

Huella de carbono y balance energético del etanol de maíz producido en mini destilerías del centro de Argentina

Resumen

Se analiza la huella de carbono y la huella energética del etanol anhidro de maíz, producido en destilerías de pequeña escala (minidest), en campos de productores agrupados en la Cámara de Industrializadores de Granos y Productores de Biocombustibles en Origen (CIGBO), con sede en Córdoba, Argentina. La huella de carbono representa la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por un producto, mientras que la huella energética comprende el total de energía consumida en la producción de un bien.

Se evaluó un establecimiento representativo ubicado en Buena Esperanza, San Luis, que produce su propio maíz para la obtención del etanol, y que aprovecha los subproductos (burlanda y vinaza) para la producción de carne bovina, en un feedlot contiguo. En este modelo se recupera el estiércol del feedlot que, junto con silo de maíz de producción propia, son destinados a un biodigestor que genera energía eléctrica y calor, lo que permite abastecer las necesidades de la minidest y vender energía eléctrica a la red. A su vez el digestato, un subproducto del biodigestor, se usa como reemplazo del fertilizante a campo.

La unidad funcional es 1 megajoule (MJ) de etanol, y el alcance abarca desde la cuna hasta la puerta de la destilería, en la campaña 2018/2019. Se analizaron diferentes métodos de asignación y se destaca la asignación por contenido energético. Los resultados indican una huella de carbono de 19,9 g CO₂ equivalente/MJ y un balance energético de 0,23 MJ de energía invertida por MJ de etanol producido. La huella de carbono significa una reducción del 76% con respecto al combustible fósil de referencia de la Directiva 2009/28 de la Unión Europea.

Se detectaron hotspots ambientales en la producción primaria y en destilería, y se realizaron análisis de sensibilidad.

Abstract

Carbon and Energy Footprints of Corn-based Ethanol Produced in Small-Scale Distilleries in Central Argentina

This study assesses the carbon footprint and the energy footprint of anhydrous corn ethanol, produced in small-scale distilleries (minidest) of farmers grouped in the Chamber of Grain Industrialists and Biofuel Producers in Origin (CIGBO), based in Cordoba, Argentina. The carbon footprint represents all greenhouse gases emitted, while the energy footprint comprises the total energy consumed in the production of ethanol.

A representative plant located in Buena Esperanza, San Luis was evaluated, which produces its own corn for the production of ethanol, and which uses the by-products (burlanda and vinasse) for beef production, in an attached feedlot. In this model the manure recovered from the feedlot, together with corn silo of own production, are used in a bio digester to generate electricity and heat, which allows to supply the needs of the minidest and to sell electricity to the grid. In turn, the digestate, a byproduct of the biodigester, is used as a replacement for field fertilizer.

The functional unit is 1 megajoule (MJ) of ethanol, and the scope covers from the cradle to the door of the distillery, in the 2018/2019 campaign. Different allocation methods were analyzed and the allocation method by energy content was reported. The results indicate a carbon footprint of 19.9 g CO₂ equivalent / MJ and an energy balance of 0.23 MJ of energy invested per MJ of ethanol produced. The carbon footprint means a 76% reduction with respect to reference fossil fuel of the Directive 2009/28 of the European Union.

Environmental hotspots were detected in primary production and distillery, and sensitivity analysis were performed.

Índice de contenidos

1	OBJETIVOS	6
2	ALCANCE	6
3	MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI	7
3.1	PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	8
3.2	MINI DESTILERÍA	10
3.3	TRANSPORTES	10
3.4	BIODIGESTOR	11
4	ASIGNACIÓN DE CARGAS AMBIENTALES	12
4.1	ASIGNACIÓN EN MINI DESTILERÍA	12
4.2	OTROS MÉTODOS DE ASIGNACIÓN	13
4.3	EXPANSIÓN DEL SISTEMA	13
4.4	ASIGNACIÓN EN EL BIODIGESTOR	14
5	PERFILES UNITARIOS	14
6	ESCENARIOS PLANTEADOS	15
7	RESULTADOS	15
7.1	RESULTADOS AMPLIADOS	15
7.2	RESULTADOS RESUMIDOS	17
7.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
7.4	RESULTADOS POR ETAPAS	20
7.5	REDUCCIONES ALCANZADAS	21
8	MEJORAS SUGERIDAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES	21
9	CONCLUSIONES	22
10	REFERENCIAS	23
11	ANEXO 1	24

Introducción

La huella de carbono representa la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto (ISO, 2013). Es la medida de uno de los impactos que provocan las actividades del hombre sobre el ambiente. Las emisiones de GEI contribuyen al cambio climático mediante la aceleración del calentamiento global (ISO, 2006).

La huella energética comprende el total de energía directa e indirecta consumida en la producción de un bien o servicio, ya sea renovable o no renovable, incluyendo fuentes de energía fósiles y biogénicas. Se tienen en cuenta no solo las actividades principales del proceso productivo que consumen energía, sino también los consumos originados en la extracción e industrialización de materias primas e insumos que se usan en los procesos.

En el mundo se observa que los consumidores exigen, de forma creciente, información sobre el impacto ambiental de los productos que adquieren para poder realizar una compra responsable (IBM, 2020). A su vez, son cada vez más las empresas y gobiernos que solicitan una valoración de las emisiones producidas por la actividad empresarial para la compra y contratación.

En dicho contexto, por iniciativa de la Cámara de Industrializadores de Granos y productores de Biocombustible en Origen (CIGBO, www.cigbo.com.ar), se calculó la huella de carbono y energética del etanol anhidro, producido en una destilería ubicada en el mismo campo donde se produce la materia prima, que es el grano de maíz, denominada "Minidest".

Además de la producción agrícola y la destilería, en el predio también se encuentran un "feedlot" para producción intensiva de ganado bovino y un biodigestor, que genera energía eléctrica y térmica, como resultado del procesamiento de distintos productos y subproductos generados en el campo, la destilería y el feedlot.

En el presente informe se detallan la metodología empleada y los resultados obtenidos del estudio, que abarca desde la generación de la materia prima en el campo, hasta la obtención del etanol anhidro, como producto final, con inclusión de los transportes que conectan las etapas y que se utilizan para trasladar insumos.

El punto de partida para los cálculos y resultados presentados en este informe fue la información provista por los dueños de los procesos, "Grupo Tigonbú" para información de operaciones agrícolas y feedlot y por personal de la firma "Porta" para información del funcionamiento de la Minidest. Adicionalmente se contó con información provista por la empresa responsable de la instalación del biodigestor, Tecnoled. Por último se agregaron consultas a fuentes de información secundaria y el uso de perfiles ambientales unitarios extraídos de bases de datos internacionales, disponibles por INTA e INTI (EcoInvent, 2019).

Este informe se complementa con un archivo en formato MS Excel que contiene toda la información obtenida, los inventarios que fueron armados, las definiciones tomadas, los cálculos y los resultados obtenidos.

Contexto. La industria de los biocombustibles en Argentina.

La industria de los biocombustibles ha evolucionado de manera favorable en los últimos años, principalmente durante la década 2008 - 2017 cuando la producción anual de esta clase de combustibles se acercó a los tres millones de toneladas de biodiesel y superó el millón de metros cúbicos (m³) de bioetanol. En particular, el período de expansión encuentra sustento en el impulso que significó la Ley de Regulación y Promoción para la Producción y el Uso Sustentable de Biocombustibles (N° 26.093) del año 2006, norma que habilitó la producción doméstica y en escaso tiempo ubicó a la Argentina como uno de los principales exponentes a nivel global; los incentivos que ofrecían la coyuntura internacional, principalmente en respuesta a una demanda cada vez más exigente en materia de cuidado medioambiental y a los cortes oficiales establecidos para mezclas con combustibles de origen fósil (estipulados en 10% para el biodiesel y 12% para el bioetanol); y, finalmente, por las políticas y programas internos que buscan fomentar el desarrollo de las energías renovables (EE.RR.) con el objetivo de transformar gradualmente la matriz energética local hacia un diseño que contemple una mayor proporción de fuentes de generación basadas en EE.RR. (es decir, solares, eólicas, hídricas y bioenergéticas, entre otras) (Harnan & Cano, 2019).

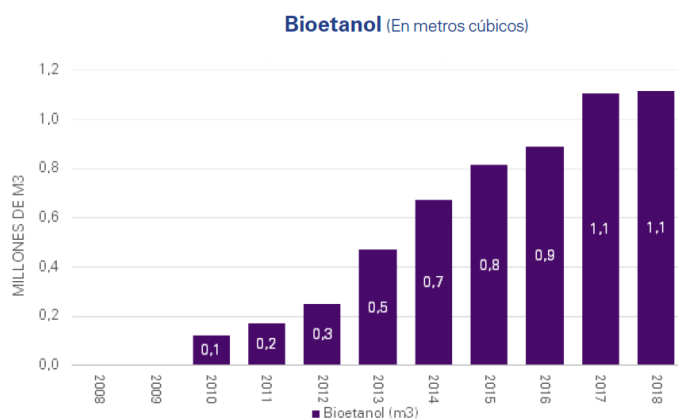


Figura 1: Producción de bioetanol en Argentina. Fuente: (Harnan & Cano, 2019)

La producción de bioetanol, que no se ve afectada por las restricciones externas y está fuertemente ligada al mercado interno por la regulación establecida sobre cortes con combustibles fósiles (actualmente en un 12%), observó importantes incrementos en su desempeño en igual período llegando a superar el millón de metros cúbicos en 2017 y 2018. Siguiendo el patrón que la actividad económica mostró en 2018 –con una caída en el PBI del 2,6% interanual–, las cifras del sector comenzaron a deteriorarse. En efecto, si bien la producción de bioetanol alcanzó una cifra levemente superior a los 1,1 millones de m³ para fines de 2018 (un monto que resulta suficiente para cubrir la cuota oficial de mezclas y una demanda doméstica de combustibles en continuo crecimiento), refleja al mismo tiempo una notoria desaceleración en el crecimiento que venía observándose en años previos. De hecho, según las estadísticas de la Secretaría de Energía de la Nación, en enero de 2019 se elaboraron 70.320 m³ de bioetanol (56% a base de maíz), valor que representa una caída del 16% respecto a igual mes de 2018 (Harnan & Cano, 2019).

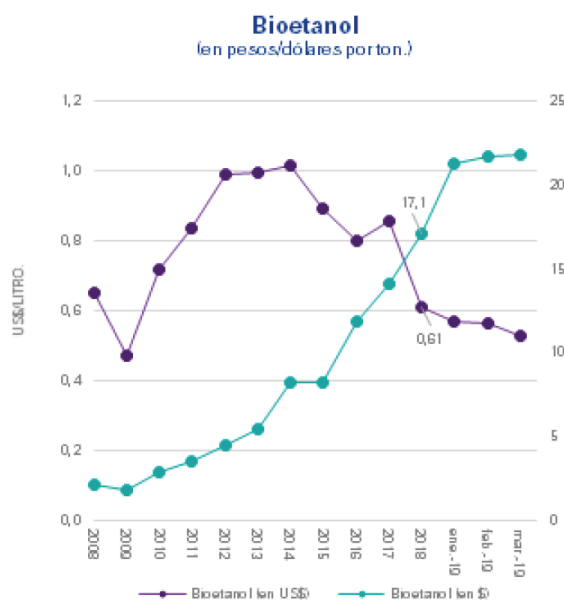


Figura 2: Precios de bioetanol en Argentina. Fuente: (Harnan & Cano, 2019)

Como puede apreciarse en la Figura 2, la evolución de los precios de los biocombustibles expresados en moneda local no pudo contrarrestar en el período analizado el impacto de la devaluación cambiaria (es decir, del tipo de cambio ARS/USD), tal y como queda reflejado en la tendencia observada (a la baja) cuando se deflactan los precios por el tipo de cambio frente al dólar.

Al momento de confeccionar este informe, la Secretaría de Energía no tiene publicados los precios de etanol para 2020, siendo los últimos informados los de Diciembre 2019, con un valor de 29,808 pesos por litro (Secretaría de Energía, 2019).

La producción de biocombustibles representa un nuevo uso de materias primas agrícolas o agroindustriales y como tal, cambia la curva de demanda de los mismos. Ello genera un aumento del precio de equilibrio de aquéllos, al tiempo que mejora el ingreso de toda su cadena de valor, aumentando el agregado de valor local, con aumento del empleo y mejora en el balance de divisas. En el mercado interno de biocombustibles se viene priorizando la instalación y la consecuente actividad de plantas radicadas fuera del área núcleo pampeana, hecho que favorece a las economías regionales. De esta forma se plantea un cambio de paradigma en el típico desarrollo industrial argentino, permitiendo la transformación de materias primas en origen.

Desarrollo del trabajo

1 Objetivos

El objetivo de este estudio es conocer la huella de carbono y la huella energética del etanol anhidro, producido en una mini destilería ubicada en el mismo campo donde se produce la materia prima, que es el grano de maíz.

Como objetivo complementario se busca conocer el beneficio ambiental de la gestión “circular” que se lleva a cabo con los productos, subproductos y residuos obtenidos de la producción agrícola, la mini destilería, el feedlot y el biodigestor, que implican un ahorro en el consumo de:

- Urea como fertilizante sintético, reemplazado con digestato obtenido del biodigestor.
- Energía eléctrica de red generada a través de la matriz argentina, basada principalmente en combustibles fósiles, reemplazada por energía eléctrica generada en el biodigestor.
- Energía calórica generada con Gas Licuado de Petróleo (GLP), reemplazada por calor generado en el biodigestor.

2 Alcance

Este estudio comprende la estimación y cálculo de la huella de carbono del etanol anhidro desde la generación de la materia prima hasta su transformación en productos comerciables. Se tuvieron en cuenta las fuentes de emisión referidas a la producción agrícola propia del grano de maíz, su traslado hasta la mini destilería, la operatoria de la misma, incluyendo insumos y energías consumidas y sus traslados y la operatoria del biodigestor con sus entradas y salidas.

Para el caso del feedlot, si bien funciona como sumidero de los subproductos de la destilería que se incluyen en la dieta de los animales (burlanda y vinaza), y como generador de materia prima para el biodigestor (estiércol de los bovinos), no fue necesario relevar datos de funcionamiento, producción y crecimiento de los animales, ya que no forman parte de algún insumo o entrada en la producción del objeto de estudio, que es el etanol anhidro.

Respecto al alcance temporal de los inventarios, se asumieron datos de la campaña 2018/2019 para las labores agrícolas, ya que era la más reciente y completa al momento del inicio del estudio. Para el funcionamiento de la mini destilería se relevaron datos del período comprendido entre el 1 de Julio de 2018 al 30 de Junio de 2019, correspondientes a un año de producción. Al momento de realización de los relevamientos (entre Octubre y Diciembre de 2019) el biodigestor aún estaba en proceso de instalación, por lo que los datos suministrados por Tecnoled son los proyectados, siendo valores teóricos en algunos casos.

No se incluyeron en el cálculo los siguientes elementos y eslabones de la cadena de valor:

- Variación del stock de carbono en suelos debido a la gestión agrícola, por no contar con información suficiente para realizar la estimación.
- Emisiones debidas al cambio de uso del suelo, ya que se informó que la producción de maíz se desarrolla en campos que se encuentran en uso agrícola desde hace más de 20 años.
- Impacto por la construcción y fabricación de infraestructura, equipos, máquinas y espacios de usos comunes ya que por su extensa vida útil, la participación es poco significativa con respecto al volumen de producción que se maneja¹ (Unión Europea, 2009).
- Transporte del producto etanol anhidro hasta su destino intermedio o final, ni la operatoria en instalaciones de distribuidores, ya que se informó que la logística de recolección y entrega del combustible es la misma que se realizaría para un combustible convencional.

¹ La Directiva 2009-28-CE sobre Biocombustibles establece que “no se tendrán en cuenta las emisiones procedentes de la fabricación de maquinaria y equipos”.

- Emisiones ocurridas en la quema o combustión del etanol anhidro.

A continuación, se muestra un flujograma con las etapas consideradas en este estudio.

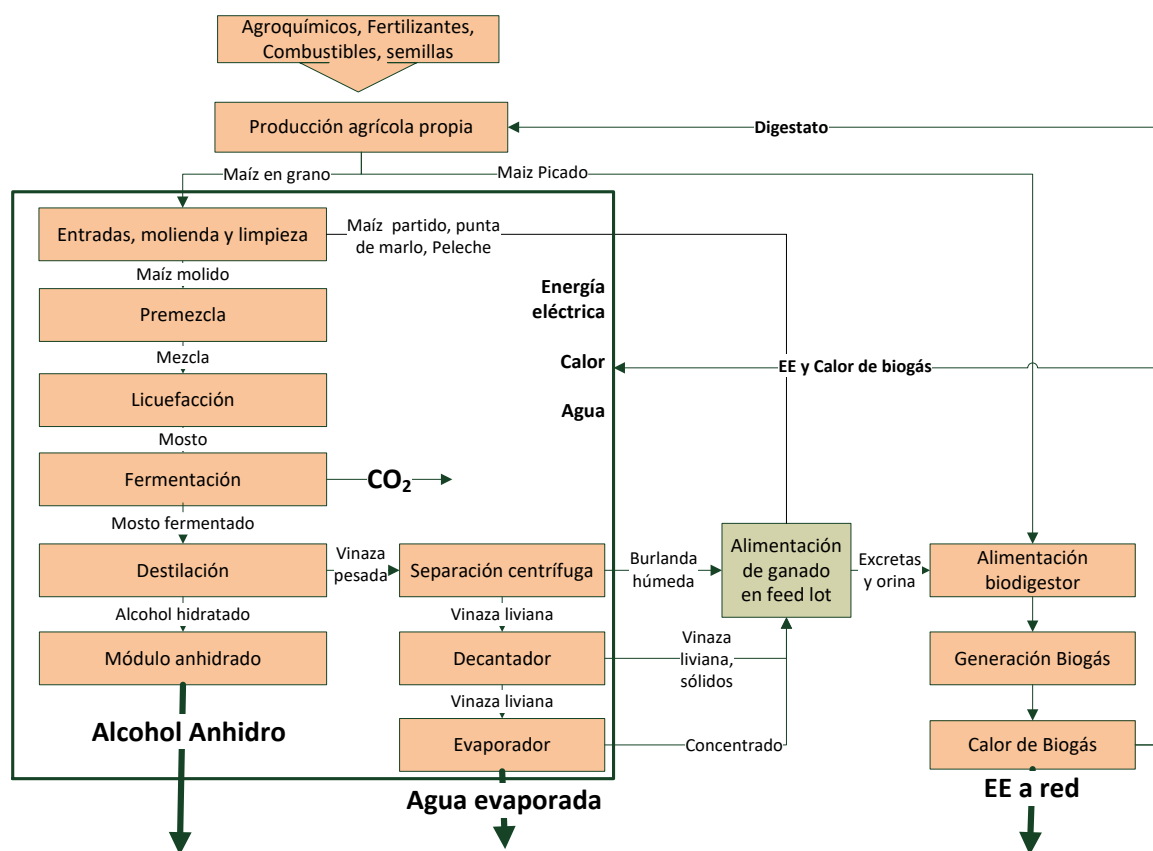


Figura 3: Flujograma de etapas consideradas en el estudio (incluidas o no en el alcance)

3 Modelo de estimación de emisiones de GEI

El ciclo de producción del etanol anhidro se dividió en las siguientes etapas:

- **PRODUCCIÓN AGRÍCOLA:** toda la operatoria asociada a la producción de maíz en los campos que abastecieron a la mini destilería durante la campaña analizada: 2018/2019. Son los denominados: Huelucán, La Esperanza, El Consuelo y La Selva Negra. Se considera que la tranquera del campo es el límite físico de las actividades que se tienen en cuenta. En esta etapa se incluyen las emisiones asociadas al uso de combustibles y lubricantes en las operaciones de laboreo, siembra, fertilización, pulverización y cosecha, como así también las emisiones derivadas de la producción de los insumos del campo como fertilizantes, combustibles, agroquímicos y semillas. Por último, se calcularon las emisiones de nitrógeno derivadas de la fertilización y de los residuos de cosecha que quedan en el campo.

Dentro de la etapa agrícola, se incluyen también las emisiones asociadas al verdeo de cobertura que se produce en los campos durante los meses en que no se hace maíz.

- **MINI DESTILERÍA:** abarca la recepción y limpieza del grano de maíz, el traslado y uso de insumos como aditivos, enzimas, productos de limpieza, agua, entre otros y los consumos energéticos durante todo el proceso, hasta la obtención del etanol anhidro y los subproductos asociados. También se incluyen las operaciones de acondicionamiento de dichos subproductos previo ingreso al feedlot.
- **BIODIGESTOR:** las materias primas que alimentan el proceso son el estiércol del ganado bovino del feedlot y el silo de maíz, producido en los mismos campos mencionados antes. También podría incluirse vinaza como entrada al biodigestor. Para esta etapa se contabilizaron los requerimientos

energéticos y de combustibles para el funcionamiento de los motores y equipos, rendimientos, productos obtenidos y emisiones atmosféricas generadas.

Existen datos que fueron asumidos por el equipo que elaboró este trabajo en base a información secundaria, debido a diferentes deficiencias en la información primaria recolectada, ya sea por datos faltantes o porque no reflejaban la realidad. Por otro lado, se procuró modelar las variables con valores de “sistema estabilizado”, esto refiere a la cría en el feedlot de 12.000 cabezas de ganado, que es lo previsto para los próximos períodos. Esto implicará la necesidad de mayor cantidad de alimento para los animales y la generación de gran cantidad de estiércol para suministrar al biodigestor.

A continuación, se detalla la información empleada para estimar las emisiones de cada fuente, en cada etapa del ciclo productivo.

3.1 Producción agrícola

Emisiones por fertilización y residuos de cosecha

El modelo de cálculo de emisiones es consistente con las “Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático². Se utilizó la metodología de nivel 1 indicada Capítulo 11 - Volumen 4 de las Guías del IPCC 2006 (IPCC, 2006).

En el caso de los residuos de cosecha se incluyeron las fuentes de emisiones directas e indirectas por lixiviación.

Se estimaron las emisiones de óxido nitroso (N₂O) por el aporte de fertilización nitrogenada *in situ*. Se incluye, en este último concepto, a las fuentes directas e indirectas por deposición atmosférica y lixiviación asociadas a la aplicación de fertilizantes sintéticos.

Combustibles, lubricantes y neumáticos

En este concepto se incluyeron las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), asociadas a la quema de combustibles para las actividades de laboreo, como la preparación, siembra, cosecha y aplicación de fertilizantes y agroquímicos. También el uso de camionetas para recorrer los campos antes del inicio de cada campaña, para hacer el seguimiento agronómico del cultivo, chequear el avance, detectar posibles problemas/soluciones y también para trasladar insumos en algunas ocasiones.

Se asumió que todo el lubricante utilizado en las máquinas y camionetas se quema, ya sea dentro del motor o en su disposición final y que la proporción que se oxida durante su uso es considerablemente reducida. Debido a que no se contó con información primaria, se contabilizó el uso de lubricante como el 12% del consumo de gasoil3 (Márgenes Agropecuarios, 2019).

Para combustibles y lubricantes se adicionaron las emisiones generadas durante el ciclo de vida productivo, contemplando las etapas de extracción, refinado y transporte de los productos.

Por el lado de los neumáticos, se informaron las medidas y la cantidad total que se compró durante la campaña, sin identificar a que vehículo o maquinaria correspondía cada uno. Luego se hizo un promedio de los pesos de cada neumático y se dividió ese valor en el total de hectáreas trabajadas en la campaña, obteniéndose finalmente un valor en kg/ha de neumáticos usados. Los neumáticos usados se usan como peso para cubrir la manta del silo de maíz.

Agroquímicos y fertilizantes

Este punto refiere a las emisiones de GEI asociadas al ciclo de producción de los agroquímicos aplicados durante la producción de maíz y del verdeo de cobertura. Para realizar la estimación se calcularon las cantidades de agroquímicos (expresados en kilogramos de principio activo) aplicados a los lotes según los

² El Panel intergubernamental para el cambio climático (Intergovernmental Panel of Climate Change o IPCC) es el órgano técnico de Naciones Unidas para la temática relacionada al estudio del cambio climático

³ Extraído de la Revista Márgenes Agropecuarios.

datos del sistema de gestión de Tigonbú⁴. La información de principio activo fue tomada de las hojas de seguridad de los productos. También se tuvieron en cuenta las emisiones derivadas de la producción y destino final de los envases de los distintos agroquímicos utilizados en la etapa agrícola, teniendo en cuenta su capacidad y material de fabricación. Respecto a la disposición, se identificaron aquellos que son quemados, entregados para reciclaje y los que quedan en el campo, cuyo impacto fue asumido como el de un vertedero.

El fertilizante utilizado es urea, tanto para el maíz como para el centeno. Se contabilizaron las emisiones de su producción y su traslado hasta los campos. Respecto a envases, se informó que la urea se compra a granel.

Uso de semillas y rendimiento del cultivo

Se contabilizaron las emisiones de GEI asociadas al ciclo de producción de las semillas de maíz y centeno sembradas en los campos, incluyendo el curasemillas utilizado en el caso del maíz. Se informó que se usan 0,63 bolsas de maíz por hectárea y que cada una contiene 14,11 kg de semilla⁵.

El rendimiento de grano de maíz utilizado para el modelo es el promedio ponderado de los cuatro campos en los que se sembró maíz durante la campaña 2018/2019. Para el caso del picado se informó un solo valor de rendimiento. A continuación, se muestran dichos valores:

Tabla 1: Rendimiento de maíz

	Hectáreas	Kilos	Rendimiento (kg/ha)
Huelucán	1861	10.571.320	5680
La Esperanza	183	529.850	2895
La Selva Negra	174	600.650	3452
El Consuelo	739	3.441.880	4657
MAÍZ GRANO (promedio)	2957	15.143.700	5121
MAÍZ PICADO (promedio)	1597	3.526.2644	22085

Supuestos y definiciones del modelo en la producción agrícola

Debido a falta de información o datos duplicados y para asumir un modelo que represente el sistema estabilizado que se pretende lograr, se adoptaron las siguientes premisas:

- No se compra maíz a terceros, todo lo utilizado por la destilería proviene de los 4 campos propios informados para la Campaña 18/19 (Huelucán, El Consuelo, La Selva Negra y La Esperanza).
- Se hace centeno como verdeo de cobertura en el 50% de la superficie. Toda la carga ambiental que se genera en su producción se suma a la carga del maíz, ya que no tiene otro destino más que la cobertura del suelo durante los meses en que no se está produciendo grano o picado.
- Los envases de agroquímicos se destinan una parte a reciclaje, otra parte a la quema y los restantes “quedan en el campo”, asumiendo un impacto similar al de disponerlos en vertedero sanitario.
- El consumo de aceite lubricante para maquinaria y camionetas se asume en 12% del consumo de gas oil (Revista Márgenes Agropecuarios) por no contarse con información primaria al respecto.
- La fertilización con UREA se realizó en el 14% de la superficie sembrada con maíz y en el 44% de la superficie sembrada con centeno.
- Se tuvieron en cuenta emisiones de nitrógeno de los residuos de cosecha, según se indica en las Guías IPCC 2006, Volumen 4.

⁴ Sistema Synagro.

⁵ Valor tomado de fotografía de la bolsa.

3.2 Mini destilería

Materias prima e insumos

En la recepción de la materia prima principal, que es el grano de maíz, existe una pequeña merma por material no apto; se trata de maíz partido, punta de marlo y peleche. Estas mermas se destinan a la alimentación de animales en el feedlot.

Se incluyeron las fuentes de emisión asociadas a la producción, traslados y consumos de energía eléctrica, calor, insumos y productos de limpieza. Se informaron consumos de enzimas glucoamilasa y alfaamilasa, fitasa, ácido ortofosfórico, urea y los productos Fermasure, PhibroXact, que son antibióticos. Los productos de limpieza considerados fueron cloro, soda cáustica y ácido sulfámico.

La energía eléctrica que es usada en diversas etapas dentro del proceso de destilación, para el acondicionamiento de los subproductos previo ingreso al feedlot y en distintas actividades de mantenimiento del predio se incluyó como un único valor, no pudiendo identificarse los consumos particulares de punto.

Reprocesamiento de subproductos

En el proceso productivo se obtiene un subproducto de gran importancia por su volumen y contenido energético. Se trata de vinaza pesada, que sale del destilador. Este subproducto es enviado a una operación de separación centrífuga, de la que se obtienen dos corrientes, la burlanda húmeda, que es enviada en forma directa a alimentación de los animales del feedlot y la vinaza liviana, que es reprocesada.

La operación de reprocesamiento que sigue es la decantación, de la que se obtiene una porción de vinaza liviana que se envía a los bebederos de los animales del feedlot, sólidos del decantador, que se envían como alimento a los animales, y otra porción de vinaza liviana que es reprocesada.

La última operación de reprocesamiento es la evaporación, de la cual se obtiene un concentrado, utilizado también como alimento en el feedlot, y agua evaporada.

Emisiones atmosféricas de la destilería

Existe una emisión por la quema de GLP la cual es considerada en el inventario de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, debido a la fermentación, existe una emisión de dióxido de carbono (CO₂) que tiene origen biogénico (proveniente del maíz). Esta emisión no es considerada en el inventario por asumirse que el dióxido de carbono emitido fue capturado por la planta en algún momento durante su crecimiento. La metodología indica no considerar ni la captura ni la emisión, asumiendo que las cargas se "netean" en los cultivos energéticos en distintas etapas, que suceden temporalmente en diferentes momentos (The International EPD System, 2016).

Supuestos del modelo, en el funcionamiento de la destilería

- No se vende burlanda ni otro subproducto a terceros, todo es consumido por animales propios.
- Las emisiones de CO₂ de la destilería no se suman, ya que tienen origen biogénico.

3.3 Transportes

Se tuvieron en cuenta todos los transportes, del maíz desde el campo a la destilería, de los insumos y productos de limpieza, que se envían juntos desde la planta de Porta en la ciudad de Córdoba hasta el campo Huelucán, Buena Esperanza, San Luis y del GLP, desde la refinería en Luján de Cuyo, Mendoza, hasta Huelucán.

Los transportes del maíz cosechado se realizan con camiones propios y de terceros. Se hizo un promedio ponderado de los recorridos y el consumo de combustible.

Los traslados que regresan sin carga al origen, se cuentan con doble impacto. Es el caso del transporte de GLP y de uno de los cinco viajes anuales que se realizan para el traslado de insumos a la destilería. Cuatro de los camiones se utilizan para cargas de otros procesos, y uno retorna con envases vacíos a Córdoba, a la planta de Porta para su reutilización.

3.4 Biodigestor

Funcionamiento

Al momento del relevamiento (Octubre de 2019) el biodigestor se encontraba en etapa de instalación, con vísperas de comenzar a funcionar en el mes de diciembre de 2019. Por esto es que la información con que se cuenta corresponde a estimaciones y análisis de biodigestores ya funcionando.

La alimentación del biodigestor se hará con estiércol de los bovinos del feedlot, propiedad del Grupo Tigonbú. Las mismas serán arrastradas por el flujo de agua de limpieza, hasta el ingreso al digestor. También se utilizará silo de maíz picado, como entrada. El mismo se produce de forma similar al grano de maíz en campos propios, pero en lugar de cosecharse, se pica y traslada hasta el silo, ubicado en inmediaciones del feedlot y del biodigestor.

Existe la posibilidad de incluir vinaza como una entrada más en la alimentación del biodigestor. Por el momento se informó que no se implementará esta alternativa, ya que por cuestiones económicas resulta más conveniente utilizar la vinaza en la alimentación de los bovinos.

También se contabilizaron como entradas al sistema, el uso de insumos como carbón activado, gas oil para el movimiento del manipulador y aceite para el recambio en los motores.

Productos

El biodigestor generará, como productos finales, energía eléctrica, calor y digestato, en estado líquido y sólido. La energía eléctrica se venderá a la red, debido a los compromisos asumidos en el plan RENOVAR⁶, al que la firma suscribió. En forma paralela se espera inyectar a la mini destilería la cantidad de electricidad que ésta requiere para operar. El calor generado en los motores será utilizado también en la destilería, en reemplazo del calor generado con el combustible GLP, que se espera se deje de adquirir en forma total. Finalmente, el digestato, líquido y sólido, será utilizado en los campos donde se produce maíz picado, en reemplazo del fertilizante sintético urea.

Emisiones atmosféricas

Existen emisiones atmosféricas derivadas del funcionamiento de los motores y de la generación del biogás. Las mismas fueron informadas por la empresa que instala el biodigestor; en primera instancia se analizaron los valores máximos informados por los fabricantes de los motores, pero debido a que dichos valores excedían en varios órdenes de magnitud a las cantidades encontradas en otras fuentes bibliográficas, se insistió en recabar otras mediciones. Finalmente se enviaron valores medios, obtenidos de diferentes referencias, según indicó el personal de TecnoRED. En el caso de las emisiones de CO₂, al igual que en la destilería, fueron omitidas, ya que provienen del silo de maíz picado que ingresa como materia prima y por lo tanto tienen origen biogénico.

Supuestos del modelo, en el funcionamiento del biodigestor

- El biodigestor es alimentado con el estiércol de los bovinos del feedlot y con silo de maíz picado. No se incluye vinaza, ya que se mencionó que por el momento se usará todo lo producido en la alimentación de animales.
- El calor generado en el biodigestor será suficiente para alimentar a la destilería, con lo cual no se utilizará más GLP.

⁶ <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4127>

- La energía eléctrica generada en el biodigestor será suficiente para alimentar a la destilería y para inyectar a la red en la cantidad acordada, por lo que no se usará más energía eléctrica de red en la destilería.
- Las emisiones de CO₂ del biodigestor, no se suman ya que tienen origen biogénico.
- Las emisiones atmosféricas del biodigestor se asumieron según valores normales de diferentes referencias, según informaron los técnicos de la empresa Tecnoled, responsable de la instalación de los equipos.

4 Asignación de cargas ambientales

La asignación de cargas ambientales es un paso obligatorio en el cálculo de la huella de carbono de un producto basado en la metodología de análisis de ciclo de vida, siempre que existen otros productos y subproductos además del objeto de estudio. Tiene como finalidad “dividir” la carga ambiental “aguas arriba” de un proceso, entre las distintas salidas que se obtienen de él. La asignación se realiza definiendo el “valor” (no necesariamente monetario) de cada producto y subproducto, ya sea por su masa, su contenido energético, su precio de venta u otro método que resulte apropiado, de acuerdo al tipo de proceso.

4.1 Asignación en mini destilería

En el caso de la destilería, se obtienen los siguientes productos y subproductos:

- Etanol anhidro
- Burlanda húmeda, concentrado y sólidos
- Vinaza liviana

Se definió utilizar el criterio de asignación por contenido energético, tal como lo establece la Directiva 2009/28 de la Unión Europea (Unión Europea, 2009). Para esto se debió conocer el poder calorífico de cada componente, que se describen a continuación:

- Poder calorífico inferior del Etanol: 6400 kcal/kg (Secretaría de Energía, 2020)
- La burlanda húmeda tiene un 28% de materia seca⁷
- Los subproductos burlanda húmeda, concentrado y sólidos, se asumieron con un poder calorífico de 3900 kcal/kg de materia seca (CEAS, 2017).
- Para la vinaza liviana se asume un contenido de materia seca de 5,5%⁸, y un poder calorífico igual al de la burlanda húmeda.

Tabla 2: Resultados del proceso de asignación de cargas ambientales en la destilería

Producto obtenido	Cantidad (kg)	Materia Seca (kg)	Energía contenida (MJ/kg)	Retribución (MJ)	Asignación (%)
Alcohol anhidro 99,5°	1000	1000	26,816	26816	54,0%
Burlanda húmeda + concentrado + sólidos del decantador	3641	1019	16,341	16645	33,5%
Vinaza liviana	6919	379	16,341	6193	12,5%

⁷ Análisis físico-químicos de burlanda húmeda HUELUCAN, tal como sale hacia feedlot. Informado por PORTA.

⁸ Análisis físico-químicos de burlanda húmeda HUELUCAN, tal como sale hacia feedlot. Informado por PORTA.

4.2 Otros métodos de asignación

Como se mencionó al inicio de esta sección, existen diferentes métodos para asignar la carga ambiental de un proceso a los distintos productos y subproductos que se obtienen de él.

En este estudio, además del criterio de asignación por contenido energético que es el que se definió utilizar en la destilería, se calcularon los impactos obtenidos con los criterios de asignación de masa y económico para el etanol y los subproductos.

Tabla 3: Asignación de la carga ambiental por método de masa y por método económico.

Asignación por masa	Cantidad (kg)	Materia Seca (kg)	Asignación (%)		
Alcohol anhidro 99,5°	1000	1000	41,7%		
Burlanda húmeda + concentrado + sólidos	3641	1019	42,5%		
Vinaza liviana	6919	379	15,8%		
Asignación económica	Cantidad (kg)	Materia Seca (kg)	Valor económico (\$/kg)	Retribución (\$)	Asignación (%)
Alcohol anhidro 99,5°	1000	1000	38,7 ⁹	38657	93,9%
Burlanda húmeda + concentrado + sólidos	3641	1019	2,45 ¹⁰	2494	6,1%

En el caso de la asignación por criterio económico no se cuenta a la vinaza por no tener valor de mercado.

4.3 Expansión del sistema

Otra técnica usada dentro de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para “restar” parte de la carga ambiental del proceso al producto principal y derivarla a los subproductos, es la denominada “expansión del sistema”. Esta técnica define cuáles productos del mercado son reemplazados con los subproductos y calcula su carga ambiental, para luego restarla al impacto total del producto principal en estudio. De este modo se asume que el producto reemplazado no llegará a ser fabricado, evitando su impacto y cargando ese beneficio al producto objeto de estudio.

En el caso de los subproductos de la destilería, todos son usados para alimentación de animales, reemplazando el uso de “Gluten Feed” y agua. Se cuenta también el impacto evitado por el transporte de Gluten Feed hasta el lugar donde sería consumido.

Se tomaron perfiles de la base de datos EcolInvent, con el impacto ambiental unitario de la producción/generación de estos productos y se multiplicaron por las cantidades que serían reemplazadas con los subproductos de la destilería. Los resultados obtenidos son los que siguen:

Tabla 4: Asignación de la carga ambiental por expansión del sistema

Productos y subproductos		kg CO ₂ eq.	MJ
Alcohol anhidro 99,5°	1267 L	-1.869	-25.282
	1000 kg		
Burlanda húmeda + concentrado + sólidos	3641,3 kg		
Gluten Feed	-3641,3 kg	-1707,09	-22639,6
Transporte de carga 16-32 t	-946,7 tkm	-156,81	-2574,3
Reemplazo vinaza liviana	6919,3 kg		
Agua	-6919,3 kg	-4,77	-67,8

⁹ Precio diciembre 2019, 30,5 pesos por litro de etanol anhidro. Informado por Irina Bussi de Grupo Tigonbú.

¹⁰ Se asume un 30% del valor Maíz, que es de 136 USD/t. Informado por Irina Bussi, de Grupo Tigonbú.

Finalmente, los valores de impacto evitado se restan al impacto total del proceso de producción del etanol.

4.4 Asignación en el biodigestor

Los productos obtenidos del biodigestor también deben distribuir la carga ambiental que arrastran “aguas arriba”. En este caso se obtienen 4 productos principales con valor, que son:

- Energía eléctrica
- Calor
- Digestato sólido
- Digestato líquido

Se definió hacer una asignación por valor económico, teniéndose los siguientes datos:

- Precio de venta de la energía eléctrica a la red: 148,45 USD/MW¹¹
- El valor económico del calor del biodigestor se asumió igual al precio del calor generado actualmente: 39,3 \$/kg de GLP¹², considerando un poder calorífico de 12,91 kWh/kg de GLP.
- Al digestato sólido se le asignó un precio de venta de acuerdo a su contenido de nitrógeno que es de 0,43%, y en relación al precio de la urea en el mercado¹³.
- Con el digestato líquido se asumió lo mismo que en el caso del sólido, pero contemplando que su contenido de nitrógeno es de 0,57%.

Tabla 5: Resultados del proceso de asignación de cargas ambientales en el biodigestor (cada 1000 m³ de biogás obtenido):

Producto obtenido	Cantidad	Valor de mercado ¹⁴	Ingreso esperado (USD)	Asignación
EE (precio de venta)	2,23 MWh	148,45 USD/MW	331,3	70%
Calor (Se computa precio del GLP)	1,79 MWh	50,73 USD/MW	90,6	19%
Digestato sólido (0,43% de N)	2,4 t	858,7 USD/t N	9,0	2%
Digestato líquido (0,57% de N)	8,2 t	858,7 USD/t N	40,2	9%

5 Perfiles unitarios

Una vez armados los inventarios de entradas y salidas de cada operación y etapas, se buscaron en bases de datos de uso internacional las emisiones unitarias asociadas a cada una de esas entradas: insumos, materias primas, energía, etc., referidas a 1 kg, 1 litro, 1 MJ o la unidad que corresponda. Los agroquímicos se buscaron con su nombre comercial y principio activo y si no estaban disponibles de ese modo por su grupo de pertenencia según su acción (herbicida, fungicida, insecticida). Como paso posterior, se asociaron las cantidades usadas de cada “entrada” a sus emisiones unitarias, obteniéndose el impacto para dichas cantidades.

¹¹ Irina Bussi, Grupo Tigonbú.

¹² Irina Bussi, Grupo Tigonbú.

¹³ La urea en su presentación comercial tiene un 46% de nitrógeno en su composición y un valor de mercado de 395 USD/tonelada, lo que resulta en 858,7 USD por tonelada de Nitrógeno elemental.

¹⁴ Se tomó un dólar valuado a \$60 por unidad.

La base de datos de mayor difusión es EcoInvent, utilizable desde el software de cálculo SIMAPRO, disponible por INTA e INTI. Esta base posee información de más de 10.000 perfiles unitarios de materiales, insumos, energías, productos, transportes, operaciones industriales, entre otras, principalmente de Europa, Norte América, China y el resto del mundo, en menor medida. En el Anexo 1 se muestran los perfiles ambientales unitarios seleccionados para este caso.

6 Escenarios planteados

Según los datos aportados para la Campaña 2018/2019, solo un 14% de la superficie fue fertilizada con urea. Esta situación no refleja la realidad de lo que ocurre frecuentemente en las campañas de producción de maíz en los campos de la zona en general y en los que están bajo el control del Grupo Tigonbú en particular.

Para compensar esta realidad atípica se definió armar un escenario, un análisis de sensibilidad, que muestre los cambios en los impactos estudiados derivados del uso de mayor cantidad de urea como fertilizante. El escenario considera puntualmente la aplicación de urea en la misma dosis indicada para la Campaña 2018/2019 (100 kg/ha) para el 100% de la superficie. Con este agregado de fertilizantes se tiene un incremento en el rendimiento del cultivo, que pasa de 5121 kg/ha en el caso base a 7326 kg/ha en el escenario¹⁵.

Esta situación de extremo sirve para conocer cuál sería el máximo impacto posible a ocurrir derivado del uso de urea; enmarcándose cualquier otra situación de aplicación en una superficie menor dentro del rango del impacto entre la aplicación en un 14% y en el 100% de la superficie.

7 Resultados

7.1 Resultados ampliados

En primera instancia, se obtuvieron resultados para distintas formas de medida del etanol (por litro, por kilogramo y por megajoule), distintos métodos de asignación de cargas ambientales y expansión del sistema y para distintos escenarios, considerando el uso de los productos obtenidos del biodigestor y considerando la aplicación de urea en el 100% de las hectáreas donde se produce maíz.

Los resultados de la Huella de Carbono son expresados en gramos de dióxido de carbono equivalente (g CO₂ eq); esto significa que se contabilizaron diversos gases de efecto invernadero con distinto poder de calentamiento o afectación, los que se unificaron en CO₂ equivalente a través de un factor que refleja sus valores de calentamiento potencial. Finalmente, todas las emisiones se suman y se expresan en g CO₂ eq.

Los resultados de la Huella energética son expresados en megajoule de energía utilizada (distintos tipos de energía) por megajoule, kilogramo o litro de etanol. La Tabla 6 muestra los resultados ampliados para el caso base.

Como puede observarse en las filas donde se muestran los resultados con diferentes criterios de asignación de cargas, la selección del método es determinante para que la huella de carbono y energética sea mayor o menor. El método de expansión del sistema resulta en este caso, el más benévolo con el producto etanol, ya que la huella se reduce a un 9% del total. El método de asignación por masa, también reduce notablemente la huella, llegando a un 42% del total. En tercer lugar, está el método seleccionado, que es la asignación por criterio de contenido energético; en este caso la huella se reduce a un 54% del total, como se mostró en la sección donde se explicó este criterio. Finalmente, el criterio de asignación más "perjudicial" para el etanol es el económico, donde este producto se queda con el 94% de la carga ambiental, dejándole a los subproductos solo el 6%.

¹⁵ Informado por Federico de Grupo Tigonbú, vía mail, de acuerdo a rendimientos obtenidos en lotes donde se fertilizó con una dosis de 100 kg/ha de urea.

Tabla 6: Resultados de la Huella de Carbono y de la Huella Energética para el caso base, fertilización del 14% de la superficie con urea

	Caso base campaña 2018/2019					
	HUELLA DE CARBONO (g CO ₂ equivalente)			HUELLA ENERGÉTICA (MJ)		
	Por Litro de etanol	Por kg de etanol	Por MJ de etanol	Por Litro de etanol	Por kg de etanol	Por MJ de etanol
Sin asignación	1626,3	2061,2	76,9	22,4	28,4	1,1

Criterios para asignar cargas ambientales:

Sin asignación - con expansión del sistema -	151,9	192,5	7,2	2,4	3,1	0,1
Con asignación - por valor económico -	1527,7	1936,3	72,2	21,0	26,6	1,0
Con asignación - por masa -	678,3	859,7	32,1	9,3	11,8	0,4
Con asignación - por contenido energético -	878,3	1113,2	41,5	12,1	15,3	0,6

Efectos derivados del uso del biodigestor - con asignación energética -

Considerando uso de calor de biogás	468,2	593,4	22,1	6,1	7,7	0,3
Considerando uso de EE de biodigestor	832,7	1055,4	39,4	11,0	13,9	0,5
Considerando uso calor + EE de biodigestor	422,6	535,6	20,0	5,0	6,3	0,2
Considerando uso calor + EE + digestato (en picado)	420,9	533,4	19,9	5,0	6,3	0,2

A continuación, en la Figura 4 se grafica la columna con datos de huella de carbono, expresada en g de CO₂ equivalente/MJ de etanol, para el caso base.

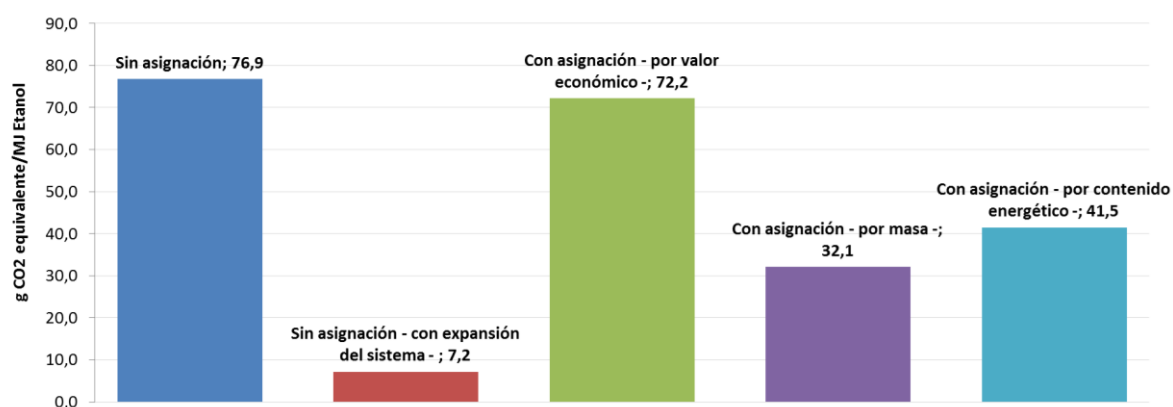


Figura 4: Huella de Carbono del etanol con distintos métodos de asignación de cargas

Teniendo en cuenta el escenario de aplicación de urea en una superficie mayor a la del caso base (100% de la superficie), se muestran a continuación los resultados obtenidos para el mismo:

Tabla 7: Resultados de la Huella de Carbono y de la Huella Energética en el escenario con fertilización 100% de la superficie con urea

	Escenario con fertilización 100% superficie con UREA					
	HUELLA DE CARBONO (g CO ₂ equivalente)			HUELLA ENERGÉTICA (MJ)		
	Por Litro de etanol	Por kg de etanol	Por MJ de etanol	Por Litro de etanol	Por kg de etanol	Por MJ de etanol
Sin asignación	1698,7	2153,0	80,3	23,1	29,3	1,1

Criterios para asignar cargas ambientales:

Sin asignación - con expansión del sistema -	224,3	284,3	10,6	3,2	4,0	0,2
Con asignación - por valor económico -	1595,8	2022,5	75,4	21,7	27,5	1,0
Con asignación - por masa -	708,5	898,0	33,5	9,7	12,2	0,5
Con asignación - por contenido energético -	917,4	1162,7	43,4	12,5	15,8	0,6

Efectos derivados del uso del biodigestor - con asignación energética -

Considerando uso de calor de biogás	507,3	643,0	24,0	6,5	8,3	0,3
Considerando uso de EE de biodigestor	871,8	1105,0	41,2	11,4	14,4	0,5
Considerando uso calor + EE de biodigestor	461,7	585,2	21,8	5,4	6,8	0,3
Considerando uso calor + EE + digestato (en picado)	460,0	583,0	21,7	5,4	6,8	0,3

7.2 Resultados resumidos

Teniendo la visión general de todos los resultados posibles para el etanol y las distintas unidades en que pueden ser expresados, se define mostrar los resultados de huella de carbono y huella energética por Mega Joule de etanol producido. Además, el método de asignación definido es el de contenido energético de productos y subproductos, tal como se mencionó antes. Quitando de las tablas anteriores los resultados expresados en otras unidades de medida y asignados con otros métodos o técnicas, se obtiene la tabla que sigue (resultados resumidos):

Las emisiones atmosféricas que componen la huella de carbono se incrementan en un 4,5% y los consumos energéticos que componen la huella energética un 3,4% con los datos incorporados en el escenario, respecto a los datos del caso base. Estos valores corresponden al caso sin asignación y con asignación por contenido energético. Para los casos en que se incorporan los productos del biodigestor a la destilería (calor y energía eléctrica) y a los campos (digestato como fertilizante en picado), las variaciones son distintas, ya que se reducen las emisiones de la industria, teniendo las del agro mayor incidencia. De este modo, la diferencia entre el escenario y el caso base asciende a 9% en el caso en que se aprovechan todos los productos del digestor.

Analizando en detalle el escenario planteado, si bien existen mayores emisiones por el uso de más cantidad de fertilizante nitrogenado (urea), esta acción conlleva un incremento en el rendimiento del cultivo, lo que beneficia a los valores obtenidos de huella de carbono y energética. El rendimiento de "equilibrio", es decir aquel que haría que las mayores emisiones de la urea se compensen con el mayor rendimiento obteniendo una huella igual a la del caso base, es de 8400 kg/ha. Este rendimiento es superior al rendimiento real de 7326 kg/ha, informado por Tigonbú en los lotes donde se fertilizó con 100 kg/ha de urea.

Tabla 8: Resultados resumidos de la Huella de Carbono y de la Huella Energética en el escenario base y con fertilización 100% de la superficie con urea

	Caso base campaña 2018/2019		Escenario con fertilización 100% superficie con UREA	
	HUELLA DE CARBONO	HUELLA ENERGÉTICA	HUELLA DE CARBONO	HUELLA ENERGÉTICA
	g CO₂ equivalente/MJ	MJ/MJ	g CO₂ equivalente/MJ	MJ/MJ
Sin asignación	76,9	1,06	80,3	1,09
Con asignación - por contenido energético -	41,5	0,57	43,4	0,59
Considerando uso de calor de biogás	22,1	0,29	24,0	0,31
Considerando uso calor + EE de biodigestor	20,0	0,24	21,8	0,25
Considerando uso calor + EE + digestato (en picado)	19,9	0,23	21,7	0,25

En forma gráfica, los resultados pueden observarse en las Figuras 5 y 6:

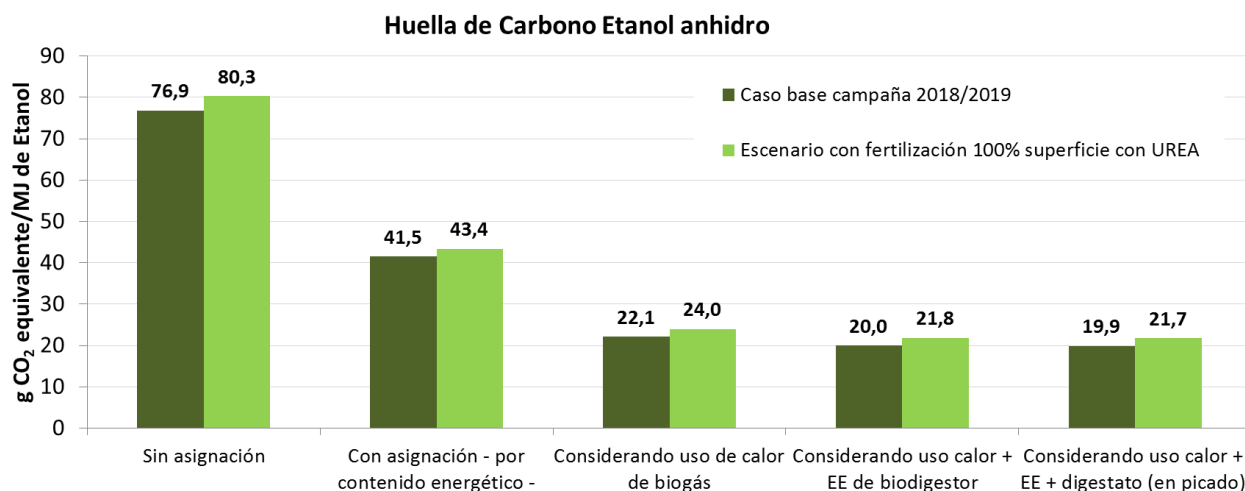


Figura 5: Huella de Carbono del etanol sin y con asignación de cargas por método energético, en dos escenarios

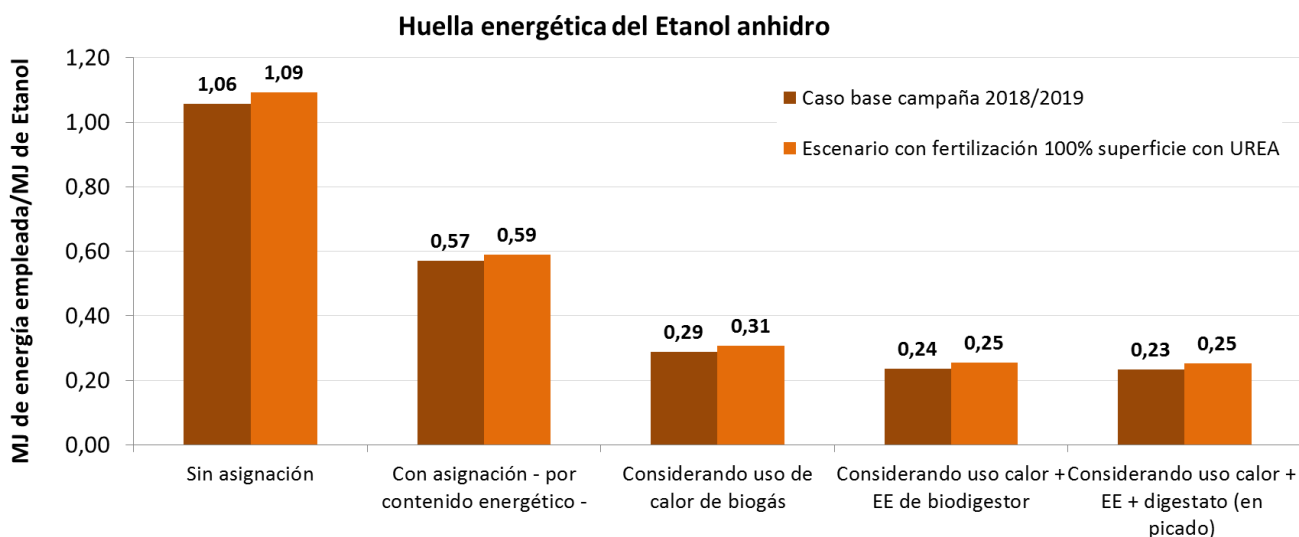


Figura 6: Huella energética del etanol sin y con asignación de cargas por método energético, en dos escenarios

7.3 Análisis de resultados

Los resultados muestran que la asignación por contenido energético otorga al etanol el 54% del impacto de la cadena productiva; el restante porcentaje se asigna a los subproductos. Evitar el uso de GLP en la destilería supone un significativo ahorro en la Huella de Carbono del etanol, ya que las mismas representan el 51,5% del total (producción, transporte y quema del GLP); su reemplazo con calor de biodigestor genera impacto, pero éste representa sólo el 5% de las emisiones totales, por lo que la reducción de la huella llega al -46,5%.

Evitar el uso de EE de red y usar la energía generada en los motores del biodigestor, también implica una disminución del impacto, pero no tan notorio con en el caso del calor; las emisiones bajan del 6,6% al 1,4% del total, obteniéndose una reducción del -5,18%. Reemplazar el uso de urea por digestato en el maíz para silaje, reduce el impacto en un porcentaje menor, esto se debe a que las emisiones de la urea no son relevantes en la cadena del maíz para silaje, y una porción de ellas se compensan en la aplicación del digestato.

7.4 Resultados por etapas

Resulta interesante observar las emisiones por etapa o eslabón de la cadena productiva del etanol, de modo de poder analizar dónde se encuentran los cuellos de botella o *hotspots*, sobre los que existe potencial de reducción de emisiones. A los valores asignados por contenido energético, se los abre por etapa productiva en agrícola y destilería, tal como se muestra en la Tabla 9.

Dentro de la etapa agrícola, se destacan las emisiones del verdeo de cobertura, que se contabiliza como un todo, también de la operación de pulverización y en menor medida las operaciones de siembra, fertilización y cosecha. También tienen un alto valor las emisiones de los residuos de cosecha, principalmente se trata de emisiones de óxido nitroso (N₂O) que tiene un alto factor de calentamiento, que equivale a 265 veces el dióxido de carbono (CO₂). Por el lado de la destilería, se destacan las emisiones derivadas del uso del GLP, tanto por su producción como por su quema. También las emisiones por la generación de energía eléctrica y en menor medida el uso de otros insumos utilizados en el proceso y sus transportes.

Tabla 9: Resultados de la Huella de Carbono y de la Huella Energética en el escenario base y con fertilización 100% de la superficie con urea, abiertos por etapas.

	Caso base campaña 2018/2019				Escenario con fertilización 100% superficie con UREA			
	HUELLA DE CARBONO (g CO ₂ eq./MJ)		HUELLA ENERGÉTICA (MJ/MJ)		HUELLA DE CARBONO (g CO ₂ eq./MJ)		HUELLA ENERGÉTICA (MJ/MJ)	
Resultados	41,5		0,6		43,4		0,6	
DESTILERIA	28,8	69%	0,4	77%	28,8	67%	0,4	75%
Módulo anhidrado	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Destilación	0,2	0%	0,0	1%	0,2	0%	0,0	1%
Fermentación	0,8	2%	0,0	2%	0,8	2%	0,0	2%
Licuefacción	1,9	5%	0,0	5%	1,9	4%	0,0	5%
Premezcla	0,3	1%	0,0	1%	0,3	1%	0,0	1%
Entrada, limpieza y molienda	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Consumos comunes EE, GLP, agua	23,3	56%	0,4	61%	23,3	54%	0,4	59%
Consumos de productos de limpieza	0,6	1%	0,0	2%	0,6	1%	0,0	2%
Transportes de insumos y MP	1,8	4%	0,0	5%	1,8	4%	0,0	5%
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	12,7	31%	0,1	23%	14,5	33%	0,1	25%
Disposición de residuos	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Siembra directa y con fertilizantes	1,4	3%	0,0	3%	1,0	2%	0,0	2%
Pulverización terrestre	2,7	7%	0,1	9%	1,9	4%	0,0	6%
Fertilización al voleo con tractor	1,2	3%	0,0	2%	6,5	15%	0,1	11%
Cosecha	1,2	3%	0,0	3%	0,8	2%	0,0	2%
Rastra semipesada con tractor	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Rolo rastrojero	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Camioneta asesoramiento técnico	0,1	0%	0,0	0%	0,1	0%	0,0	0%
Mantenimiento: cambio de aceite	0,1	0%	0,0	0%	0,1	0%	0,0	0%
Emisiones de residuos de cosecha	2,7	6%	0,0	0%	1,9	4%	0,0	0%
Verdeo de cobertura: centeno	3,2	8%	0,0	5%	2,3	5%	0,0	3%

7.5 Reducciones alcanzadas

La reducción de emisiones se calculó con referencia al valor del diésel considerado en el Anexo V de la directiva de la Unión Europea en su artículo 19. Esto se establece como un porcentaje. Para el caso Tigonbú, considerando la asignación de todos los coproductos según su contenido energético, el porcentaje de reducción de emisiones sería del 76%. Este valor estaría dentro de los límites incluidos en la Directiva Europea de Biocombustibles - UE 2009/28 / CE - Art. 17 - Párrafo 2 con fecha de vigencia a partir del 1 de enero de 2018.

La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los biocarburantes y biolíquidos se calcula como: $REDUCCIÓN = (EF - EB)/EF$, siendo EB = las emisiones totales procedentes del biocarburante o biolíquido, y EF = las emisiones totales procedentes del combustible fósil de referencia (Pág. 53, Directiva 2009-28-CE). Si no se dispone de datos, el valor utilizado será 83,8 g CO₂eq/MJ (Pág. 55, Directiva 2009-28-CE).

Esta Directiva 2009-28-CE sobre Biocombustibles establece que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero derivada del uso de biocarburantes y biolíquidos debe ser del 60 % como mínimo para los biocarburantes y biolíquidos producidos en instalaciones cuya producción haya comenzado a partir del 1 de enero de 2017. Por lo tanto, el valor obtenido en este estudio supera en 16 puntos porcentuales el objetivo de reducción de la Unión Europea.

Tabla 10: Resultados de la reducción de la Huella de Carbono (g CO ₂ equivalente/MJ) en el escenario base y con fertilización 100% de la superficie con urea, con respecto al combustible de referencia de la Unión Europea	Caso base campaña 2018/2019		Escenario con fertilización 100% superficie con UREA	
Sin asignación	76,9	8%	80,3	4%
Con asignación - por contenido energético -	41,5	50%	43,4	48%
Considerando uso de calor de biogás	22,1	74%	24,0	71%
Considerando uso calor + EE de biodigestor	20,0	76%	21,8	74%
Considerando uso calor + EE + digestato (en picado)	19,9	76%	21,7	74%
Valor de referencia Directiva 2009-28-CE (Unión Europea, 2009)	83,8			

8 Mejoras sugeridas para la estimación de emisiones

Este trabajo se realizó en base a una serie de supuestos enumerados más arriba, con respecto a la producción primaria, la mini destilería y el biodigestor. Los futuros trabajos de seguimiento de Huella de Carbono y de Balance Energético deberían tender a disminuir la cantidad de información secundaria y a aumentar la información primaria del sistema productivo.

En particular deberían tomarse datos reales del funcionamiento del biodigestor una vez que esté operativo. También de las emisiones atmosféricas que se generan y de la obtención y utilización de sus productos: calor, energía eléctrica y digestato.

9 Conclusiones

Se obtuvo la Huella de Carbono y la Huella Energética del etanol anhidro de maíz, producido en destilerías de pequeña escala (Minidest), en campos de productores agrupados en la Cámara de Industrializadores de Granos y Productores de Biocombustibles en Origen (CIGBO), con sede en Córdoba, Argentina.

En el caso base campaña 2018/2019, la Huella de Carbono fue de 19,9 g CO₂ equivalente / MJ etanol y el balance energético fue de 0,23 MJ de energía invertida por MJ de etanol producido, teniendo en cuenta la asignación de cargas por contenido energético y el crédito obtenido por el aprovechamiento de los productos obtenidos del biodigestor. La Huella de Carbono significa una reducción del 76% con respecto al combustible fósil de referencia, lo cual implica una reducción significativa en la emisión de gases de efecto invernadero.

La asignación de cargas ambientales se hizo por contenido energético, lo que otorga al etanol el 54% del impacto de la cadena productiva; el restante porcentaje se asigna a los subproductos. El biodigestor evita el uso de GLP para la generación de calor, lo que supone un ahorro en la Huella de Carbono, ya que las mismas representan el 49% del total. El uso de energía eléctrica generada en los motores del biodigestor también implica una disminución del impacto, pero no tan notorio como en el caso del calor; las emisiones bajan del 6,55% al 1,37% del total (-5,18%). El reemplazo de la urea por digestato en el maíz destinado a silaje, reduce el impacto en un porcentaje menor, esto se debe a que las emisiones de la urea no son relevantes en la cadena del maíz para silo, y una porción de ellas se compensan en la aplicación del digestato.

Los resultados indican que la Huella de Carbono obtenida es inferior a la estimada por trabajos similares en Río Cuarto: 27,77 g CO₂ equivalente/MJ (Hilbert, 2019), 58,8 g CO₂ equivalente/MJ en Estados Unidos (Flugge, y otros, 2017), lo que destaca la relevancia de la producción de etanol en origen y las ventajas ambientales de tener un sistema integrado de aprovechamiento de subproductos (burlanda-vinaza-estiércol) para la generación de otros productos, además del etanol: carne, calor, energía eléctrica y digestato.

La información utilizada fue tomada de los registros administrativos de las empresas intervinientes y verificada con los responsables de las operaciones. Los futuros trabajos que se realicen en el sector deberían usar mayor cantidad de información primaria, y así evitar algunos de los supuestos asumidos en este trabajo.

10 Referencias

- CEAS. (2017). *Mini destilerías para la producción de bioetanol. República Argentina. Anexo: Energía Coproductos. Estudios ambientales y energéticos. Página 13.* Córdoba: CEAS S.A.
- EcolInvent. (2019). Database version 3.5. *Swiss Centre for Life Cycle Inventories.* <http://www.ecoinvent.org/>.
- Flugge, M., Lewandrowski, J., Rosenfeld, J., Boland, C., Hendrickson, T., Jaglo, K., . . . Pape, D. (2017). *A Life-Cycle Analysis of the Greenhouse Gas Emissions of Corn-Based Ethanol.* Obtenido de Report prepared by ICF under USDA Contract No. AG-3142-D-16-0243. January 30, 2017: https://www.usda.gov/oce/climate_change/mitigation_technologies/USDAEthanolReport_20170107.pdf
- Harnan, E., & Cano, M. (2019). *KPMG. Desarrollo de Biocombustibles en la Argentina.* Obtenido de <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ar/pdf/paper-desarrollo-biocombustibles-argentina-2019.pdf>
- Hilbert, J. (2019). *Report on bioetanol carbón footprint BIO4 BG1 BG2.* Obtenido de INTA: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/6071/INTA_CIA_InstitutodeIngenier%C3%ADaRural_Hilbert_Bioethanol_carbon_footprint.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IBM. (2020). *Meet the 2020 consumers driving change.* Obtenido de Los compradores están dispuestos a pagar más por marcas sostenibles y rastreables: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/consumer-2020>
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.* Obtenido de Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- ISO. (2006). ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, International Organisation for Standardisation (ISO).
- ISO. (2013). ISO 14067: Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication. International Organization for Standardization (ISO).
- Márgenes Agropecuarios. (2019). *Resultados económicos.* Buenos Aires: Margenes Agropecuarios.
- Secretaría de Energía. (2019). *Precios de etanol.* Obtenido de Presidencia de la Nación: https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte_precios_bioetanol.php
- Secretaría de Energía. (2020). *Documento metodológico del Balance Energético Nacional de la República Argentina, año 2015.* Obtenido de Secretaría de Gobierno de Energía. Subsecretaría de Planeamiento Energético. Dirección Nacional de Información Energética: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>
- The International EPD System. (2016). *PRODUCT CATEGORY RULES ACCORDING TO ISO 14025.* Obtenido de [Arable crops v2.0 DATE 2016-06-23: https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=8804](https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=8804)
- Unión Europea. (2009). *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.* Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aen0009>: <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>

11 Anexo 1

Perfil -requerido en Inventarios-	Perfil -seleccionado en Bases de datos-
Energía eléctrica Red Argentina	Electricity, medium voltage {AR} market for electricity, medium voltage Cut-off, U
Quema Gasoil	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} Cut-off, U
GLP	LPG, combusted in industrial boiler, at pulp and paper mill (EXCL.)/I/RNA
Agua	Tap water {RoW} market for Cut-off, U
Enzima alfaamilasa	Enzyme, Alpha-amylase, Novozyme Liquozyme/kg/RER
Enzima glucoamilasa	Enzyme, Glucoamylase, Novozyme Spirizyme/kg/RER
Urea	Urea, as N {RoW} production Cut-off, U
Ácido ortofosfórico	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for Cut-off, U
Ácido sulfámico	Sulfamic acid {GLO} sulfamic acid production Cut-off, U
Soda cáustica	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U
Cloro	Sodium hypochlorite/RER
Gluten Feed	Maize gluten feed, high moisture, from wet milling (glutenfeed production, no drying), at plant/FR Economic
Mantas plástico bicapa	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, U
Lubricantes	Lubricating oil, at plant/RER U
Transporte de carga > 32 t	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RoW} Cut-off, U
Transporte de carga 16-32 t	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RoW} Cut-off, U
Transporte de carga 7,5-16 t	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RoW} Cut-off, U
Transporte de carga 3,5-7,5 t	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RoW} Cut-off, U
Residuos de cartón a quema	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration/CH U
Residuos plásticos a vertedero	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U
Fitasa	Enzyme, Cellulase, Novozyme Celluclast/kg/RER
Fermasure	Chlorine dioxide, at plant/RER U
PhibroXact	Potassium permanganate, at plant/RER U
Insecticida	Insecticide, at plant/RER Mass
24D 100 %	2,4-D, at plant/RER Mass
ATRAZINA	Atrazine, at plant/RER Mass
Herbicida	Herbicide, at plant/RER Mass
Corrector Ph	Phosphoric acid, fertiliser grade, 70% in H2O, at plant/US U
DICAMBA	Dicamba, at plant/RER Mass
RIZO SPRAY	C16-18 Alcohol (oleo) Ethoxylate, >20 moles EO (No. 14 - Matrix), at plant, 100% active ingredient/EU-27
GLIFOSATO	Glyphosate, at plant/RER Mass
METOLACLORO	Metolachlor, at plant/RER Mass
Semillas	Maize, seed, at farm/AR Mass INTA-INTI 2019
Transporte marítimo	Transport, sea ship, 80000 DWT, 100%LF, long, default/GLO Mass
Carbón activado	Activated carbon, at plant/RER Mass
Neumáticos	Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U
Envases plásticos	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U
Envases cartón	Kraft paper, unbleached, at plant/RER U

12 Anexo 2

	Perfiles creados para ese estudio
Maíz en grano	Creado en este proyecto con información primaria
Maíz picado ensilado	Creado en este proyecto con información primaria
Maíz picado ensilado c/ uso digestato	Creado en este proyecto con información primaria
Vinaza	No lleva carga ambiental por ser un desecho de otro proceso
Estiércol Bovino	No lleva carga ambiental por ser un desecho de otro proceso
Energía eléctrica de biogás	Creado en este proyecto con información primaria
Calor de biogás	Creado en este proyecto con información primaria
Digestato líquido	Creado en este proyecto con información primaria
Digestato sólido	Creado en este proyecto con información primaria
Gasoil	Creado a partir del perfil: Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} Cut-off, U
Calor de GLP	Creado a partir del perfil: LPG, combusted in industrial boiler, at pulp and paper mill (EXCL.)/I/RNA
Energía eléctrica de biogás c/uso de digestato en lugar de UREA	Creado en este proyecto con información primaria
Calor de biogás con uso de digestato en lugar de urea	Creado en este proyecto con información primaria