Para las operaciones no controladas por la empresa se ha usado datos medios de la industria o datos reportados en bases de datos (BD) de reconocido prestigio internacional y que representan los escenarios de los procesos estudiados.

Límites temporales. El límite temporal considerado es el año 2013, aunque esto no excluye procesos o etapas desarrolladas con anterioridad.

Etapas excluidas del análisis. Para este estudio, las cargas ambientales relativas a la producción de la maquinaria e infraestructuras necesarias para el desarrollo de los procesos involucrados, se han excluido del análisis porque su contribución al balance global es muy pequeña, menor del 1% [Lechón et al, 2005 y Lechón et al, 2006].

Descripción de los productos estudiados

Las características de los productos estudiados utilizadas en el presente estudio se describen a continuación:

Azúcar refinado seco.

El azúcar es sacarosa, un carbohidrato compuesto por carbono, oxígeno e hidrógeno. Estos hidratos de carbono son los compuestos más abundantes en la naturaleza y constituyen la mayor fuente de energía, la más económica y de más fácil asimilación [Murrú et al, 2012].

Etanol anhidro.

Etanol es el alcohol etílico que se produce por fermentación y destilación de biomasa, tales como la melaza de caña de azúcar y remolacha [Herrera et al, 2012].

El etanol, o alcohol etílico, es una sustancia con fórmula molecular C_2H_6O , que puede ser utilizada como combustible en motores de combustión interna con ignición a chispa (ciclo Otto) de dos maneras: 1) en mezclas de gasolina y etanol anhidro; o 2) como etanol puro, generalmente hidratado [BNDES, 2008]. El bioetanol es un combustible de origen vegetal que se produce a partir de cualquier biomasa que contenga cantidades significativas de almidones o azúcares (RFA, 2008). También

puede obtenerse de biomasa lignocelulósica a través de procesos enzimáticos de transformación, mucho más complejos.

El alcohol producido en la planta de Bella Unión cumple con los requerimientos técnicos, en términos de deshidratación y grado alcohólico (99.6%). La Tabla 1 sintetiza las principales características del etanol y de una gasolina típica.

Tabla 1. Propiedades de la gasolina y el etanol

Parámetro	Unidad	Gasolina	Etanol
Poder calorífico inferior	kJ/kg	43500	28225
	kJ/l	32180	22350
Densidad	Kg/l	0.72-0.78	0.794
Octanaje RON (Research Octane Number)	-	90-100	102-130
Octanaje MON (Motor Octane Number)	-	80-92	89-96
Calor latente vaporización	kJ/kg	330-400	842-930
Relación aire/combustible estequiometrica		14,5	9,0
Presión de vapor	kPa	40-65	115-17
Temperatura de ignición	°C	220	420
Solubilidad	% en volumen	0	100

Fuente: (BNDES, 2008)

Electricidad de bagazo de caña.

Varios informes recientes han mencionado los beneficios de la utilización de bagazo para la producción de electricidad, tales como el sistema de cogeneración de bagazo como una parte de la red eléctrica [Kiatkittipong et al, 2009].

La energía eléctrica producida a partir del aprovechamiento de los residuos de biomasa de la caña de azúcar, depende en gran medida de los consumos de energía por las diferentes unidades de proceso en el ingenio; de la producción de vapor por tonelada de bagazo, y de la eficiencia de la turbina de vapor [Gil et al, 2013]. En este caso, se utiliza el bagazo de caña obtenido en la producción de jugo clarificado, para generar vapor y energía eléctrica para abastecer la planta industrial, y entrega el excedente a la red eléctrica del sistema interconectado nacional.

Cuantificación de la unidad funcional

Partiendo de la transformación de una (1) tonelada de caña, se producen 46,02 kg de etanol anhidro (99,6%); 54,50 kg de azúcar refinado seco y 61,76 kWh eléctricos (de los cuales 18,5kWh son enviados a red nacional).

Reglas de asignación

Los principales productos analizados en el estudio son el azúcar refinado seco, el etanol anhidro y la electricidad. Sin embargo, a lo largo de las etapas que componen el ciclo de vida de la transformación de la caña, se obtienen otros productos diferentes de los principales como por ejemplo la miel, que hacen necesario asignar las cargas ambientales generadas, en la proporción que corresponda, a todos los productos y/o co-productos.

De acuerdo con la normativa relacionada [ISO 2006a, ISO 2006b], “asignación” es la distribución de los flujos de entrada y salida de un proceso o sistema de producto, entre el sistema y los productos generados por él. Para los sistemas que tienen más de un producto siempre que sea posible se evitará la asignación por medio de:

- División del proceso en dos o más procesos
- Extensión de los límites del sistema o cargas evitadas

Si no se puede evitar, se realiza **asignación de cargas** a través de los siguientes procedimientos:

- Basado en la relación física (de forma que se refleje como se modifican las entradas y salidas por cambios cuantitativos en los productos).
- Basado en otras medidas como el valor económico, la masa o la energía

En este análisis de ciclo de vida, se ha realizado en primer lugar una división del proceso en procesos unitarios que se han analizado de forma separada y se han vinculado posteriormente para la producción final del etanol. De esta forma se ha evitado realizar asignaciones de cargas entre productos de muy diversa naturaleza como el azúcar, el etanol y la electricidad. En el caso del sistema A3, producción de azúcar, ha sido necesario realizar una asignación entre los dos productos obtenidos, azúcar y miel. En este caso se ha llevado a cabo una asignación económica, a partir de los datos de los precios tanto del azúcar como de la miel. En cuanto a la producción de

electricidad, se ha hecho una extensión de los límites del sistema restando las cargas que se hubieran producido al generar una cantidad de electricidad equivalente a la vertida a la red por el proceso en estudio, mediante el mix eléctrico uruguayo.

3 Datos necesarios. Requisitos de calidad de los mismos.

Una vez definido el objetivo y alcance de este ACV, es necesario definir las fuentes de información más importantes que se han utilizado y las bases de datos consultadas, de manera que de acuerdo con la normativa relacionada, los datos recopilados cumplan con los criterios de calidad establecidos.

Se ha partido de los datos proporcionados por la empresa ALUR, para cada una de las etapas que conforman la cadena productiva estudiada.

Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se sabe que son importantes y cuyas emisiones son relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en la producción agrícola de las materias primas, el transporte y tratamiento (en los casos que son necesarios), los procesos de producción de otras materias primas de origen diferente al agrícola (aditivos), necesarias en los procesos de transformación de las diferentes materias primas a los tres productos definidos. Para los procesos en los cuales no se dispone de datos primarios, se ha recurrido a la utilización de datos de fuentes ya publicadas.

Se han utilizado bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SIMAPRO™ (<http://www.pre.nl/simapro>) para los procesos más comunes como transportes, combustibles y productos químicos básicos. Las bases de datos usadas son las siguientes:

- ECOINVENT.

Ecoinvent, es la base de datos líder en el mundo con inventarios de ciclo de vida consistentes y transparentes de más de 4000 procesos. Incluye escenarios de agricultura, energía, transporte, biocarburantes y biomateriales, productos químicos a granel y de especialidad, materiales de construcción, materiales de embalaje, metales, procesamiento de metales, tecnologías de la información y electrónica, así como el tratamiento de residuos. Los datos de los escenarios, se basan en información industrial y han sido recopilados por distintos institutos de investigación reconocidos

internacionalmente y por consultores de Análisis de Ciclo de Vida. Los datos están disponibles en el formato de datos EcoSpold, y son compatibles con las principales herramientas informáticas de ACV y ecodiseño (www.ecoinven.ch)

- ETH-ESU

ETH Zurich, Ökoinventare von Energiesysteme [Frischknecht et al. 2004]. Inventario de datos para Suiza y Europa occidental de procesos relacionados con el suministro de energía. Contiene datos sobre materiales (construcción, sustancias químicas, metales, combustibles, plásticos, etc.), energía, transporte, tratamiento de residuos y otros.

En este estudio se utilizó para los procesos de generación de energía y en los procesos donde intervienen sustancias químicas. También para construir una base de datos, específica y actualizada del mix eléctrico Uruguayo.

- BUWAL 250.

BUWAL, Ökoinventare für Verpackungen [BUWAL 2012]. Inventario de materiales de embalaje realizado y soportado por EMPA para el Instituto Suizo de Embalaje.

Contiene datos sobre materiales (sustancias químicas, metales, combustibles, plásticos, etc), energía, transporte, tratamiento de residuos y otros. En el actual estudio se utilizará en los procesos donde intervienen aditivos, embalajes y transporte.

Además, para algunos procesos de las actividades agrícolas se ha utilizado la base de datos:

- AGRI-FOOTPRINT

Base de datos desarrollado por Blonk ConsultoresTM. Esta base de datos contiene datos de Análisis de ciclo de vida específicos para productos alimenticios y/o del sector agroalimentario (<http://www.agri-footprint.com/about/>)

4 Herramienta informática utilizada.

El presente estudio de ACV ha utilizado una herramienta informática comercial denominada SIMAPRO™ (<http://www.pre.nl/simapro>).

SimaPro es una herramienta desarrollada por Pré Consultants analiza y compara los aspectos medioambientales de un producto o proceso de una manera sistemática y consistente cumpliendo las recomendaciones de las normas ISO 14040 e ISO 14044.

SECCIÓN III. Análisis de inventario

1 Introducción

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida. Un análisis del inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema, aunque también puede incluir otros parámetros como: utilización de suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, entre otros aspectos [Herrera et al, 2011].

Los aspectos a tener en cuenta en la realización de un análisis de inventario de ciclo de vida, son aquellos que relacionan los flujos de materiales y energía con la unidad funcional, la necesidad de asignación y los métodos de asignación disponibles, y la disponibilidad de los datos. Estos aspectos se mencionan a continuación:

- Descripción de los procesos unitarios (Balance de materia y energía)
- Procedimientos de cálculo (Deben estar referidos a la unidad funcional)
- Criterios de asignación
 - Asignación de flujos a productos y co-productos según lo establecido en la definición de objetivo y alcance
- Procedimientos de recopilación de datos
 - Los datos deben recopilarse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema)
 - Realización de cálculos

La metodología seguida en este análisis de inventario, usa la aproximación conceptual del análisis de sistemas, en el sentido en que traza una frontera alrededor del sistema analizado y cuantifica las entradas y salidas a través de esa frontera [Lechón et al, 2011].

El proceso de transformación de la caña de azúcar en los tres productos de interés (azúcar refinada, etanol anhidro y electricidad) presenta particularidades significativas a pesar de ser un proceso sencillo y conocido. Dichas particularidades están

relacionadas con el tipo de materias primas utilizadas y su origen. Este hecho hace necesario establecer el origen de todos los materiales y los flujos energéticos utilizados, de manera que puedan ser computadas adecuadamente sus cargas asociadas, en todas las fases productivas, incluso el transporte.

La obtención de las materias primas utilizadas en la transformación de la caña de azúcar, implica diversas actividades, que van desde la actividad agrícola, hasta la obtención de subproductos y productos terminados. No siempre es posible tener todos los datos necesarios para la elaboración del inventario, por lo que es necesario, partir de una serie de suposiciones e hipótesis que permitan completar dichos datos.

A continuación se detallan algunas de las principales hipótesis metodológicas que sustentan el desarrollo del inventario y facilitan su análisis.

Tal como se estableció en la definición de objetivo y alcance, la cadena productiva de la transformación de la caña de azúcar, se compone de cinco (5) sistemas: ***cultivo de caña, producción de jugo clarificado, producción de azúcar refinado, producción de etanol y generación de electricidad***. Para cada uno de estos sistemas se ha desarrollado un escenario que representa las principales corrientes de entrada y salida, y a partir de las cuales se definen las cargas ambientales asociadas.

2 Análisis de inventario del Sistema A1. Cultivo de caña

Se elaboró el escenario de la producción de la caña de azúcar, a partir de información primaria, reportada por la empresa ALUR y de información secundaria obtenida a través de una rigurosa revisión bibliográfica y de bases de datos de relacionadas con los procesos productivos involucrados con dicho sistema. La **Figura 4**, representa esquemáticamente las entradas y las salidas del sistema cultivo de caña.

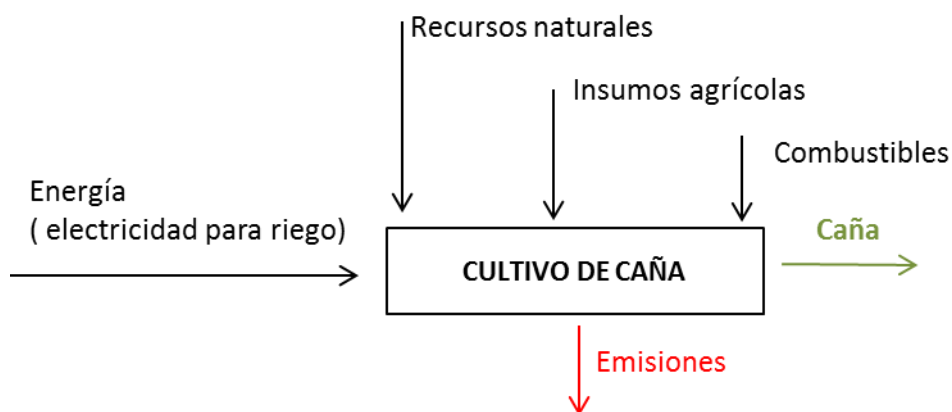


Figura 4. Diagrama esquemático de entradas y salidas del sistema cultivo de caña.

Para la realización del inventario se han tenido en cuenta las labores agrícolas realizadas y los procesos asociados a la producción y transporte de las materias primas necesarias en el cultivo tales como fertilizantes y fitosanitarios. Al margen de la fase agrícola se ha analizado el transporte de la caña hasta la planta de transformación.

Se ha considerado que un 90% de la cosecha es manual y un 10% de la misma se realiza mecanizada. En el caso de la cosecha manual, se ha considerado el uso de supergas o gas licuado del petróleo (GLP), como combustible para la quema de la hoja, actividad previa a la cosecha manual. Los datos de partida del cultivo de caña, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos del cultivo de caña.

Descripción	Cantidad	Unidades	Comentarios
Duración del cultivo*	5	años	
Superficie cultivada	9189	hectáreas	Cada año se siembra el 20% de la superficie.
Poder Calorífico Superior (PCI)	17,375	KJ/Kg	PCS del bagazo de caña, en base seca. Estimación para Tucuman, Argentina
Rendimiento	60	t/ha	
Semilla para siembra	12	t/ha	
Especie cultivada	Saccharum officinarum; Familia Poacea		

Fuente: Información reportada por la empresa Alcoholes de Uruguay (Alur).

Riego

En el caso del riego, se ha hecho un promedio de consumo tanto de la electricidad como del combustible necesario para llevar a cabo dicha actividad, a partir de los datos reportados por la empresa ALUR. Ver **Tabla 3**.

Tabla 3. Consumo de electricidad y combustible en la actividad de riego

	Ha regadas	Consumo eléctrico (KWh/ha)	Consumo de Gasoil (L/ha)
Particulares ^(*) ^(*) ^(*)	3716	754	48,3
Sistemas colectivos ^(*)	5473	955	11,5
Total	9189	874	26

*1 Solamente el 5% de las ha de los sistemas colectivos consume gasoil para riego (230 L/ha)

*2 Solamente el 21% de los particulares consume gasoil para riego (230 L/ha)

*3 El 79% restante de los particulares utiliza EE y se supone el mismo consumo que el de los sistemas colectivos

En el caso de la electricidad necesaria para el riego, se ha desarrollado un escenario de generación eléctrica para Uruguay para el año 2013, a partir de datos del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM).

El escenario que representa el mix energético para el año de estudio es el siguiente:

Tabla 4. Escenario eléctrico 2013.

Fuente	Participación (%)
Generación térmica	17
Generación hidráulica	77
Generación eólica	1,2
Generación con biomasa	4,8

Fuente: <http://www.miem.gub.uy/web/energia/-/series-estadisticas-de-energia-electrica>

Labores agrícolas

Las labores agrícolas consideradas en este estudio son las siguientes:

Labores del terreno. Incluye las tareas agrícolas de alzado y preparación del terreno realizadas con diferentes aperos.

Labores de fertilización. Se las labores de abonado realizado siempre con abonadora.

Labores de cultivo. Se han computado las labores de siembra y mantenimiento.

Tratamientos fitosanitarios. Contempla las labores de aplicación de los productos herbicidas, insecticidas y otros agentes utilizados.

Cosecha. Se incluyen las labores de cosecha y quema previa de la hoja.

Transporte insumos.- Se incluye el transporte local de los insumos: semillas, fertilizantes y fitosanitarios.

Cosecha

El 10% de la superficie de caña se cosecha de forma mecanizada mientras que el 90% restante se cosecha de forma manual tras la quema de la hoja.

Para la cosecha mecanizada se utiliza una cosechadora y un tractor con trasbordo, con un consumo de combustible asociado de 5,46 kg/ha.

Para la cosecha manual se utilizan quemadores alimentados con super gas (GLP) con un consumo por ha de 1,35 kg. Tras la corta de la caña se utiliza un grapo que carga los tallos en los camiones de transporte.

Aplicación de vinazas

Las vinazas provenientes del cultivo de la caña se transportan al campo donde se extienden. Se han considerado las emisiones procedentes de este transporte así como las emisiones de óxido nitroso producidas en el suelo tras la aplicación. No se ha considerado la posibilidad de que el aporte de nutrientes originado por esta aplicación de las vinazas sustituya a la aplicación de ninguna cantidad de fertilizantes.

Otros procesos

Producción de fertilizantes. Los datos del proceso de producción de los fertilizantes, desde la obtención de las materias primas hasta la fabricación del producto final así como la realización de las infraestructuras necesarias para su producción han sido tomados de la base de datos de Ecoinvent.

Producción de fitosanitarios. Los datos del proceso de producción de los productos fitosanitarios aplicados, desde la obtención de las materias primas hasta la fabricación

del producto final, así como la realización de las infraestructuras necesarias para su producción han sido tomados de la base de datos de Ecoinvent. Los datos para el transporte desde la zona de producción hasta la zona de almacenamiento también proceden de Ecoinvent. El transporte a nivel regional ha sido calculado y adaptado a partir de Nemececk y Kägi, 2007 y de los datos reportados por la empresa Alur.

Producción del Diesel. Esta etapa de proceso incluye la extracción de las primeras materias, los procesos de refinamiento del petróleo y el transporte del producto de la refinería hasta el usuario final. Así mismo se consideran las operaciones de almacenamiento y las realizadas en gasolineras. También se considera las emisiones procedentes de las evaporaciones y tratamiento de efluentes. El proceso utilizado para la modelización de esta etapa es Diesel at refinery de la base de datos Ecoinvent. El transporte desde refinería hasta el sitio de uso ha sido reportado por ALUR.

Consumo de combustible y emisiones asociadas. Las emisiones asociadas a este consumo han sido calculadas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$GR[g/ha]=CB[kg_{\text{combustible}}/ha]*FE[g_{GR}/kg_{\text{combustible}}] \quad [\text{Nemececk et Kägi, 2007}]$$

Dónde GR son los gases residuales, CB representa el consumo de combustible y FE son los factores de emisión de los distintos gases. El poder calorífico inferior utilizado en los cálculos procede de la norma UNE EN 590 para el diesel, cuyas características principales quedan recogidas en la

Tabla 5.

Tabla 5. Propiedades diesel

PROPIEDADES	DIESEL UNE EN 590
Densidad 20°C (kg/m3)	820-845
Viscosidad 40°C (cSt)	2,0-4,5
PCI (MJ/kg)	42,8
NC	51 (mín)
POFF (°C)	-10...0
Azufre (ppm)	50 (máx)
Residuo carbonoso 10% (%)	0,30 (máx)
Punto inflamación (°C)	55 (mín)

Aplicación de fertilizantes. La aplicación de fertilizantes a los suelos de cultivo implica la producción de emisiones resultantes de la interacción entre los compuestos químicos y el propio suelo [Brentrup et al. 2001]. La utilización de fertilizantes produce diferentes tipos de emisiones a los diferentes medios, en este análisis se cuantifican las emisiones al aire de óxido nitroso (N_2O).

Emisiones de N_2O en campo

Todos los suelos (agrícolas, forestales, en barbecho, debido a la actividad bacteriana del suelo) emiten N_2O , pero estas emisiones se ven incrementadas con la fertilización. Las emisiones de N_2O a la atmósfera contribuyen de una manera significativa al cambio climático [Houghton et al, 1990] y participan también en la destrucción de la capa de ozono.

El N_2O emitido por los suelos se produce principalmente debido a la acción de los microorganismos que viven en él, mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación. Son procesos muy complejos en los que tienen influencia el tipo de cultivo, el tipo de fertilizante y la dosis de aplicación del nitrógeno. Asimismo, diferentes factores relacionados con el tipo de suelo, como el contenido en carbono, el pH y la textura intervienen también en las emisiones de N_2O . Existen numerosas metodologías de cálculo, pero presentan un alto grado de incertidumbre en la actualidad, en parte debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la generación de estas emisiones [Nemecek, t. & Kägi, t. 2007; Crutzen et al, 2007; Stehfest, e. & Bouwman, I. 2006].

No se cuenta con medidas experimentales en campo en Uruguay de los factores de emisión por aplicación del fertilizante para la caña de azúcar. Por lo anterior, las emisiones de N_2O del cultivo de la caña se ha calculado mediante la metodología del IPCC, 2006 – Tier 1 utilizando para ello la hoja de cálculo desarrollada en el proyecto europeo Biograce (www.biograce.net), que tiene en cuenta tanto las emisiones directas por aplicación del fertilizante, como las indirectas. Las emisiones indirectas están representadas por la deposición del N volatilizado, la lixiviación y la escorrentía. La Tabla 7, presenta en forma resumida, la emisión del N_2O para el cultivo de caña de azúcar, en términos de CO_2eq por hectárea cultivada.

Tabla 6. Emisión del N₂O para el cultivo de caña de azúcar

Procesos de emisión	Emisión (kgN₂O/ha)
Aplicación directa (fertilizantes y vinazas)	2,67
Por quema	0,50
Lixiviación y escorrentía	0,22
Deposición atmosférica	0,60
Total	3,99

Etapas y procesos no considerados en el estudio. Quedan fuera del sistema, los envases y embalajes de los agroquímicos aplicados en las operaciones de fertilización y sus ciclos de vida asociados, debido a la gran variedad de tipologías de envases detectadas y por considerar que su contribución relativa a las diferentes categorías de impacto es mínima en el sistema estudiado [Herrera et al 2012]. No se considera la gestión de los residuos producidos durante el proceso de producción de los insumos utilizados.

Tampoco han sido considerados los procesos de producción de la maquinaria agrícola. de acuerdo con lo establecido en las directivas (2009/28/CE y 2009/30/CE) del Parlamento Europeo y del Consejo relativas a la promoción del uso de las energías renovables y de los biocarburantes en el transporte.

Las labores realizadas en así como la maquinaria agrícola utilizada y los insumos consumidos se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de labores, maquinaria e insumos en el cultivo de caña de azúcar

Etapa	Maquinaria	Peso	Maquinaria	uso	Diesel	Parti	Combustible		Fertilizantes	Fitosanitarios (kg/ha)							
		(kg)		(h/ha)	(l/ha)	%	(l/ha)	(kg/ha)		Glifosato	Atrazina	Ametrina	Aky	2 - 4 D	Humectante	Simbar	Dual
SIEMBRA	Tractor 1	3187,87	Pulverizadora de barra	0,08	2,77	0,20	0,55	0,47		1					0,08		1,60
	Tractor 1	3187,87	Motonivelador	0,40	11,25	0,20	2,25	1,89							0,016		0,32
	Tractor 2	2408,61	Cíncel	0,40	32,00	0,20	6,40	5,38									
	Tractor 2	2408,61	Rastra excen	0,28	14,00	0,20	2,80	2,35									
	Tractor 1	3187,87	land plane	0,20	7,00	0,20	1,40	1,18									
	Tractor 2	2408,61	Ensucadora	0,30	7,50	0,20	1,50	1,26	NPK (0-46-0)								
	Tractor 2	2408,61	Fertilizadora	0,16	6,19	0,20	1,24	1,04	60,00 kg/ha								
	Tractor 2	2408,61	Zorra, apo, facon	0,70	18,20	0,20	3,64	3,06									
	Tractor 1	3187,87	pulverizadora de barra	0,08	2,77	0,20	0,55	0,47		0,7	0,4	0,64	0,002	0,00	0,04	0,25	
MANTENIMIENTO	Tractor 2	2408,61	grapo	0,40	21,00	0,20	4,20	3,53									
	Tractor 1	3187,87	pulverizadora de barra	2,77	2,77	1,00	2,77	2,33		3,5	2,0	3,2	0,0001	2,0	0,20	1,0	
	Tractor 2	2408,61	Cíncel de 5 puas	1,75	15,00	0,70	10,50	8,82									
	Tractor 2	2408,61	Aporcador	1,19	9,00	0,70	6,30	5,29	NPK (26-0-26)								
	Tractor 2	2408,61	fertilizadora Vicon	1,20	5,00	1,00	5,00	4,20	370 kg/ha	0,37							
	Tractor 2	2408,61	fertilizadora Vicon	0,30	1,25	1,00	1,25	1,05	NPK (46-0-0)	0,10							
	Tractor 2	2408,61	Faconcinho	0,58	4,15	0,70	2,91	2,44	100 kg/ha								
	Tractor 2	2408,61	Trailas, pala de cola	1,60	5,50	1,00	5,50	4,62									
	Tractor 2	2408,61	Pulverizadora de barra	0,25	1,25	1,00	1,25	1,05		4,0					0,075		
									Total Fito	9,75	1,43	1,92	0,001	1,97	0,34	1,25	0,36

Vinculación con la unidad funcional

El balance de entradas y salidas del cultivo de caña, a partir de los datos de cultivo y de los cálculos realizados durante el análisis del inventario, se resume en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida..**

Tabla 8. Entradas y salidas del cultivo de la caña

Productos (salidas)	Cantidad	Unidad
Caña producida (1ha)	60	t
Materias primas (Entradas)	Cantidad	Unidad
Recursos naturales		
Ocupación de suelo	10000	m2a
Agua	383,7	m3
Materiales		
Diésel para labores	50,41	kg
Diésel para riego	21,84	kg
Diésel para cosecha mecanizada	0,55	kg
GLP para quema de hoja	1,22	kg
Fertilizante P2O5	27,6	kg
Urea	46	kg
Nitrato de amonio	96,2	kg
Fertilizante K2O	96,2	kg
Glifosato	9,75	kg
Atrazina	1,43	kg
Ametrina	1,92	kg
Aky	0,001	kg
2,4-D	1,97	kg
Simbar	0,36	kg
Dual	1,25	kg
Transporte	352,06	tkm
Energía		
Electricidad de la red para riego	956	kWh
Emisiones (salidas)	Cantidad	Unidad
Emisiones directas al aire		
N2O por aplicación de fertilizantes	3,99	kg
N2O por uso de combustibles	39	g
CO2 por uso de combustibles	231	kg
CH4 por uso de combustibles	173	g

3 Análisis de inventario del sistema A2. Producción de jugo clarificado.

La producción de jugo clarificado es un proceso común para la obtención de los tres productos de interés (azúcar refinado, etanol anhidro y electricidad). Una vez la caña

ha sido cosechada pasa a la planta donde es procesada para obtener jugo clarificado y otros materiales (bagazo, lodos y cachaza).

Transporte de la caña.

Computa el transporte de la caña desde la zona de cultivo hasta la planta de transformación. Se ha considerado una distancia de transporte de 15 km.

Proceso de producción de jugo clarificado.

Los tallos una vez cortados y limpios, entran el proceso de molienda, donde se separa el jugo, que contiene la sacarosa, de la fibra (bagazo). Dicha fibra sigue hacia la planta de energía, donde es utilizada como combustible para generar la energía (térmica y eléctrica) necesaria para el proceso, y de la cual queda un excedente que es vertido a la red. Por otra parte, el jugo clarificado se envía a los siguientes procesos productivos: producción de azúcar refinada y etanol. La Figura 5 representa las corrientes de entrada y salida de este sistema:

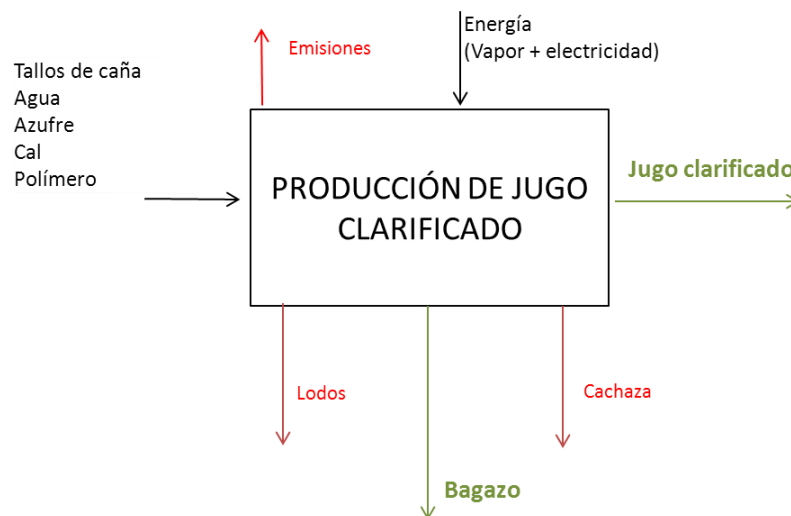


Figura 5. Diagrama esquemático de la producción de jugo clarificado

El escenario de la producción de jugo clarificado, a partir de los datos reportados por ALUR, incluye materias primas generadas por la propia empresa y otras generadas fuera de la misma.

Vinculación con la unidad funcional

Este apartado presenta las entradas y las salidas del inventario del sistema producción de jugo clarificado y su vinculación con la unidad funcional. Como unidad funcional de

este sistema, se ha establecido un kilogramo (1 kg) de jugo clarificado. El balance de entradas y salidas del sistema producción de jugo clarificado, se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Balance de materia para la obtención de una tonelada de jugo clarificado

Productos (salidas)	Cantidad	Unidad
Jugo clarificado	1,00	kg
Bagazo	0,29	kg
Cachaza	0,04	kg
Lodos agua lavado caña	0,02	kg
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad
Caña de azúcar	0,96	kg
Agua	0,33	L
Azufre	1,42E-04	kg
Cal	2,31E-03	kg
Polímero	4,74E-06	kg

4 Análisis de inventario del Sistema A3. Producción de azúcar

Una vez obtenido el jugo clarificado, este puede ser usado para la producción de azúcar refinado o la fabricación de etanol. En el caso de estudio actual, una parte del jugo obtenido, tal como se muestra en el diagrama general, se utiliza en la producción de azúcar.

El proceso de producción de azúcar refinado seco, requiere además del jugo clarificado proveniente del sistema anterior, una serie de materias primas y aditivos para su adecuado desarrollo. A continuación, en la **Figura 6** se puede ver un esquema específico de la producción de azúcar, y en la Tabla 11, se presenta las materias primas y los aditivos en las cantidades necesarias para producir una tonelada de azúcar refinado.

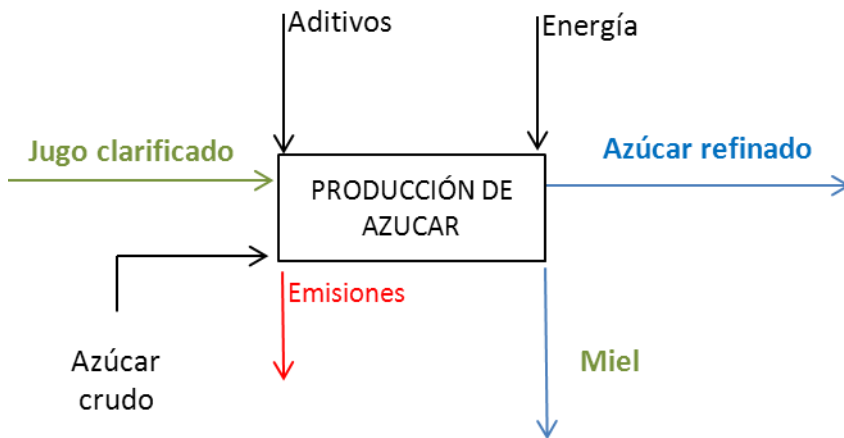


Figura 6. Diagrama esquemático de la producción de azúcar

Procedimiento de asignación

Como ya se mencionó en apartados anteriores, en el sistema producción de azúcar, además del azúcar, se co-produce miel, la miel es una materia prima necesaria para el sistema producción de etanol, por lo que de acuerdo con la normativa relacionada, debe establecerse un procedimiento de asignación entre estos dos productos.

Para repartir las cargas ambientales correspondientes a los co-productos que tienen lugar en las etapas comunes al azúcar y la miel, se ha seguido un criterio de asignación basado en el valor económico de ambos productos. Este criterio de asignación se ha elegido al considerar que la razón que motivaría el aumento del nivel de producción de azúcar en este proceso sería un posible de aumento del precio del mismo en el mercado. La energía, que podría ser otro de los criterios posibles para realizar la asignación, no se considera que sea la variable que determine la cantidad de azúcar que se produce en este proceso al ser el azúcar un producto cuyo uso no es energético. Utilizar una asignación másica no tiene tampoco mucho sentido al ser la miel, que es el subproducto del proceso, la que se produce en mayor cantidad.

De esta manera los factores de asignación utilizados han sido los siguientes:

Tabla 10. Factores de asignación del azúcar y la miel

Asignación económica				
producto	cantidad (kg/kgcaña)	Precio (U\$/kgcaña)	participación	Asignación (%)
Miel	8,43E-02	0,14	0,012	24,16

Azúcar	5,45E-02	0,68	0,037	75,84
Total			0,049	100

Fuente: cálculos propios

Vinculación con la unidad funcional

Este apartado presenta las entradas y las salidas del inventario del sistema producción de azúcar y su vinculación con la unidad funcional. Como unidad funcional de este sistema, se ha establecido un kilogramo (1 kg) de azúcar refinado seco.

El balance de entradas y salidas del sistema producción de azúcar refinado seco, se presenta en la Tabla 11

Tabla 11. Balance de materia para la obtención de una tonelada de azúcar refinado

Productos* (salidas)	Cantidad	Unidad
Azúcar refinado seco	1,00	kg
Miel	1,55	kg
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad
Jugo Clarificado	14,01	kg
Azúcar crudo	0,54	kg
Sal	1,75E-03	kg
Bolsones	1,00E-03	kg
Anti incrustante	8,29E-07	kg
* Asignación por valor económico		

5 Análisis de inventario del sistema A4. Producción de etanol

El jugo clarificado no utilizado en la producción de azúcar y la miel generada en dicho sistema, son llevadas a la producción de etanol. A partir de allí, los azúcares liberados son fermentados con levaduras y la corriente resultante se destila para su purificación. Este alcohol bruto, se emplea como materia prima en la elaboración de etanol combustible, vía deshidratación. Se obtiene entonces un alcohol de 99,6% -conocido como etanol o bioetanol- que se mezcla con gasolina para ser utilizado en los vehículos.

A continuación, en la **Figura 7** se puede ver el esquema específico para la producción de etanol, las materias primas y los aditivos para producir un kg de etanol anhidro.

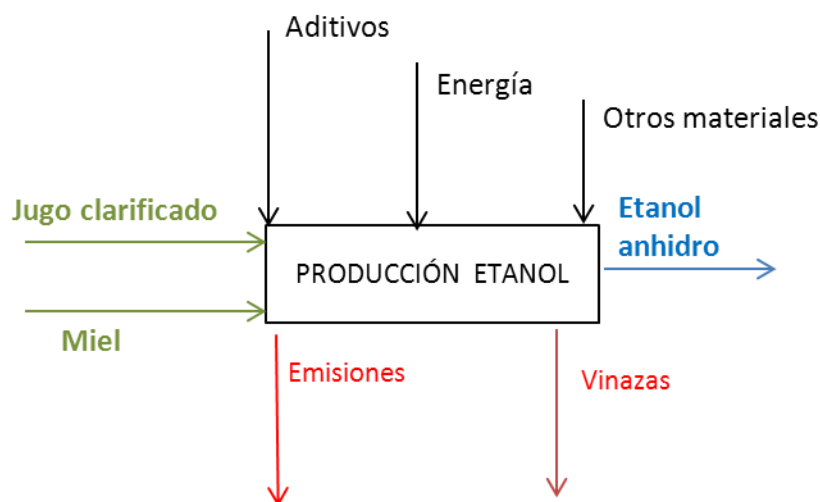


Figura 7. Diagrama esquemático de la producción de azúcar

Vinculación con la unidad funcional

Este apartado presenta las entradas y las salidas del inventario del sistema producción de etanol y su vinculación con la unidad funcional. Como unidad funcional de este sistema, se ha establecido un litro (1 L) de etanol anhidro. A partir de este valor y teniendo en cuenta la densidad del etanol y su contenido energético, es posible en la etapa de evaluación de impactos, establecer como unidad funcional del etanol anhidro, un Mega Julio (1MJ).

La Tabla 12 presenta el balance de entradas y salidas del sistema producción de etanol anhidro.

Tabla 12. Balance de materia para la obtención de un litro de etanol anhidro

Productos* (salidas)	Cantidad	Unidad
Etanol anhidro	1,00	L
Vinaza	6,70E+00	L
Flegmasa	1,75E+00	L
Co2	8,41E-01	kg
Crema levadura	2,28E-01	kg
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad
Jugo clarificado	5,74E+00	kg

Miel	1,46E+00	kg
Levaduras	1,48E-05	kg
Antiespumante	2,76E-06	kg
Dispersante	1,13E-06	kg
Ácido sulfúrico	2,29E-05	kg
Antibiótico	1,77E-08	kg
Soda	3,10E-06	kg
Urea	7,42E-05	kg
Fosfato di amónico	4,64E-05	kg
Sulfato magnesio	3,74E-05	kg
Sulfato manganeso	2,63E-06	kg
Sulfato de zinc	3,37E-06	kg
* Sin asignación, los residuos se transportan para su uso		

6 Análisis de inventario del Sistema A5. Generación de electricidad

Cuando la generación de calor para el proceso de transformación se realiza en una planta de cogeneración, el exceso de electricidad producida y no utilizada en el proceso puede ser considerado como otro co-producto del sistema. La planta de cogeneración forma parte del diseño de la instalación y contribuye a la optimización de su proceso productivo. En este sentido, en este ACV, se ha considerado la electricidad que pueda ser vertida a la red, como un co-producto al que se le puedan asignar cargas o restar de los otros productos.

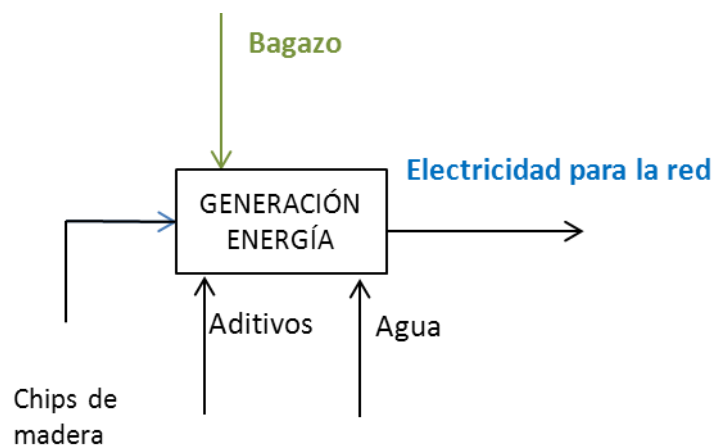


Figura 8. Diagrama esquemático de entradas y salidas del sistema generación eléctrica.

Vinculación con la unidad funcional

Este apartado presenta las entradas y las salidas del inventario del sistema generación de electricidad y su vinculación con la unidad funcional. Como unidad funcional de este sistema, se ha establecido un kilowatt-hora (1kWh) de electricidad producida en la cogeneración. La Tabla 13 presenta el balance de entradas y salidas del sistema producción de etanol anhidro.

Tabla 13. Balance de materia y energía para la obtención de un kWh.

Productos* (salidas)	Cantidad	Unidad
Energía Eléctrica	1,00E+00	kWh
Cenizas	0,228	kg
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad
Bagazo	4,86E+00	kg
Leña (chip)	1,80E+00	kg
Agua	5,86E+00	kg
Electricidad de la red	3,26E-02	kWh
Electricidad propia (autoconsumo)	6,68E-01	kWh
Fosfatos	1,40E-07	kg
Aminas	3,85E-04	kg
Hidracina	1,30E-05	kg
Soda caustica	1,75E-07	kg
* Sin asignación		

SECCIÓN IV. Evaluación del impacto del ciclo de vida

La fase de evaluación de impacto tiene como misión evaluar la magnitud de los impactos ambientales, a partir de las cargas identificadas en el inventario de los procesos implicados, a lo largo todo el ciclo.

La UNE-EN-ISO 14.040:2006 establece una serie de pasos en la etapa de evaluación de impacto:

- Clasificación: cada carga ambiental se asigna a una o varias categorías de impacto
- Caracterización: la contribución de cada carga ambiental a cada una de las categorías de impacto se calcula multiplicando las cargas por unos factores de caracterización. Los resultados dentro de cada una de las categorías de impacto se suman para dar un resultado de cada categoría
- Normalización. Cada resultado de cada categoría se normaliza para obtener una estimación de la importancia del resultado en las diferentes categorías.
- Valoración. El resultado normalizado se multiplica por un factor de ponderación que representa la importancia relativa de cada categoría de impacto. Los resultados ponderados se pueden entonces sumar para dar un resultado final del impacto ambiental del sistema estudiado.

La Norma señala una serie de elementos obligatorios y otros opcionales. Los elementos obligatorios son los siguientes:

- Selección de las categorías de impacto, de los indicadores de categoría y de los modelos de caracterización.
- Asignación de los resultados del Inventario de Ciclo de Vida a las categorías de impacto (clasificación)
- Cálculo de los resultados de los indicadores de categoría (caracterización) que es el perfil de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.

Como elementos opcionales señala los siguientes:

- Cálculo de la magnitud de los resultados de los indicadores con relación a una información de referencia (normalización)
- Agrupación: ordenación y posible clasificación de las categorías de impacto

- Ponderación. Conversión y posible agregación de resultados de los indicadores de categorías de impacto usando factores numéricos basados en valoraciones subjetivas

- Análisis de calidad de los datos

La Norma no señala ninguna metodología específica para realizar esta etapa de evaluación de impacto y en la literatura científica sobre el tema no existe un acuerdo unánime sobre cuál es la metodología más apropiada.

Considerando las recomendaciones de los diferentes métodos de evaluación de impacto (normativa ISO 14040/44 de 2006) se acordó para la realización de la evaluación de impacto:

- Realizar solamente las etapas de clasificación y caracterización, debido al enorme grado de subjetividad que conlleva las dos siguientes etapas; Normalización y valoración.
- Seleccionar las siguientes categorías de impacto y métodos de evaluación:

Tabla 14. Indicadores de impacto aplicados

Tipo de impacto	Categoría de impacto	Método y fuente
Recursos	Energía	Cumulative Energy Demand. [Frischknecht. R, et al 2003]
Contaminación	Cambio climático	ILCD, 2011. [EC, 2012]

1 Impactos sobre el cambio climático

Los impactos sobre el cambio climático están producidos por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En cuanto a estas emisiones, se presentan los resultados del inventario realizado para el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄), a lo largo de todo el ciclo de vida. Para el cálculo del impacto generado por estas emisiones, en equivalentes de CO₂ (CO₂eq), se han utilizado los siguientes factores de caracterización, que expresan el potencial de calentamiento global de cada una de las sustancias consideradas. Los potenciales usados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Potenciales de calentamiento global

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
100 años	1	25	298

Fuente: IPCC 2007

Sistema A1. Producción agrícola de la caña de azúcar

Las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en la producción agrícola de la caña de azúcar se han calculado para cada una de las etapas implicadas. Los resultados se muestran en la Tabla 16 expresados en g de CO₂ eq/kg caña.

Tabla 16. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa de producción de caña de azúcar (gCO₂equiv/kg caña).

Combustible	Emisiones de N ₂ O	Fertilizante P ₂ O ₅	Fertilizante K ₂ O	Fertilizante N	Tratamientos fitosanitarios	Transporte de Insumos	Electricidad	TOTAL
4,54	19,82	0,93	0,94	15,51	2,85	0,80	2,45	47,84

De forma gráfica, la Figura 9 presenta la contribución porcentual de las diferentes etapas al calentamiento global.

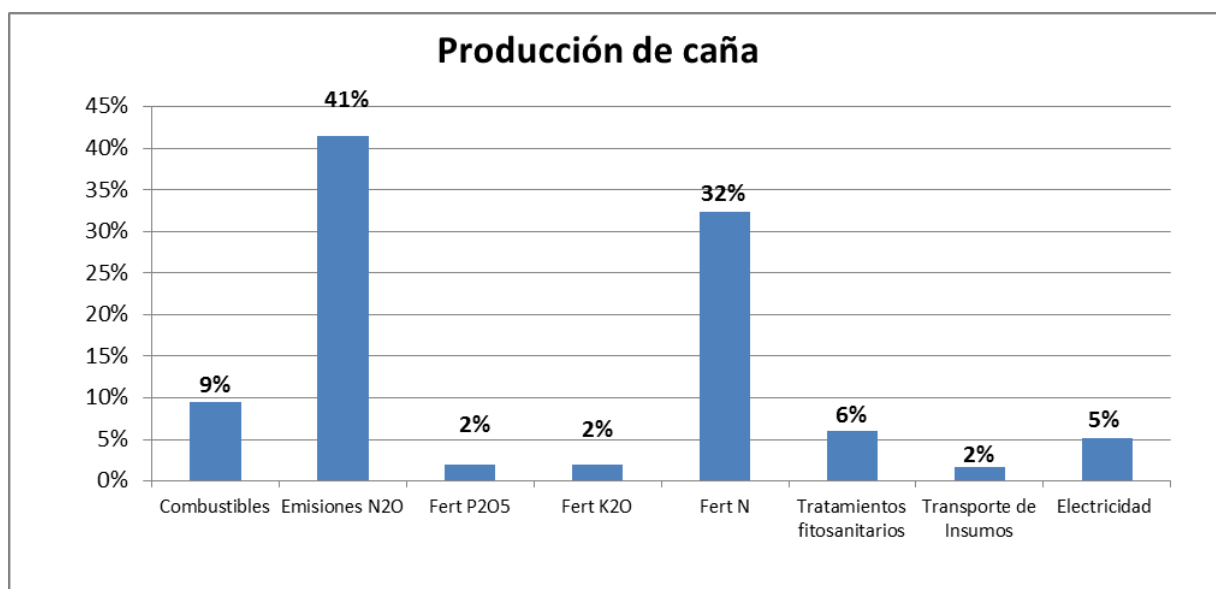


Figura 9. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de caña de azúcar.

Contribución por etapas

Como se puede observar, las etapas que más contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero son las de fabricación de fertilizantes y la propia etapa de cultivo

con las emisiones directas de óxido nitroso producidas tras la aplicación de los fertilizantes nitrogenados. Les sigue el uso de combustibles en las labores de cultivo, riego y recolección.

Las emisiones totales ascienden a un total de 47,84 gCO₂equiv/kg de caña. El valor de referencia considerado por la Comisión europea en los valores por defecto de las emisiones de gases de efecto invernadero para la producción de etanol de caña- que considera como proceso de referencia la producción de caña en Brasil- asciende a 27.17 g/kg caña. Las principales diferencias con dicho proceso se observan en el consumo de fertilizantes nitrogenados (62.6 kg N/ha en el caso de Brasil y 142.2 kg N/ha en el caso de Uruguay) y en el consumo de combustibles para el riego que el caso del proceso de referencia de Brasil no se consideran, mientras que en el caso analizado ascienden a 20,64 kg diesel/ha. Esto hace que tanto las emisiones directas del cultivo como las de fabricación de fertilizantes sean mucho más elevadas en el caso analizado.

Sistema A2. Producción del jugo clarificado

Las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en el proceso de obtención de jugo clarificado se muestran en la Tabla 17 y en la Figura 10 expresados en g de CO₂ eq/kg jugo.

Tabla 17. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa obtención de jugo clarificado (gCO₂equiv/kg jugo).

Azufre	Cal	Polímero	Caña	Electricidad	Transporte de caña	TOTAL
0,06	2,61	0,002	45,56	-0,76	3,19	50,65

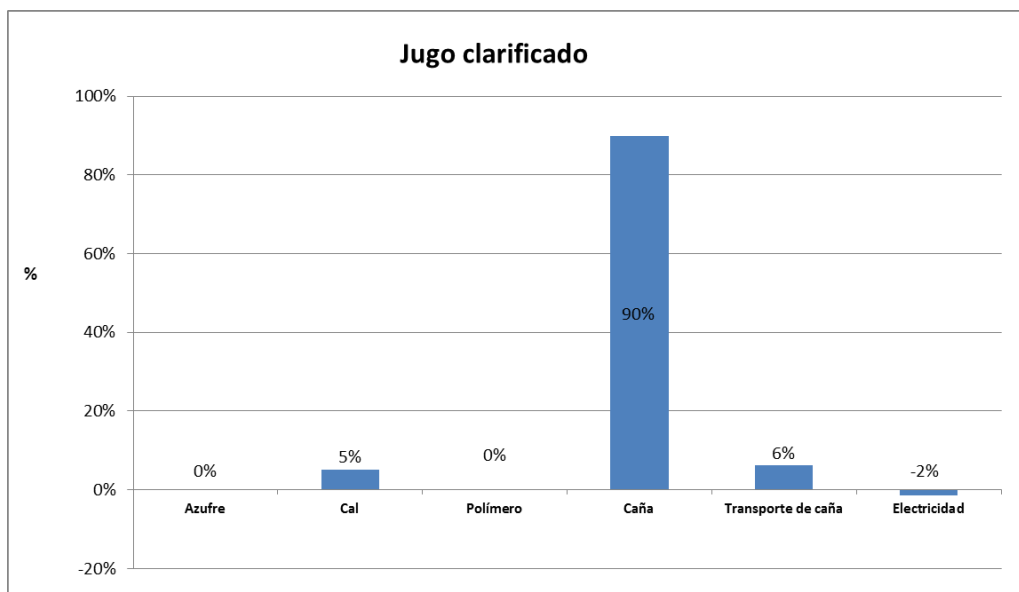


Figura 10. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de jugo clarificado.
Contribución por etapas

Las emisiones de este proceso vienen determinadas en un 90% por los procesos de producción de caña de azúcar que se han discutido anteriormente, en un 6% por el transporte de la caña y en alrededor de un 5% por las materias primas del proceso. Existe un crédito eléctrico por la producción de electricidad en la planta de cogeneración y que se vierte a la red, que se ha asignado a las distintas etapas del proceso de transformación y que en esta etapa asciende a aproximadamente a 1gr CO_{2eq}/kg jugo.

Sistema A3. Etapa de producción de azúcar

Esta etapa comprende los procesos de obtención de azúcar a partir del jugo clarificado y azúcar crudo de importación. Como co-producto se obtiene miel que se usará, junto con jugo clarificado, para la obtención de etanol.

Los resultados de emisiones de gases de efecto invernadero, asignados a la producción de azúcar, se muestran en la Tabla 18 y en la Figura 11 expresado en gCO_{2eq}/kg azúcar.

Tabla 18. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa de producción de azúcar (gCO_{2eq}/kg azúcar).

Jugo clarificado	Distribución	Azúcar crudo	Aditivos	Sal	Electricidad	TOTAL
501,84	0,001	538,32	0,33	0,97	-1,66	1075,70

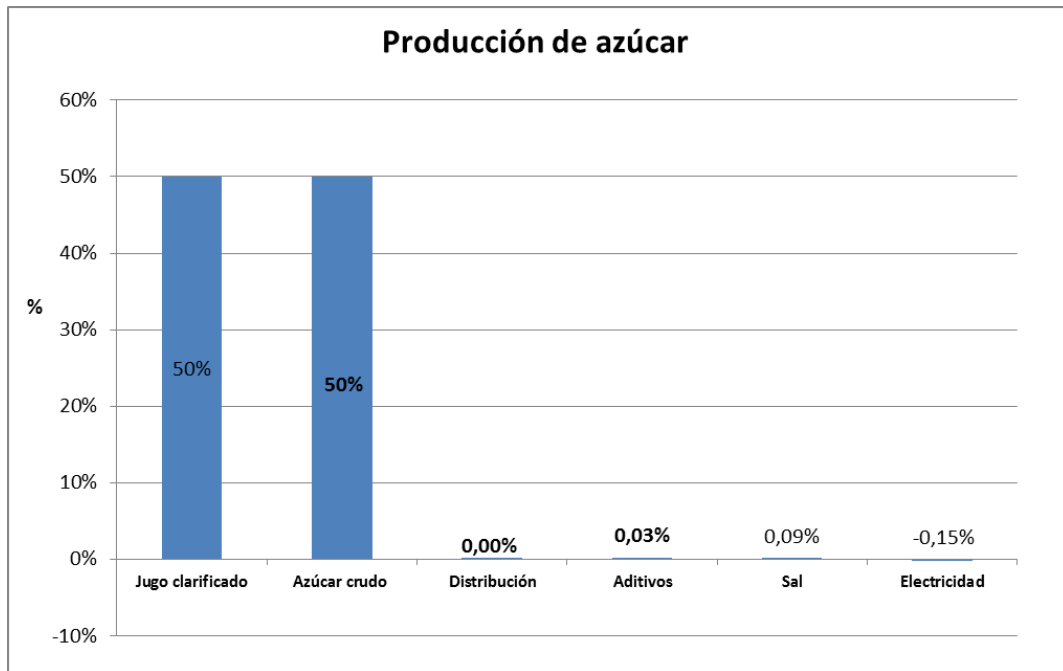


Figura 11. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de azúcar. Contribución por etapas

Las emisiones totales ascienden a 1076 gCO₂equiv/kg azúcar y se deben fundamentalmente al proceso de producción de jugo clarificado (50%) discutido anteriormente y al proceso de producción de azúcar crudo (50%). Los datos de inventario de este último producto se han obtenido de la base de datos Ecoinvent al ser un producto importado y se han modificado para adecuarlos a las características del producto utilizado. También en este proceso existe un crédito que en esta etapa asciende a alrededor de 2gr CO₂eq/kg azúcar.

Sistema A4. Etapa de producción de etanol

Esta etapa comprende los procesos de obtención de etanol a partir de jugo clarificado procedente de la fase de extracción y de la miel procedente de la fase de obtención de azúcar. Los resultados de emisiones de gases de efecto invernadero de esta fase se muestran en la Tabla 19 y en la Figura 12.

Tabla 19. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa de producción de etanol (gCO₂equiv/kg etanol y grCO₂equiv/MJ etanol).

Unidades	Total	Jugo clarificado	Miel	Aditivos	Distribución (transporte)	Electricidad
gCO ₂ eq/kg	765,49	368,74	406,5	0,532	0,17	-10,43
gCO ₂ eq/MJ	28,62	13,78	15,2	0,020	0,006	-0,39

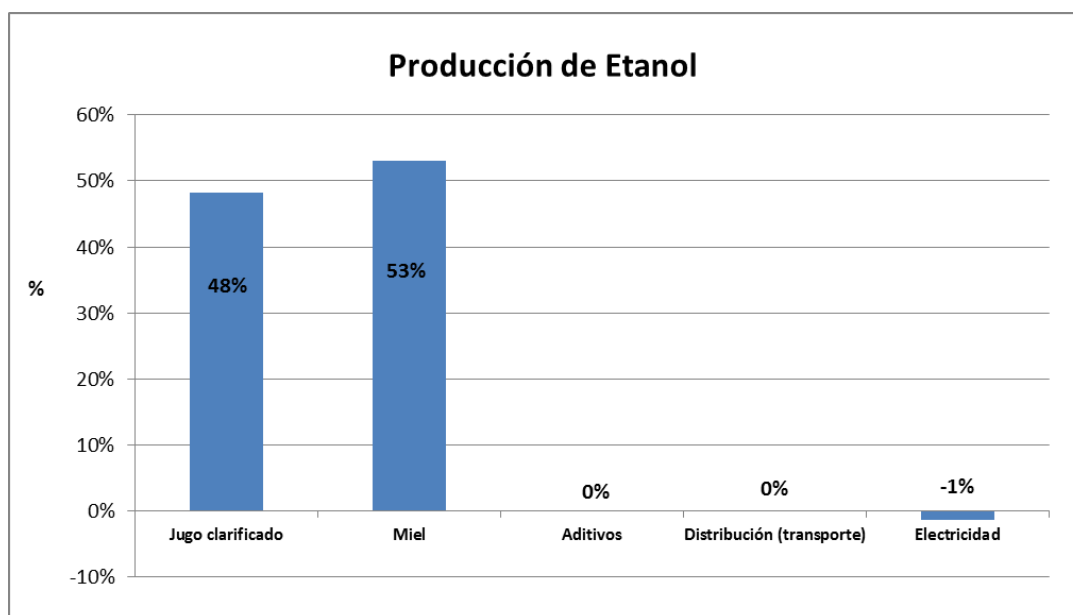


Figura 12. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de etanol. Contribución por etapas

Las emisiones totales de la producción de etanol (incluyendo todas las etapas anteriores) ascienden a alrededor de 766 gCO₂equiv/kg de etanol lo que equivale a 28,62 gCO₂equiv/MJ de etanol. El porcentaje de ahorro frente a la producción y uso de un combustible fósil de referencia (cuyas emisiones se estiman en 83,8gCO₂eq/MJ tal y como establece la Directiva CE/28/2009) es de un 65,85%. La mayor parte de las emisiones vienen del jugo clarificado (48%) y de la miel (53%), mientras que las emisiones producidas en el proceso de transformación son muy reducidas. Existe además un crédito eléctrico, que en esta etapa corresponde a cerca de 0,4gCO₂eq/MJ etanol.

Para efectos de comparación, el valor por defecto establecido por la comisión europea en la Directiva CE/28/2009 (DER) para el etanol proveniente de caña de azúcar es de 24 gCO₂eq/MJ.

En la Figura 13 se muestran los resultados del ACV realizado para la producción de etanol por la empresa ALUR en Uruguay y dicho valor por defecto. Como podemos observar las emisiones de la etapa de cultivo son alrededor de 5 gr superiores a las obtenidas en este estudio por las razones discutidas anteriormente. En cuanto a las emisiones del proceso, éstas son sensiblemente superiores. Esto se explica porque el proceso considerado en el cálculo de los valores por defecto es un proceso dedicado solamente a la producción de etanol a partir de jugo clarificado sin producción de azúcar. Las diferencias entre ambos procesos hacen que los resultados sean difícilmente comparables. Por un aparte se introducen procesos muy intensivos en energía y materias primas como puede ser los procesos involucrados en la producción del azúcar crudo utilizado en el proceso, y se produce un co-producto adicional al que hay que asignar cargas. Por otra parte la producción de etanol es menor al utilizarse gran parte del jugo clarificado en la producción de azúcar. Asimismo, las emisiones del proceso incluyen las emisiones de ciclo de vida del azúcar crudo (1315 gCO₂equiv/kg azúcar crudo) que en su mayoría (>99%) son emisiones provenientes del cultivo de caña de azúcar en Brasil.

En cuanto a las emisiones del transporte, las calculadas en este estudio son sensiblemente inferiores a las estimadas en el valor por defecto dado que este último considera el transporte final del etanol producido hasta Europa, mientras que en este estudio se ha considerado transporte nacional. Es de destacar que para evaluar la sostenibilidad de este combustible para su consumo en Europa es necesario considerar el transporte hasta el destino final.

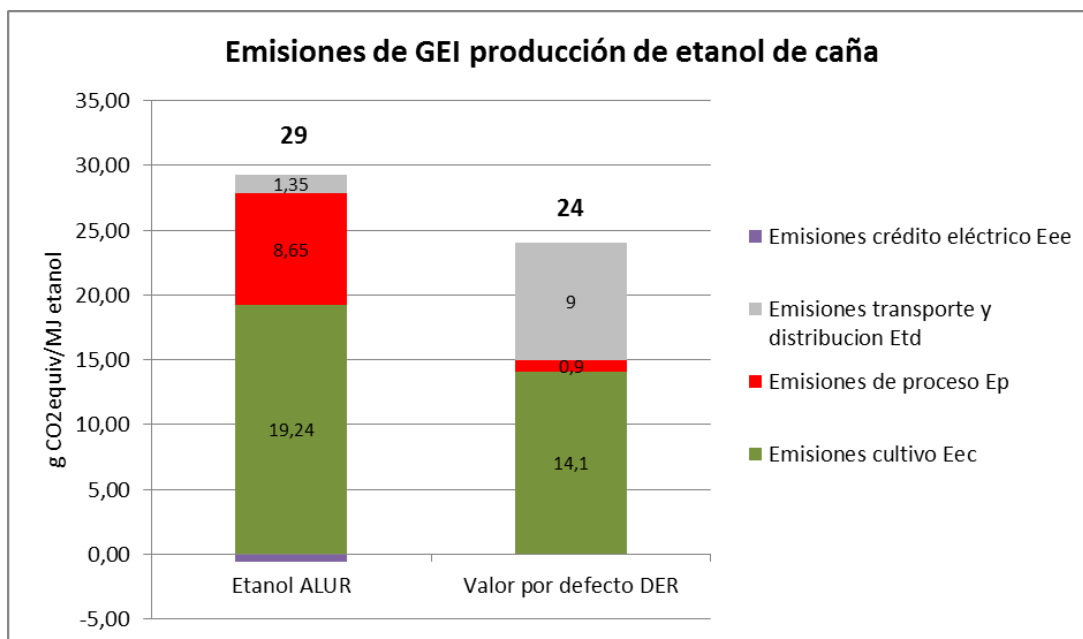


Figura 13. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de etanol. Comparación con los valores por defecto de la Directiva de Energías Renovables (DER).

A efectos de comparación, la siguiente tabla muestra las emisiones de gases de efecto invernadero de otros bioetanoles obtenidos de la literatura.

Tabla 20. Ratio de Energía fósil de la producción de bioetanol

	GEI	
	g CO2 equiv/MJ	Fuente
Bioetanol caña México	37,6	C.A. García, et al. 2011.
Bioetanol caña Brasil	27,5	Macedo, et al, 2004
Bioetanol cereales España	47,2	Herrera I. et al, 2012
Bioetanol maiz USA	43	Adam J. et al, 2009

2 Balance energético

El balance energético se obtuvo en base al cálculo de la energía primaria total consumida por los procesos. Dicha energía total incluye la energía no renovable (fósil y nuclear) y la energía renovable (solar, eólica e hídrica) consumida. A continuación, se presenta la energía fósil consumida por cada una de las etapas de ciclo de vida para las distintas etapas del proceso de producción de etanol estudiado.

Sistema A1. Producción agrícola de la caña de azúcar

El consumo de energía fósil en la producción agrícola de la caña de azúcar se ha calculado para cada una de las etapas implicadas. Los resultados se muestran en la Tabla 21 expresados en MJ fósil/kg caña.

Tabla 21. Consumo de energía fósil de la etapa de producción de caña de azúcar (MJ fósil/kg caña).

Producción del combustible	Fertilizante P2O5	Fertilizante K2O	Fertilizante N	Tratamientos fitosanitarios	Transporte de Insumos	Electricidad de la red (UR)	TOTAL
0,066	0,012	0,010	0,121	0,043	0,013	0,010	0,274

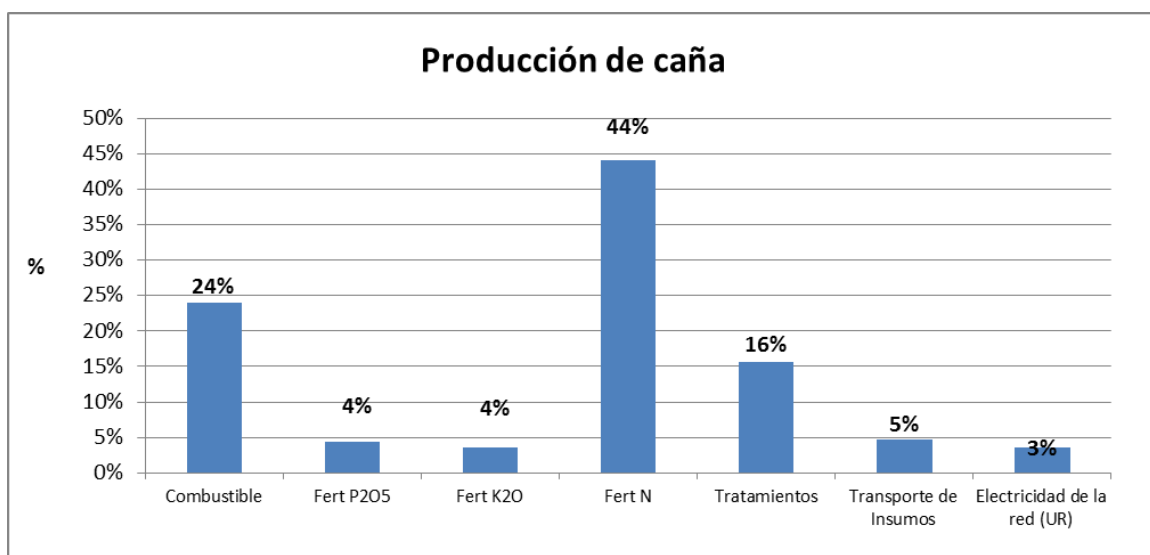


Figura 14. Contribución al consumo de energía fósil de las distintas etapas de la producción agrícola de la caña de azúcar

Como puede verse, las entradas con mayor consumo de energía fósil corresponden a la producción y uso del combustible y la producción de los fertilizantes nitrogenados. Cualquier mejora del proceso agrícola tendente a reducir estos consumos, supondrá una mejora sensible en el balance de energía fósil de este proceso y del conjunto del sistema de producción de etanol de caña.

El consumo de energía fósil total es de 0,274 MJ/kg de caña.

Sistema A2. Producción del jugo clarificado

Los consumos de energía fósil en el proceso de obtención de jugo clarificado se muestran en la Tabla 22 y en la Figura 15 expresados en g de MJ fósil/kg jugo.

Tabla 22. Consumos de energía fósil de la etapa obtención de jugo clarificado (MJ fósil/kg jugo).

Azufre	Cal	Polímero	Caña	Electricidad	Transporte de caña	TOTAL
0,0008	0,012	2,99e-05	0,26	-0,0007	0,046	0,319

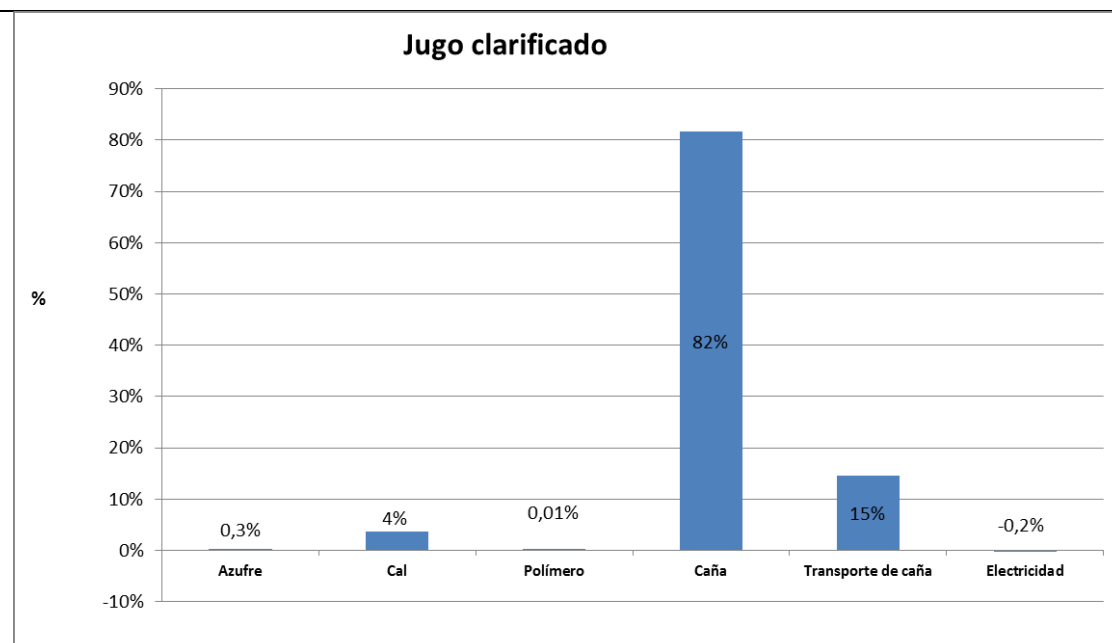


Figura 15. Consumo de energía fósil de la producción de jugo clarificado. Contribución por etapas

El consumo de energía fósil se produce en un 82% por los procesos de producción de caña de azúcar que se han discutido anteriormente, en un 15% por el transporte de la caña y en alrededor de un 4% por las materias primas del proceso. Existe un crédito eléctrico por la producción de electricidad en la planta de cogeneración y que se vierte a la red, que se ha asignado a las distintas etapas del proceso de transformación y que en esta etapa asciende a alrededor de 0,0007 MJ fósil/kg jugo.

Sistema A3. Etapa de producción de azúcar

Esta etapa comprende los procesos de obtención de azúcar a partir del jugo clarificado y azúcar crudo de importación. Como co-producto se obtiene miel que se usará, junto con jugo clarificado, para la obtención de etanol.

Los resultados de consumos de energía fósil de esta etapa, asignados a la producción de azúcar, se muestran en la Tabla 23 y en la Figura 16 expresado en MJ fósil/kg azúcar.

Tabla 23. Consumo de energía fósil de la etapa de producción de azúcar (MJ fósil/kg azúcar).

Jugo clarificado	Distribución	Azúcar crudo	Aditivos	Sal	Electricidad	TOTAL
3,39	0,51	3,79E-05	0,0035	0,014	-0,002	3,92

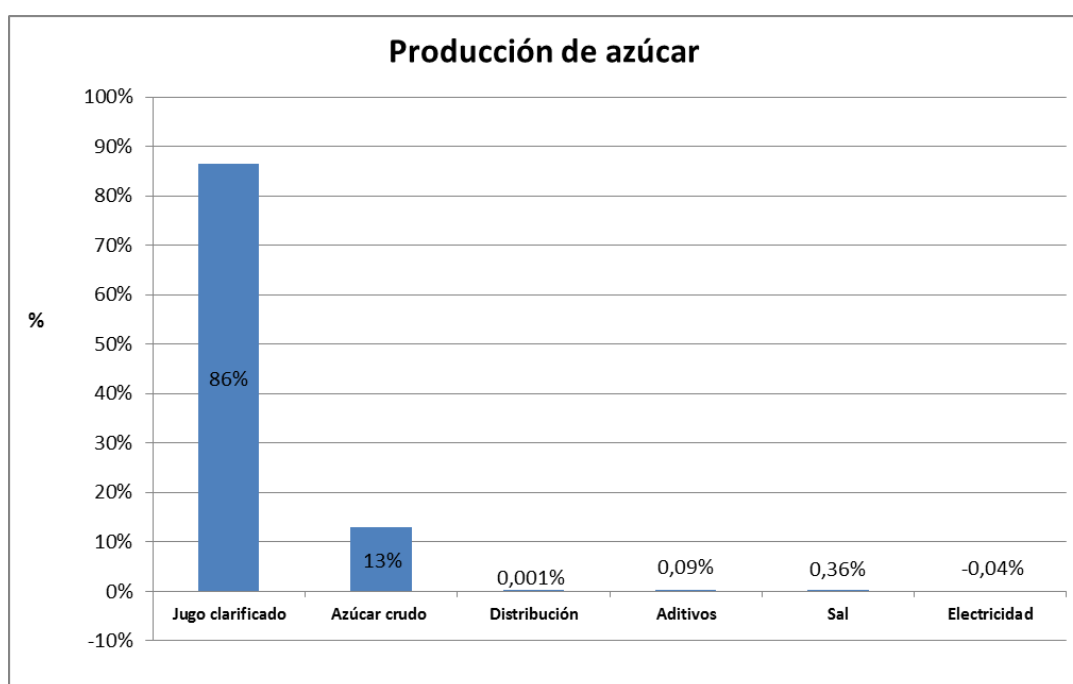


Figura 16. Consumo de energía fósil de la producción de azúcar. Contribución por etapas

El consumo de energía total asciende a 3,92 MJ fósil/kg azúcar y se deben fundamentalmente al proceso de producción de jugo clarificado (86%) discutido anteriormente y al proceso de producción de azúcar crudo (13%). El resto de los procesos apenas contribuyen al consumo de energía fósil. También en este proceso existe un crédito que en esta etapa asciende a alrededor de 0,002MJ fósil/kg azúcar.

Sistema A4. Etapa de producción de etanol

Esta etapa comprende el proceso de obtención de etanol a partir de jugo clarificado y de miel procedente de la fase de obtención de azúcar. Los resultados del consumo de energía fósil de esta fase se muestran en la Tabla 24 y en la Figura 17.

Tabla 24. Consumo de energía fósil de la etapa de producción de etanol (MJ fósil/kg etanol y MJ fósil/MJ etanol).

Unidades	Total	Jugo clarificado	Miel	Aditivos	Distribución (transporte)	Electricidad
MJ fósil /kg	3,81	2,32	1,5	0,009	0,0024	-0,01
MJ fósil /MJ	0,14	0,09	0,06	0,0003	0,0001	-0,0004

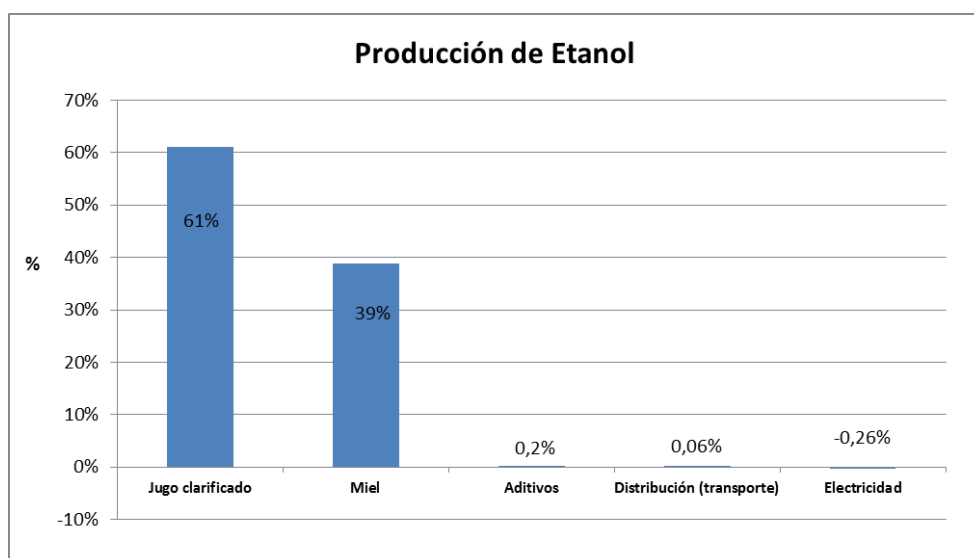


Figura 17. Consumo de energía fósil de la producción de etanol. Contribución por etapas

El consumo de energía fósil de la producción de etanol (incluyendo todas las etapas anteriores) ascienden a 3,81 MJ fósil/kg de etanol lo que equivale a 0,14 MJ fósil /MJ de etanol.

La mayor parte de los consumos energético provienen del jugo clarificado (61%) y de la miel (39%), mientras que el consumo energético del proceso de transformación es muy reducido. Existe así mismo un crédito eléctrico, que en esta etapa corresponde con 0,0004 MJ fósil/MJ etanol.

El ratio de energía fósil, entendido como el ratio entre la energía del producto (en términos del poder calorífico inferior) y la energía fósil necesaria para producir y distribuir el producto se calcula para la producción de etanol en 7,03.

A efectos de comparación, la siguiente tabla muestra los ratios de energía fósil de otros bioetanoles obtenidos de la literatura.

Tabla 25. Ratio de Energía fósil de la producción de bioetanol

	R.E.F.	Fuente
Bioetanol caña México	4,75	C.A. García, et al. 2011.
Bioetanol caña Brasil	8,3	Macedo, et al, 2004
Bioetanol cereales España	2,26	Herrera I. et al, 2012
Bioetanol maiz USA	2,2	Adam J. et al, 2009

SECCIÓN V. INTERPRETACIÓN

La fase de interpretación en un ACV, busca a través del análisis de los resultados tanto de la fase de Inventario y como de la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida, resumir y discutir los aspectos más relevantes que permitan establecer conclusiones acordes con la definición del objetivo y alcance.

Una buena interpretación de los resultados en un ACV, pasa por la identificación de la influencia de las variables que más pueden afectar al resultado final [García, 2012]. En este estudio y siguiendo la normativa relacionada [ISO 2006b], se indica en qué medida los cambios propuestos, influyen en los resultados de los indicadores.

Durante esta fase se identifican las principales cargas ambientales y por tanto los puntos del sistema evaluado que pueden o deben mejorarse así como las conclusiones finales.

Una de los aspectos que posibilita el establecimiento de conclusiones, es el análisis de sensibilidad, técnica que permite a priori, determinar la influencia de hipótesis relacionadas con modificación de los datos de entrada o variaciones en las materias primas utilizadas. En los siguientes apartados, se describe el análisis de sensibilidad seguida en este estudio de ACV, como parte de la fase de interpretación.

1 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se ha llevado a cabo comparando el escenario base, que es el analizado en este estudio, con diferentes escenarios alternativos.

Los cambios propuestos se establecen a partir de nuevos escenarios, los cuales representan variaciones respecto al proceso estudiado, a partir de un escenario de referencia. Las variables elegidas para realizar este análisis de sensibilidad son las siguientes:

- **Modificación de las materias primas.** Dicho escenario asume que no hay participación de azúcar crudo en el proceso de producción de azúcar refinado, y

que se mantiene la producción de etanol anhidro en las cantidades producidas en el escenario de partida.

- **Variación de los criterios de asignación.** En este caso, la suposición se refiere a la modificación de los criterios de asignación. En el escenario de referencia se ha hecho asignación económica para el sistema producción de azúcar/miel, tomando como criterio de asignación la relación de cada uno de los co-productos y el precio de venta. En el escenario desarrollado para análisis de sensibilidad, se utilizan dos (2) criterios de asignación adicionales: asignación másica y asignación energética, siguiendo también en este caso, las recomendaciones tanto de la normativa ISO, como aquellas recomendaciones específicas de la Plataforma Europea de ACV [ISO 2006b; ILCD, 2010].

1.1 Definición de los escenarios analizados

En los siguientes apartados se describen las modificaciones en el sistema de referencia, a partir de las cuales se desarrollan los escenarios que son evaluados en el análisis de sensibilidad. Estos análisis se basan en los inventarios desarrollados para dichos escenarios.

AS1. Modificación de las corrientes de entrada en la producción de azúcar.

De acuerdo con el análisis de resultados, en el sistema producción de azúcar refinado, una de las corrientes con mayor contribución, es el azúcar crudo utilizado como materia prima. Dicha materia prima, es importada desde Brasil y transportada hasta la planta, donde se adiciona al proceso junto con el jugo clarificado para obtener azúcar. Teniendo en cuenta que el análisis de impacto, establece que esta corriente de entrada contribuye de forma importante, se ha supuesto un escenario teórico en el cual se cumplen estas dos condiciones: no se utiliza azúcar crudo importado y se mantiene la producción de etanol. Esto a su vez implica una reducción en la producción de azúcar refinado. La Figura 18 presenta un esquema resumido del nuevo escenario.

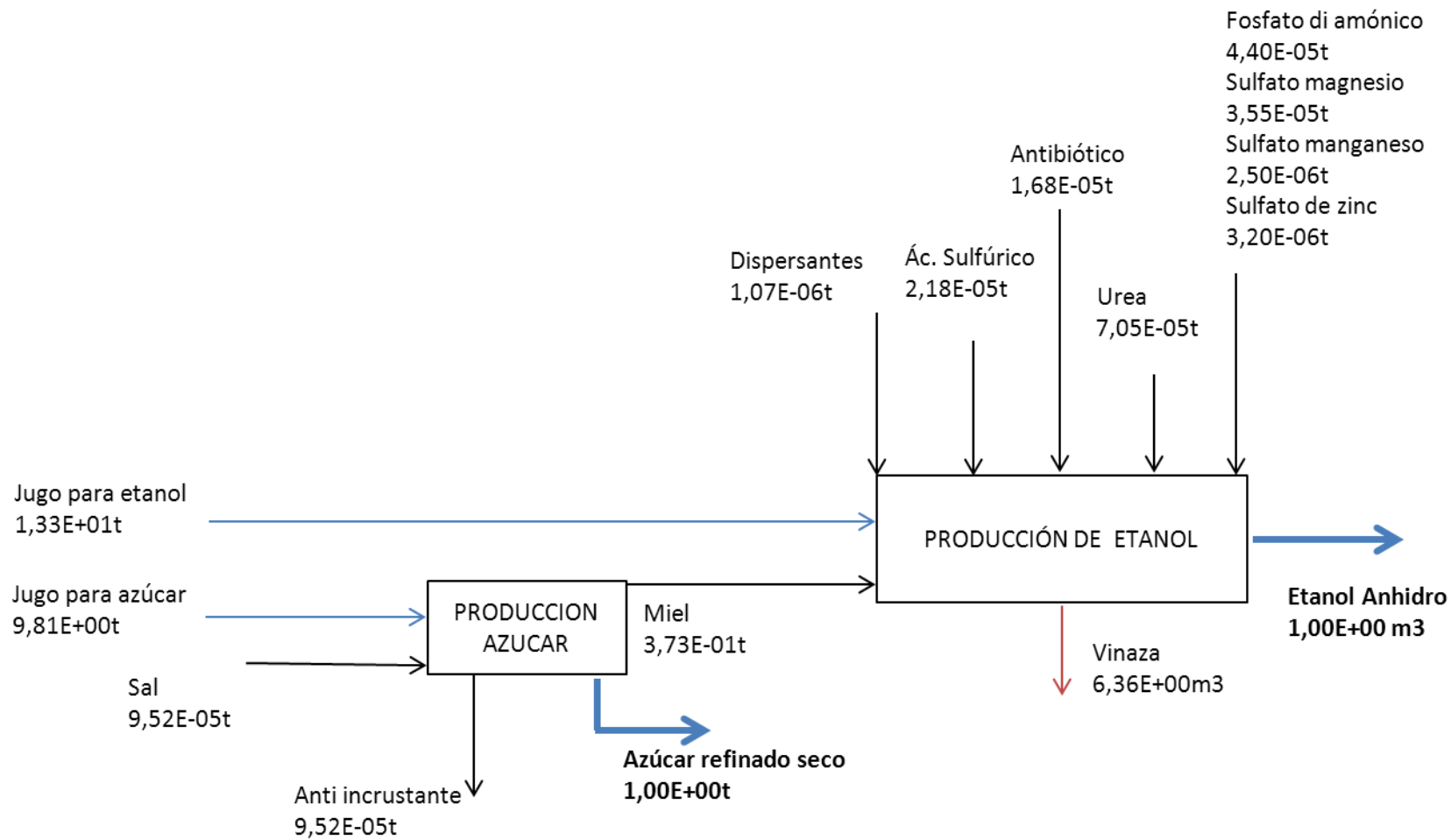


Figura 18. Representación esquemática de los procesos de producción de azúcar y etanol sin azúcar crudo.

Los principales valores del inventario para los sistemas involucrados en este escenario, se ven reflejados en las siguientes tablas.

Tabla 26. Balance de materia para la obtención de un kilogramo de azúcar refinado

Productos (salidas)	Cantidad	Unidad	Asignación (%)
Azúcar refinado seco	1,00	kg	92,92
Miel	0,37	kg	7,08
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad	
Jugo Clarificado	9,81	kg	
Azúcar crudo*	0	kg	
Sal	1,75E-03	kg	
Bolsones	1,00E-03	kg	
Anti incrustante	8,29E-07	kg	
*El escenario parte del supuesto de no utilizar azúcar crudo			

En el desarrollo de este escenario, se ha mantenido el criterio de asignación. En este caso, se ha establecido la asignación económica, a partir de los datos que se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Asignación económica proceso producción de azúcar

Asignación económica				
producto	cantidad producida (kg)	Precio (U\$/kg)	participación	Asignación (%)
Miel	0,37	0,14	0,052	7,08
Azúcar	1	0,68	0,068	92,92
Total	1,37		0,73	100

Tabla 28. Balance de materia para la obtención de un metro cubico de etanol anhidro

Productos* (salidas)	Cantidad	Unidad
Etanol anhidro	1,00	m3
Vinaza	6,36E+00	m3
Materiales (entradas)	Cantidad	Unidad
Jugo clarificado	13,29	t

Miel	0,14	t
Levaduras	1,41E-05	t
Antiespumante	2,62E-06	t
Dispersante	1,07E-06	t
Ácido sulfúrico	2,18E-05	t
Antibiótico	1,68E-08	t
Soda	2,94E-06	t
Urea	7,05E-05	t
Fosfato di amónico	4,40E-05	t
Sulfato magnesio	3,55E-05	t
Sulfato manganeso	2,50E-06	t
Sulfato de zinc	3,20E-06	t
* Sin asignación, los residuos se transportan para su uso		

AS2. Variación de los criterios de asignación

Tal como se ha descrito en el apartado de análisis de inventario, en la producción de azúcar y miel como co-producto, se ha considerado el criterio económico, como criterio de asignación. Sin embargo, existen otros criterios que pueden ser utilizados y que generan diferencias en los resultados de la evaluación de impactos. Para identificar la magnitud de estas diferencias, se han desarrollado dos (2) escenarios del proceso en estudio, aplicando a la etapa de producción de azúcar una asignación másica y una energética respectivamente.

Los datos de la asignación para cada uno de los criterios utilizados se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Criterios de asignación etapa producción de azúcar escenario de referencia

Base		Asignación económica			Asignación energética AS2 Energética			Asignación másica AS2 másica		
producto	cantidad (kg/kgcaña)	Precio (U\$/kg)	Participación	Asignación (%)	PCI (MJ/kg)	Participación	Asignación (%)	Materia seca (kg/kgtotal)	Participación	Asignación (%)
Miel	8,43E-02	0,14	0,012	24,16	11,20	0,945	49,96	730	0,062	53,05
Azúcar	5,45E-02	0,68	0,037	75,84	17,36	0,946	50,04	1000	0,054	46,95
Total				100			100			100

1.2 Resultados del análisis de sensibilidad

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los distintos escenarios del análisis de sensibilidad realizado en cuanto a los impactos en las emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de energía fósil.

Gases de efecto invernadero

Los distintos análisis de sensibilidad realizados producen unos efectos notables en los resultados de emisiones de GEI de las etapas de producción de azúcar y de producción de etanol como se puede observar en la Figura 19 y en la Figura 20 .

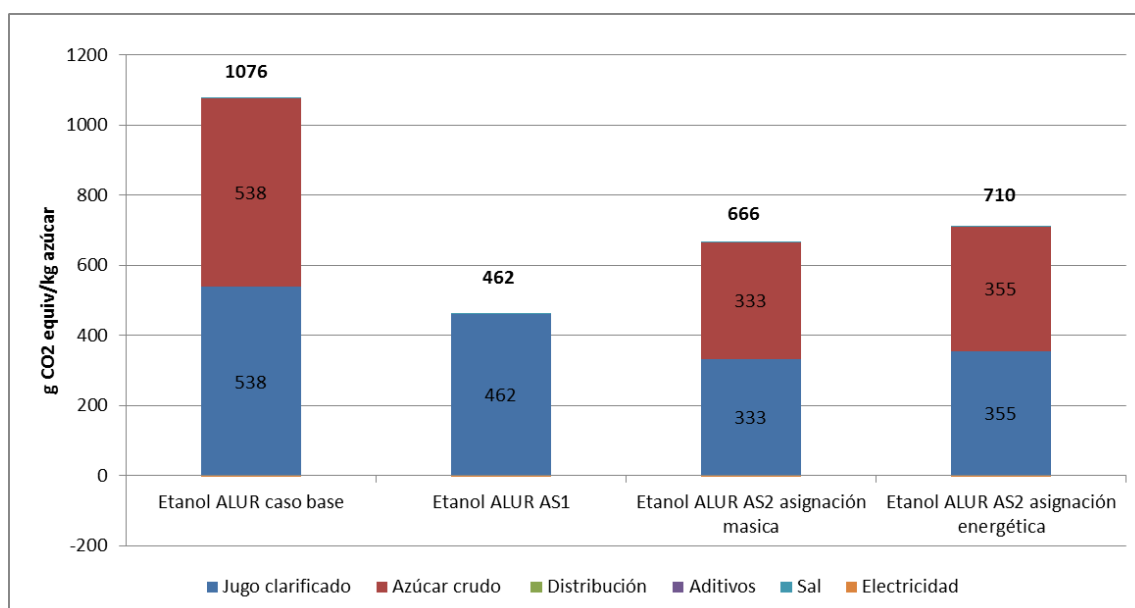


Figura 19. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de azúcar expresados en g CO2equiv/kg azúcar en los distintos escenarios analizados.

La utilización de sólo jugo clarificado para la producción de azúcar tiene como consecuencia una reducción muy importante de las cargas del proceso de producción de azúcar por kg de azúcar producido, al no incorporar las cargas de la producción y transporte del azúcar crudo. Este proceso incluye solamente las cargas que arrastra la producción del jugo clarificado.

En cuanto a la utilización de otros criterios de asignación de cargas, puede observarse cómo la asignación utilizando un criterio másico o energético, al asignar un mayor porcentaje a la miel, reduce las cargas de la producción de azúcar de forma notable en ambos casos.

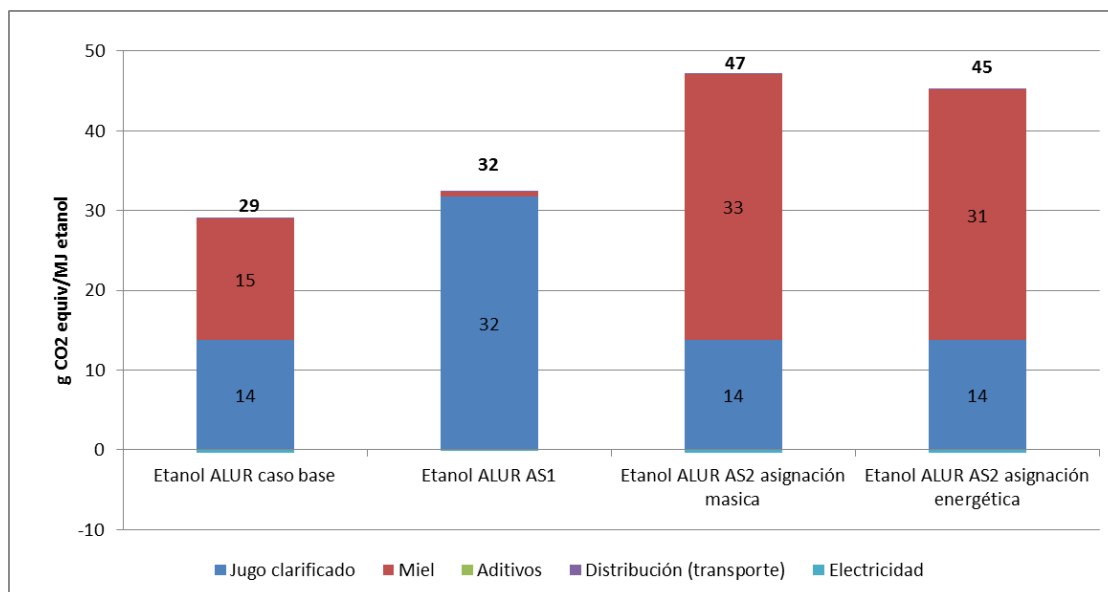


Figura 20. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de etanol expresados en g CO₂equiv/kg azúcar en los distintos escenarios analizados.

En el caso de la producción de etanol, el escenario AS1 conduce a unas mayores emisiones por MJ de etanol producido. Esto se explica por el cambio de proporciones entre el jugo y la miel en el proceso. En el escenario AS1 se usa mucho más jugo clarificado, que arrastra todas las cargas de la producción de caña, y mucha menos miel, que en este escenario tiene menos cargas ambientales al no usarse azúcar crudo. En cuanto a los escenarios AS2, el uso de otros métodos de asignación que cargan más a la miel que el método de asignación por criterio económico, conduce a que gran parte de los impactos que en el escenario de referencia se iban al azúcar, vayan ahora a la miel y por tanto al etanol producido. Las diferencias son muy importantes y podrán condicionar el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad del etanol producido. Los ahorros de emisiones producidos en los escenarios AS2 son del 44% y 47%, por debajo del límite del 50% establecido por la DER a partir de 2017.

Al comparar los resultados obtenidos con el valor por defecto propuesto en la DER, como se puede observar en la Figura 21, vemos cómo en el escenario AS1 las emisiones de proceso se han reducido y se acercan más a las propuestas en la DER. Recordemos que esto es debido a que las emisiones correspondientes al azúcar crudo que antes estaban en la parte de emisiones del proceso (Ep), ahora no existen.

Los escenarios AS2 tienen emisiones de proceso muy importantes, también debido al uso del azúcar crudo y a que la mayor parte de las emisiones de este azúcar crudo provienen en realidad de la caña de Brasil.

Como ya se mencionó en la sección de resultados, es necesario tener en cuenta que las emisiones del transporte calculadas en este estudio, tanto en el escenario de referencia como en los de sensibilidad, sólo tienen en cuenta un transporte nacional y no el transporte hasta Europa como está considerado en el valor por defecto presente en la directiva.

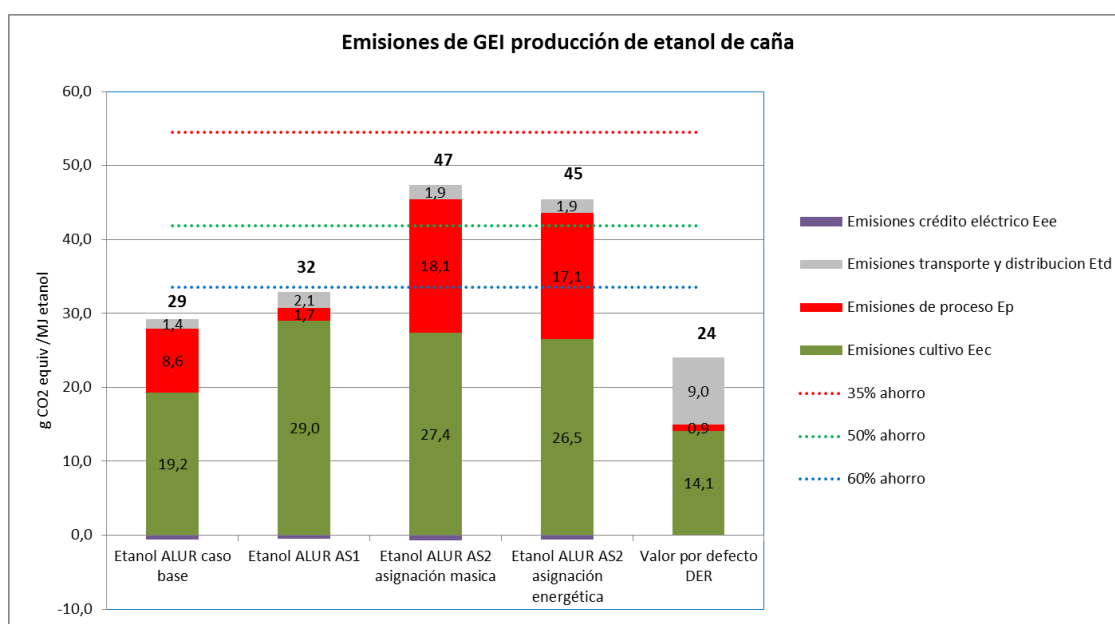


Figura 21. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de etanol expresados en g CO2equiv/kg azúcar en los distintos escenarios analizados.

Balances energéticos

Los resultados de consumos de energía fósil en los procesos de producción de azúcar y etanol de los escenarios de sensibilidad realizados se muestran en las Figura 22 y Figura 23.

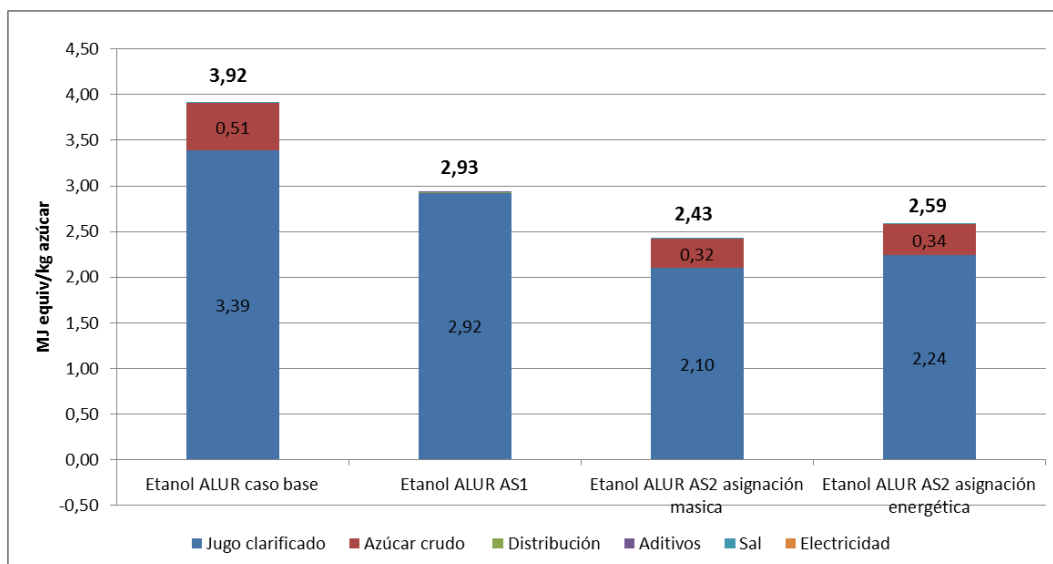


Figura 22. Consumo energía fósil de la producción de azúcar expresados en MJ/kg azúcar en los distintos escenarios analizados.

En el caso del escenario AS1, se mejora la eficiencia energética del proceso al no incorporarse las cargas de la producción de azúcar crudo al proceso. El efecto es menor que en el caso de las emisiones de GEI puesto que el proceso de obtención de azúcar crudo tiene emisiones de GEI que no son de origen energético (fundamentalmente emisiones de las etapas agrícolas).

Los escenarios AS2 mejoran asimismo el balance energético del proceso de producción de azúcar crudo al asignar una mayor proporción de las cargas a la miel y menos al azúcar.

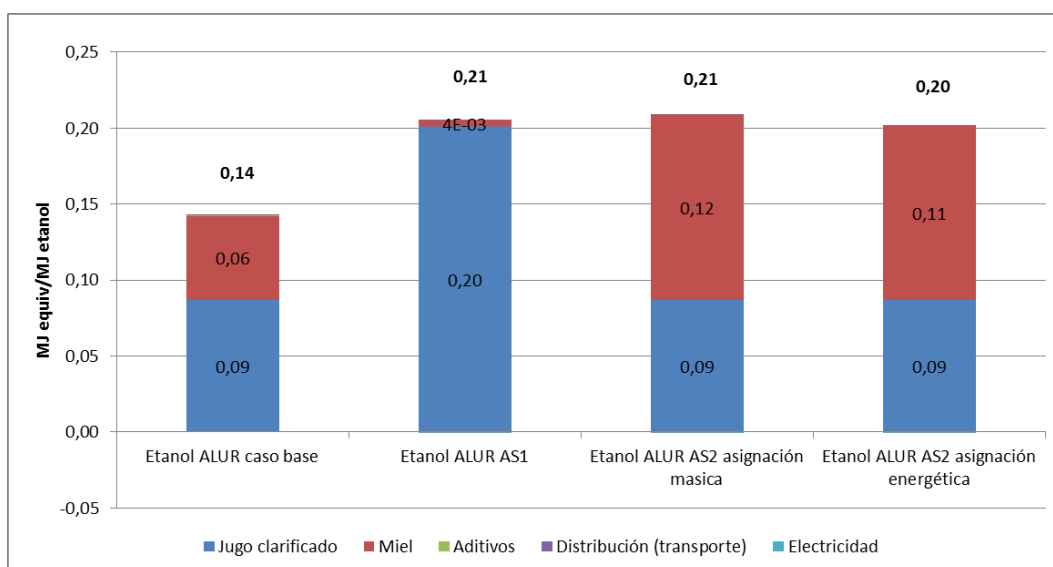


Figura 23. Consumo energía fósil de la producción de etanol expresados en MJ/kg azúcar en los distintos escenarios analizados.

En el caso de la producción de etanol, el escenario AS1 conduce a un mayor consumo energético por MJ de etanol producido. Esto se explica por el cambio de proporciones entre el jugo y la miel en el proceso. En el escenario AS1 se usa mucho más jugo clarificado, que arrastra todas las cargas de la producción de caña, y mucha menos miel, que en este escenario tiene menos cargas ambientales al no usarse azúcar crudo. En cuanto a los escenarios AS2, el uso de otros métodos de asignación que asignan más cargas a la miel, comparado con el método de asignación por criterio económico, conduce a que gran parte de los impactos que en el escenario de referencia iban al azúcar, vayan ahora a la miel y por tanto al etanol producido.

Los balances de energía fósil de la producción de etanol en los escenarios analizados se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Ratio de energía fósil de la producción de etanol en los distintos escenarios analizados.

	Ratio de energía fósil
Etanol ALUR caso base	7,01
Etanol ALUR AS1	4,87
Etanol ALUR AS2 asignación másica	4,80
Etanol ALUR AS2 asignación energética	4,97

2 Áreas de mejora

Una de los aspectos destacables de la etapa de Interpretación en un Análisis de Ciclo de Vida, es la definición de las áreas de mejora. Estas áreas de mejora, están relacionadas con aquellos aspectos que al ser modificados en el proceso estudiado, permiten reducir o eliminar los impactos ambientales identificados en el análisis. A continuación se van a proponer algunas opciones para reducir los impactos de los procesos analizados.

Etapa de producción de caña

En la etapa de producción de la caña de azúcar se han observado importantes diferencias en las entradas (inputs) del cultivo respecto de las consideradas para el cálculo del valor por defecto de la DER que explican las diferencias observadas en los resultados tal y como se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31. Comparación de las entradas (Inputs) del cultivo de caña y los valores por defecto (DER)

		Cultivo caña Uruguay	Valores por defecto
Rendimiento	t	60,0	68,7
Recursos naturales			
Agua	m3	383,7	-
Materiales			
Diesel para labores	kg	55,87	45,6
Diesel para riego	kg	21,84	-
Diesel para cosecha mecanizada	kg	0,55	-
GLP para quema de hoja	kg	1,22	-
Fertilizante P2O5	kg	27,6	28,2
Fertilizante nitrogenado	kg	142,2	62,5
Fertilizante K2O	kg	96,2	74,0
Fitosanitarios	kg	16,7	2,0
Energía			
Electricidad de la red para riego	kWh	956,0	-
Emisiones directas al aire			
N2O por fertilizantes	kg	3,99	2,5

En primer lugar destaca una menor productividad de caña por superficie sembrada, comparado con el escenario de referencia lo que estaría grabando todos los resultados expresados por kg de caña o por MJ final de bioetanol. También se observa un mayor consumo de combustible, derivado de la utilización de una gran cantidad de combustible en las labores y en el riego del cultivo, así como un consumo de electricidad para el riego. El uso de esta energía (combustible y electricidad) origina emisiones de gases de efecto invernadero e incrementa el consumo de energía fósil.

Finalmente destaca la utilización de mayores cantidades de fertilizantes nitrogenados, lo que aumenta sensiblemente no sólo las emisiones de GEI provenientes de la fabricación de estos productos y de las emisiones directas de óxido nitroso tras la aplicación en campo, sino también, el consumo de energía fósil atribuible a los procesos de fabricación de estos fertilizantes.

Por tanto se proponen, como medidas para reducir los impactos, **reducir la fertilización** nitrogenada al máximo posible y **optimizar el consumo de energía en el cultivo incluyendo el riego**.

Etapa de extracción y producción de jugo clarificado

En esta etapa la contribución mayoritaria a los impactos la tiene el cultivo de la caña seguido de lejos por el transporte de la caña y por el uso de cal en el proceso. El consumo de energía del proceso, al ser suministrado por una cogeneración que utiliza solamente bagazo y otras biomásas, no contribuye a las emisiones de GEI ni al consumo de energía fósil.

Cualquier medida que reduzca los impactos de la etapa de cultivo, como los propuestos anteriormente, va a mejorar los resultados de esta etapa.

Por otra parte, las medidas orientadas a **la mejora de la eficiencia** de esta etapa, es decir, que aumente la cantidad de jugo clarificado por tonelada de caña procesada mejorará los resultados de este proceso, siempre que no se añadieran consumos energéticos o de materias primas adicionales, en cuyo caso habría que analizar los resultados para decidir la conveniencia de la medida aplicada.

El transporte de la caña hasta el ingenio produce impactos notables tanto en emisiones como en consumos energéticos. El **uso de vehículos más eficientes** podría por tanto mejorar el balance de GEI y energía de esta etapa.

Etapa de producción de azúcar

En esta etapa los impactos provienen del jugo clarificado, que a su vez arrastra los impactos de las etapas discutidas anteriormente, y del azúcar crudo utilizado. El resto de materias primas apenas contribuyen en los resultados. Como en el caso de la producción de jugo clarificado, también en esta etapa, el consumo de energía del proceso, al ser suministrado por una cogeneración que utiliza solamente bagazo y otras biomásas, no contribuye a las emisiones de GEI ni al consumo de energía fósil.

Del análisis de sensibilidad realizado que modifica la cantidad de jugo clarificado que se destina a la producción de azúcar y la cantidad que va a la producción de etanol, se ha concluido que el uso de azúcar crudo introduce cargas muy importantes en este proceso que aumentan sus emisiones. La producción de azúcar crudo no se ha modelizado en este estudio de ACV ya que es un producto que se importa de Brasil. Se ha tomado un proceso de la base de datos de Ecoinvent para modelizar la producción de este azúcar crudo en Brasil. Este proceso considera importantes emisiones de cambio de uso del suelo que son las que impactando de forma significativa en nuestro

proceso. ***Uso de un azúcar crudo con menos cargas asociadas*** que el utilizado en este estudio mejoraría el balance de GEI y energía en esta etapa del proceso.

Etapa de producción de etanol

En esta etapa las cargas tanto de emisiones como de consumo de energía fósil vienen determinadas por el jugo clarificado y la miel. Las cargas de las materias primas y consumos energéticos del proceso son irrelevantes. Por tanto, todo lo que se haga para reducir las cargas ambientales de las etapas fundamentalmente de cultivo de la caña van a redundar en una mejora de los resultados de la producción de etanol. A partir del análisis de sensibilidad, se ha determinado que el no usar azúcar crudo para la producción de azúcar, no mejora necesariamente el resultado ambiental de la producción de etanol.

SECCIÓN V. CONCLUSIONES

El presente estudio de Análisis de Ciclo de Vida recoge los efectos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (huella de carbono) y el balance energético de la cadena de transformación de caña de azúcar, para la producción de azúcar, etanol y bioelectricidad en la planta de Bella Unión de la empresa ALUR.

Bajo las limitaciones y supuestos descritos a lo largo del estudio, la producción de etanol en la planta de Bella Unión genera unas emisiones de gases de efecto invernadero de 28,62 gCO₂equiv/MJ etanol producido en la planta. Esto supone un ahorro de un 65,85% respecto del uso de un combustible fósil de referencia cuyas emisiones se estiman en 83,8 g gCO₂equiv/MJ.

Este biocarburante por tanto, cumpliría los criterios de sostenibilidad especificados en la Directiva 28/2009 EC desde el punto de vista de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, para desarrollar un cálculo riguroso de tales ahorros, sería necesario añadir las emisiones del transporte del biocarburante hasta Europa y seguir estrictamente la metodología propuesta en dicha Directiva, en especial en cuanto a los criterios de asignación.

El consumo de energía fósil en la etapa de producción de etanol, es de 0,14 MJ energía fósil/MJ etanol, lo que supone un ratio de energía fósil de 7,03. Es decir, se producen 7,03 MJ de energía en forma de etanol (medidos con su poder calorífico inferior) por cada MJ de energía fósil empleado en la cadena de producción.

Respecto al análisis de sensibilidad realizado, los resultados muestran una gran dependencia a cambios tanto del proceso de producción (AS1), en cuanto al uso o no de azúcar crudo en la etapa de producción de azúcar, como de las consideraciones metodológicas en cuanto al método de asignación (AS2).

REFERENCIAS

- Adam J. Liska, Haishun S. Yang, Virgil R. Bremer, Terry J. Klopfenstein, Daniel T. Walters, Galen E. Erickson. Improvements in life cycle energy efficiency and greenhouse gas emissions of corn-ethanol. *Journal of Industrial Ecology*, 13 (1) (February 2009), pp. 58–74
- BNDES, 2008. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. BNDES. B615b. Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible. Coordinación BNDES y CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 320 p. ISBN: 978-85-87545-26-8.
- Brentrup et al. 2001. F. Brentrup, J. Küsters, H. Kuhlmann, J. Lammel. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *Eur J Agron*, 14 (3) (2001), pp. 221–233
- BUWAL 2012. BUWAL 250 Library™. Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr 250 Part 1 and 2. Second edition 2012.
- CE 1998b. DIRECTIVA 98/70/CE DIRECTIVA 98/70/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de octubre de 1998 relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE del Consejo Económico Europeo
- CE 2009a. DIRECTIVA 2009/28/CE DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- CE 2009b. DIRECTIVA 2009/30/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con

las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE

- CE, 1998a. DIRECTIVA 98/69/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de octubre de 1998 relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva 70/220/CEE del Consejo Económico Europeo
 - CE, 2012. COM(2012) 595 final Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por la que se modifican la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables
 - EC, 2012. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. February 2012. EUR 25167. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2012.
 - Evaluación medioambiental de la mejora de la calidad de los combustibles para el transporte. Ministerio de Medio Ambiente.
 - Frischknecht et al, 2004. Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hirschier R., Hellweg S., Humbert S., Margni M., Nemecek T. and Spielmann M. (2004) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004.
 - Frischknecht. R, et al. Frischknecht R., Jungbluth N., et.al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Dübendorf, CH, www.ecoinvent.ch. 2003.
- FTS, 2011. Transporte sostenible para américa latina: situación actual y perspectivas. Documento de respaldo foro de transporte sostenible (FTS) de américa latina. Junio

- García, C.A., A. Fuentes, A. Hennecke, E. Riegelhaupt, F. Manzini, O. Masera. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Journal of Applied Energy* 88, 2088-2097. 2011
- Gil et al, 2013. Gil, M. P., Moya, A. M. C., & Domínguez, E. R. (2013). Life cycle assessment of the cogeneration processes in the Cuban sugar industry. *Journal of Cleaner Production*, 41, 222-231.
- Herrera et al, 2012. Herrera, I; Lechón, Y; Lago, C; Sáenz R. "Actualización de los Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte: Bioetanol y Biodiesel" Informe Técnico. CIEMAT. Madrid. Noviembre 2012
- Herrera et al, 2011. Herrera, I., Lago, C., Lechón, Y., Sáez, R. ACV de cultivos energéticos en España, como fuente de biomasa para calor y electricidad. Colección Documentos CIEMAT, ISBN: 978-84-7834-656-1, 2011, Madrid (Spain).
- Herrera I., Lago C., Lechón Y., Sáez R. Análisis de Ciclo de Vida de combustibles para el transporte: Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol y del biodiesel. Informe de seguimiento del acuerdo para encomienda de gestión CIEMAT-DGCEA. Noviembre, 2012
- Houghton et al, 1990. Houghton, J.T., G.T. Jenkins and J.J. Ephraums. (eds.). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ILCD Handbook, 2010. ILCD, 2010. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and Action Steps. First edition March 2010. EUR 24378 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>
- ISO 2006a, ISO 14040. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.

- ISO 2006b ISO 14044. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.
- IVACE 2014. Instituto valenciano de competitividad Empresarial. Oportunidades en países de américa. Valencia, España 2014
- Kiatkittipong et al, 2009. W. Kiatkittipong, P. Wongsuchoto, P. Pavasant Life cycle assessment of bagasse waste management options. Waste Management, 29 (2009), pp. 1628–1633
- Lechón et al, 2005. Y. LECHÓN; H. CABAL; C. LAGO; CRISTINA DE LA RÚA; R. SÁEZ; M. FERNANDEZ. Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Etanol de Cereales y de la Gasolina. Energía y Cambio Climático. pp. 1 - 120. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, 2005. ISBN 84-8320-312-X
- Lechón et al, 2006. Y. LECHÓN; H. CABAL; C. LAGO; CRISTINA DE LA RÚA; L. IZQUIERDO; R. SÁEZ; M. FERNÁNDEZ. Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Biodiésel del Diésel. Energía y Cambio Climático. pp. 1 - 139. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, 2006. ISBN 84-8320-376-6
- Lechón et al, 2011. Lechón, Y., Herrera, I., Lago, C. Sánchez, J., Romero, L. Evaluación del balance de gases de efecto invernadero en la producción de biocarburantes. Documento de apoyo al estudio técnico PER 2011-2020. Instituto de diversificación y ahorro energético. 2011, Madrid (Spain).
- Ley Nº 18.195. Ley Nº 18.195. AGROCOMBUSTIBLES SE REGULA SU FOMENTO Y REGULARIZACIÓN DE SU PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y UTILIZACIÓN D.O. 28 nov/007 - Nº 27373. 2007
- Macedo, I.C., Leal, M.R.L.V., da Silva, J.E.A.R., 2004. Assessment of Greenhouse Gas Emissions in the Production and Use of Fuel Ethanol in Brazil. Secretariat of the Environment of the State of Saõ Paulo, Brazil Available at [/http://www.unica.com.br/i_pages/files/pdf_ingles.pdfS](http://www.unica.com.br/i_pages/files/pdf_ingles.pdfS).

- Murrú et al, 2012. A. Murrú; E. Hermin; F. Kuster. Estrategias de reconversión del sector azucarero en Uruguay: energías alternativas.
- Nemececk et al, 2007. Nemececk, T. & Kagi, T. Life cycle inventories of Swiss and European Agriculture production Systems. Final Report. Ecoinvent V2.0 No 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Zurich and Dübendorf, CH. 2007. (Actualizado a 2012)
- Perroni, 2013. Perroni A. Energía Sustentable para todos. Análisis rápido de situación e identificación de brechas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA). Uruguay 2013
- PNUMA 2012. GEO-5. Quinto reporte de evaluación Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. 2012
- RFA, 2008. RFA – Renewable Fuels Association. Annual Industry Outlook 2008. Renewable Fuels Association, 2008. <http://www.ethanolrfa.org>.
- SNRCC, 2010. Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y la Variabilidad. Plan nacional de respuesta al cambio climático, 2010. Diagnóstico y lineamientos estratégicos 2012

Links

<http://www.pre.nl/simapro>

www.ecoinven.ch

http://www.eumed.net/libros-gratis/2011f/1120/analisis_ciclo_de_vida_cuba.html

<http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794->

[12372013000100009&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372013000100009&script=sci_arttext)

<http://www.monografias.com/trabajos12/mnagraz/mnagraz.shtml>

<http://www.agri-footprint.com/about/>

<http://www.ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/BUWAL>