



Estudio realizado por INTA para BIOELECTRICA

En el presente documento se resume el análisis de la cadena productiva de biogás partir de silaje de maíz y residuos agropecuarios realizados por Bioelectrica Rio IV Cordoba



## **Análisis de Emisiones Producción de Biogas Bioeléctrica**

Estudio realizado por INTA para BIOELECTRICA.

En el presente documento se resume el análisis de la cadena productiva de biogás partir de silaje de maíz y residuos agropecuarios realizados por Bioeléctrica Rio IV Córdoba

### **Equipo INTA:**

Dirección del estudio  
Jorge A. Hilbert  
Integrantes  
Stella Carballo (responsable análisis rinde y SIMAPRO)  
Jonatan Manosalva (SIMAPRO)  
Nicole Michard (Huella hídrica)  
Estudios técnicos especiales  
Consultor Sebastian Galbusera INTEA S.A.(calculador)  
Leila Schein Especialista en análisis de ciclo de vida  
Universidad de Lujan

### **Equipo BIOELECTRICA:**

Coordinación Bioeléctrica  
Mercedes Vazquez  
Colaboradores Bioeléctrica  
Ana Laura Galizia

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO DEL INFORME

<b>Índice general de contenido del informe</b> .....	3
<b>Índice de tablas</b> .....	4
<b>Índice de figuras</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	7
<b>Emisiones de gases efecto invernadero</b> .....	22
<b>Marco internacional, Conferencia de las Partes y Acuerdo de París</b> .....	29
<b>Análisis de sustentabilidad</b> .....	30
<b>Tasa de retorno energético</b> .....	33
<b>Planificación de actividades en el marco del convenio con BIOELECTRICA</b> .....	34
<b>Ubicación de la planta</b> .....	34
<b>Descripción de los procesos de planta</b> .....	35
<b>Fundamentos del análisis de ciclo de vida</b> .....	46
<b>Reglas de categoría y Declaraciones ambientales de producto</b> .....	54
<b>Modelo de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero</b> .....	58
<b>Producción Agrícola</b> .....	60
<b>Fletes de Materias Primas</b> .....	63
<b>Producción de Biogas y digestato</b> .....	65
<b>Factores de emisión utilizados</b> .....	67
<b>Datos de Actividad</b> .....	70
<b>Calculador de Emisiones BIOELECTRICA</b> .....	72
<b>Breve descripción de las principales hojas del calculador</b> .....	72
<b>ANALISIS 2013 - 2017</b> .....	72
<b>ANALISIS 2016</b> .....	73
<b>HUELLA HIDRICA 2016</b> .....	73
<b>EROI 2013 -2017</b> .....	73
<b>EROI 2016</b> .....	73
<b>Diagrama DE PROCESO</b> .....	73
<b>Grafico inventario</b> .....	74
<b>ANALISIS MENSUAL</b> .....	74

<b>BALANCE GENERAL</b> .....	74
<b>PRODUCCION BIOELECTRICA 1617</b> .....	74
<b>DATOSProducción de SILAJE</b> .....	74
<b>ANALISIS MENSUAL</b> .....	74
<b>RESUMEN SILAJE</b> .....	74
<b>Planillas de calculo de emisiones agricolas</b> .....	75
<b>Cuadros con parámetros de cálculo</b> .....	76
<b>Resultados Periodo Junio 2015- Julio 2016:</b> .....	77
<b>Emisiones Producción de Maíz SILAJE DE MAÍZ</b> .....	77
<b>Fletes de MAIZ PICADO Y ESTIÉRCOLES</b> .....	77
<b>Resumen Cadena Maíz</b> .....	77
<b>Modelización en simapro:</b> .....	82
<b>Balance energético:</b> .....	84
<b>Calculo de huella hidrica</b> .....	88
<b>Discusión:</b> .....	89
<b>Consideraciones finales</b> .....	90
<b>Agradecimientos</b> .....	90
<b>Bibliografía</b> .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción estimada de biogás proveniente de distintas materias primas sobre la base de digestores de mezcla completa y calefaccionados. ....	15
Tabla 2Composición del biogás.....	18
Tabla 3Relación entre la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención y la eficiencia de producción de biogás expresada en metros cúbicos por metro cúbico de digestor.....	19
Tabla 4 Inventario Argentino BUR elaborado 2016/17 por subsectores .....	24
Tabla 5 Datos referenciales de biogás con diferentes rendimientos de materia seca .....	33
Tabla 6 Emisiones incluidas en el estudio .....	58
Tabla 7Emisiones del transporte de referencia .....	65
Tabla 8 Unidades y factores empleados.....	67
Tabla 9 Factores de emisión de la producción primaria .....	68
Tabla 10 Factores de emisión de los energéticos empleados .....	68
Tabla 11 Factores de Emisión para la producción de fertilizante. ....	69
Tabla 12 Factores de emisión de agroquímicos y semillas.....	70

Tabla 13 Consumo de combustibles y lubricantes por laboreo.....	70
Tabla 14 Descripción índice de las hojas contenidas en el calculador .....	72
Tabla 15 Valores establecidos para la totalidad del período declarado por la empresa 2015/16.....	78
Tabla 16 Resumen de resultados Campaña 2018 .....	79
Tabla 17 Emisiones por proceso productivo .....	80
Tabla 18 Valores de referencia de la Argentina .....	80
Tabla 19 Porcentajes de ahorro de emisiones logrados por la planta .....	80
Tabla 20 Cálculo de las emisiones anualizadas tomando en cuenta los posibles usos de la energía .....	81
Tabla 21 Cálculo de la Energía invertida en la etapa agrícola de producción de maíz .....	84
Tabla 22 Cálculo de la inversión energética en transporte .....	85
Tabla 23 Análisis de la etapa de procesamiento y producción de biogas.....	86
Tabla 24 Tabla integradora de consumos energéticos .....	86
Tabla 25 Resultados del balance energético .....	87
Tabla 26 Valores de referencia empleados en el cálculo general.....	88
Tabla 27 Resultados obtenidos por unidad de energía.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de las plantas de biogás del sector agropecuario en Alemania .....	10
Figura 2 Número de plantas en Europa Fuente: Asociación Europea de Biogas 2016 .....	12
Figura3 Campos de aplicación del biogás .....	14
Figura4 Objetivos buscados mediante la implementación de esta tecnología .....	14
Figura5 Componentes de un sistema integral de aprovechamiento de biomasa mediante el uso de la digestión anaeróbica .....	17
Figura6 Etapas principales del proceso .....	17
Figura 7 Visión sistémica de los beneficios del biogás hecho correctamente .....	20
Figura 8: Emisiones de GEIs- BUR elaborado 2016/2017 .....	24
Figura 9 Emisiones del sector energía BUR elaborado 2016/17 .....	25
Figura 10 Evolución Emisiones de GEIs Argentina – Sector Energía. ....	26
Figura 11: Combustibles empleados la generación eléctrica en la Argentina Fuente CAMMESA <a href="http://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Pages/Informes%20por%20Categor%C3%ADa%20Publico/Varios/anual.aspx">http://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Pages/Informes%20por%20Categor%C3%ADa%20Publico/Varios/anual.aspx</a> .....	27
Figuran12 Regulaciones que afectan a los biocombustibles en Argentina .....	28
Figura 13 Proceso de obtención de energía eléctrica a partir de biogás producido con maíz picado y desechos agroindustriales. ....	35
Figura 14 Diagrama de bloques para la producción de biogás y energía eléctrica a partir de biomasa. ....	38
Figura 15: Esquema de las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico .....	43
Figura 16 Portal de los PCR y EPD .....	55
Figura 17 Relevamiento de ubicación y distancia de los campos relevados en relación con los proveedores de la empresa. ....	61
Figura 18 Esquema del módulo fletes de BIOELECTRICA .....	64
Figura 19 Esquema del módulo industrial .....	66
Figura 20 Participación porcentual de las emisiones de la totalidad del período analizado .....	78
Figura21 Emisiones por actividad .....	79
Figura 22 Modelo producción silaje de maíz desarrollado para su ingreso en el SIMAPRO adaptado de Boone et al. ....	83
Figura 23 Modelo industrial desarrollado para su ingreso en el SIMAPRO adaptado de Boone et al .....	84
Figura 24 Participación energética de cada uno de los componentes analizados. ....	87

## INTRODUCCIÓN

El metano es una de las moléculas más importantes en la tierra, algunas teorías indican que la atmósfera primitiva de nuestro planeta estaba formada por metano, agua, hidrógeno y amoníaco y fue a partir de la combinación de estos gases que se crearon los primeros aminoácidos que dieron origen a la vida. Esto se conoce como el experimento Miller-Urey. Más del 90% del metano existente hoy en el planeta fue –y sigue siendo- producido por organismos vivos. En nuestra vida diaria dependemos del metano que nos llega a nuestros hogares en forma de gas natural.

El gas natural es un combustible fósil almacenado en profundidad que surgió a partir de la transformación biológica de materia orgánica hace millones de años. Se ha transformado en una de las principales fuentes de energía primaria del mundo, ocupando aproximadamente un 22% del total, siendo superado por el petróleo y el carbón. Según el último anuario estadístico de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) es la fuente de energía primaria que más ha crecido en las últimas décadas. Su facilidad para ser transportado por ductos y llegar a los consumidores les dio una ventaja respecto a los otros combustibles. La tecnología criogénica que transforma el gas natural en GNL o gas natural licuado también permitió su comoditización en los mercados internacionales.

El biogás y el biometano representan la versión renovable del gas natural. Hablaremos del biogás como una fuente de energía primaria ya que entendemos que las principales fuentes de energía primaria (carbón, petróleo y gas) requieren para su calificación como tales el conocimiento de sus reservas, depósitos y yacimientos, tecnología de perforación y extracción adecuadas y demás manejos. En el caso del biogás se requiere un conocimiento de productos y residuos que se generan diariamente y que de no gestionarse generan depósitos con posible efecto contaminante, también se requiere una tecnología para su adecuado manejo y la extracción de la fracción energética en forma de metano de esta materia orgánica sujeta a un proceso tecnológico controlado.

A partir de la aparición de los seres vivos en la tierra se desarrolla la fermentación anaeróbica como mecanismo de degradación y reciclado de la materia orgánica, que tiene como principal subproducto el metano. Este proceso se da en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, las lagunas de tratamiento o disposición final de residuos orgánicos, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos, así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos (denominado fermentación entérica). En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas (generadoras de metano).

El presente informe está centrado en la transformación de la biomasa (materia orgánica derivada de individuos recientemente vivos) que en ausencia de oxígeno produce biogás (mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH<sub>4</sub>) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>) y nitrógeno (N)) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Las bacterias metanogénicas (generadoras de metano) en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al ambiente los elementos básicos

para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano. (Argentina consume unos 42 millones de toneladas o 54 mil millones de metros cúbicos por año)

Las condiciones anaeróbicas ocurren solamente en ausencia de oxígeno. Para reproducir estas condiciones se emplean plantas de biogás o biodigestores como unidades bien cerradas, como una laguna cubierta o un silo comúnmente de hormigón con techo de membrana. El metano es el combustible que surge de la transformación de residuos y otros compuestos orgánicos, el biogás logra un poder calorífico que oscila entre los 5.500 y 6.000 Kcal/m<sup>3</sup>. Este gas puede ser empleado en todas las aplicaciones normales del gas natural u otros gases combustibles.

Debido a que el biogás no es igual al gas natural, en muchos países del mundo se realiza la separación de la fracción de metano del biogás para producir el “biometano”, lo interesante de este producto es que su almacenaje, transporte y uso (generación eléctrica, transporte –GNC-, industria o uso residencial) es idéntico al del gas natural y su poder calorífico es de 9.000 Kcal/m<sup>3</sup>. Con los beneficios sociales, económicos. En otras palabras, el biometano es la versión moderna y renovable del gas natural con idéntica composición química y similar poder calorífico.

El biogás va tomando importancia en Argentina y en el mundo porque es una forma de energía renovable de alta calidad, de generación distribuida y de sencillo manejo que se puede entregar en forma firme a la demanda, y así complementar a la energía eólica y solar que solo están disponibles con viento o sol, o sustituir a las no renovables que generan un pasivo ambiental llamado cambio climático.

La Argentina se caracteriza por un sólido sector agropecuario y agroindustrial, la producción de granos, carnes, productos lácteos, alimentos, etc. Esta actividad genera una gran cantidad y diversidad de residuos y subproductos agropecuarios, como los agroindustriales y estiércoles. Todos estos tienen un enorme potencial de generación de biogás o biometano, que, al no ser utilizado, puede volver como un búmeran en forma de contaminación ambiental y emisiones de gases de efecto invernadero. Según la Tercera Comunicación Nacional Sobre el Cambio Climático presentada por la República Argentina en la COP 21 de París la agricultura, ganadería y cambio en el uso del suelo implican la mitad de las emisiones del país y la gestión del estiércol (animales de distintas especies que depositan su orina y heces en pisos de material y deben ser limpiados por sus cuidadores generan una cantidad importante de metano y óxido nitroso, que si se utilizaran en parte para producir biogás serían evitadas. Estas emisiones suman 2.215,49 Giga gramos de CO<sub>2</sub> equivalente, a esto debemos sumar una parte de las llamadas emisiones indirectas que suman 5.535,85 Giga gramos de CO<sub>2</sub> equivalente. Las emisiones de la industria frigorífica son pequeñas en proporción, sin embargo, estos residuos también podrían utilizarse para generación de biogás, disminuyendo el impacto ambiental de estas plantas de faena y mejorando su balance energético.

Como ejemplo de la importancia de los efluentes podemos tomar al sector porcino que genera unos 200 litros de líquido por cerda por día. Según el SENASA en 2015 la Argentina tenía 946.000 cerdas las que generaron unos 70 millones de toneladas de residuo líquido conteniendo cerca de 3 millones de toneladas de material sólido.

A estos sectores se le suman otra serie de generadores de residuos fundamentalmente concentrados en centros urbanos de diferente tamaño distribuidos a lo largo de todo el país. Las grandes ciudades concentran recursos orgánicos e inorgánicos que luego producen importantes problemas de disposición final. Estos residuos terminan afectando los suelos de áreas periféricas y aún distantes al ser transportados por los ríos y

el viento. La digestión anaeróbica y su biogás cumplen un rol central balanceando, como ninguna otra tecnología, cuidado del ambiente con demanda energética. Muchas grandes ciudades del mundo tratan sus residuos cloacales y sus residuos sólidos urbanos en grandes plantas generadoras de biogás. Este complementa su demanda energética, reduciendo en forma dramática la necesidad de construir rellenos sanitarios. En muchos casos la disminución es de más del 90%, y la energía aportada es a costos competitivos a los precios actuales.

La realidad actual impone en las agendas de todos los sectores productivos y de servicios que interactúan con el medio ambiente y específicamente con los suelos el adecuado tratamiento y disposición de los residuos orgánicos generados. Sumado a esto, cuando hablamos de contaminación, no solo nos limitamos a la del agua y el suelo sino también a la atmosférica ya que la emisión de gases efecto invernadero como el metano liberado de las lagunas sin control contribuye en gran medida al calentamiento global del planeta.

Los acuerdos alcanzados en la COP21 a nivel planetario imponen asimismo un replanteo del tipo de desarrollo y tecnologías empleadas con el objetivo de lograr las ambiciosas metas establecidas para los próximos años, acompañadas con financiamiento disponible para los países en desarrollo.

Si analizamos las distintas alternativas de mitigación, según la óptica del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de las Naciones Unidas o IPCC, encontramos que el biogás es la energía renovable que genera el mayor número de aportes a la disminución del cambio climático, los principales rubros donde disminuye las emisiones de Gases de Efecto Invernadero son:

- Disminuir las emisiones por el consumo de combustibles fósiles a partir de la sustitución con un combustible renovable.
- Disminuir las emisiones por el consumo de energía en la fabricación de fertilizantes químicos en base a nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y otros elementos clave para la producción agrícola.
- Retirar del ambiente residuos orgánicos emisores de metano, óxido nitroso o CO<sub>2</sub> y transformar estos gases en energía, fertilizantes o productos de alto valor.
- Disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la agricultura por el uso de fertilizantes orgánicos en lugar de químicos.

Por estas razones entendemos que la inclusión del biogás, en importante escala de participación en la matriz energética nacional, es indispensable si nuestro país pretende hacer un aporte significativo al compromiso tomado en la COP 21 en París en una nueva presentación de sus INDCS (Contribuciones Nacionales Previstas Determinadas). Algo que no se hizo en la versión actual a pesar de los pedidos del Comité Asesor del Sector Privado ante la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, durante la preparación de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

***Estado actual de la industria del biogás en países seleccionados,***

En el actual sistema económico mundial, la oferta de energía suficiente y el cuidado del medio ambiente representan elementos claves para el desarrollo de una economía sustentable; sin embargo, ambos conceptos no son totalmente compatibles entre sí. Así, las fuentes de energía renovable, entre ellas el biogás, parecen ser una alternativa que no sólo compatibiliza sino también transforma en complementarios ambos conceptos. En este sentido, cabe destacar que no existe una “receta” que garantice el éxito nacional en el desarrollo de energías renovables, sino que el desafío se encuentra en investigar y conocer los mecanismos empleados en países que las han desarrollado, para luego seleccionar y adaptar éstos a la realidad imperante en nuestro país.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico. Paralelamente los adelantos en electrónica, comunicaciones y calidad de materiales han permitido lograr importantes mejoras en el rendimiento y confiabilidad de las plantas de tratamiento y producción.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. (GMI 2014)

El biogás posee una muy larga historia a nivel mundial con una difusión creciente y sostenida en todo el mundo. Uno de los países líderes en tecnología de biogás orientada específicamente a la generación de energía con una masiva aplicación de digestatos en suelos agrícolas es Alemania con más de 8900 plantas en operación superando los 4100 MW instalados fundamentalmente en campos agrícolas sobre una base de alimentación mixta entre residuos animales y forrajes como el silo de maíz.

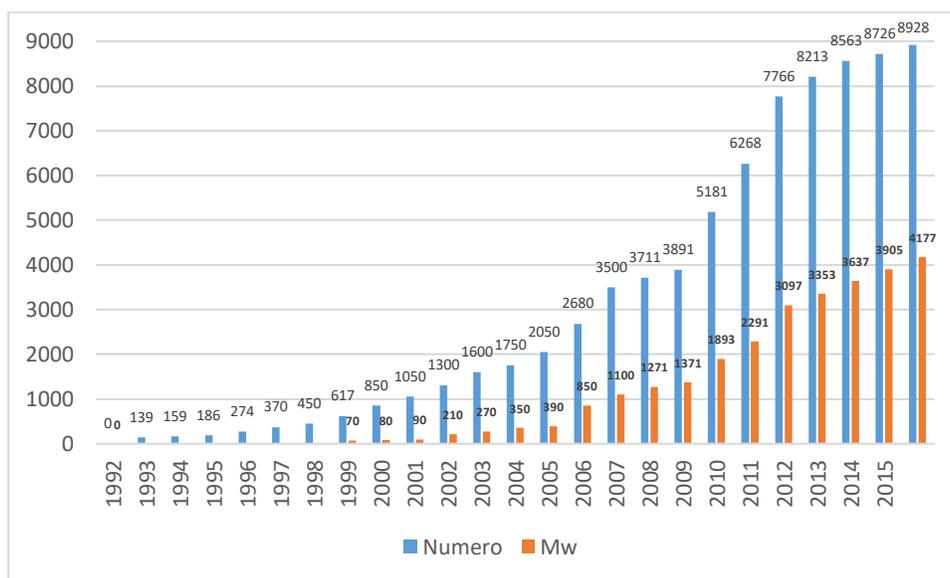


Figura 1: Evolución de las plantas de biogás del sector agropecuario en Alemania

De acuerdo a las últimas cifras (2015) de la European Biogas Association el número total de plantas en Europa ha llegado a 17240 con una producción de 63,3 Twh suficiente para abastecer de energía a 14,6 millones de familias.

Alemania comenzó a incentivar las fuentes de energía renovable a partir de 1990, sin embargo, fue durante la década pasada, entre 2000 y 2010, que la cantidad total de electricidad generada a partir de biomasa se sextuplicó. La biomasa representó casi un tercio de la electricidad renovable en Alemania y el 6% de la cartera energética nacional (Fulton&Capalino, 2012). El instrumento clave que ha dado el verdadero impulso ha sido la Ley Nacional de Energías Renovables (EEG) que entró en vigencia en el año 2000, considerada el motor de expansión de las energías renovables, en general, y uno de los instrumentos más importantes de protección climática.

Según el BiogasBarometer de la Unión Europea en 2013 se produjeron 14.300 millones de Nm<sup>3</sup> biogás, estimándose que para 2016 podrán alcanzarse los 20.000 millones de Nm<sup>3</sup> de este combustible. Alemania lidera la producción con 7.210 millones de Nm<sup>3</sup> de biogás en 2013. Alemania importa unos 60.000 millones de Nm<sup>3</sup> de gas natural por año, por lo tanto, el biogás aporta un 12% de la energía primaria de ese país. Esta producción la realizó a partir de un millón de hectáreas de silaje de maíz que aportó el 59.6% de la materia prima, 16.3% fue provisto por otros cultivos energéticos, 12.3% por estiércol líquido, 7.9% residuos orgánicos de varios orígenes y 3.9% residuos de cosecha.

Es importante recordar que, según las estadísticas del Ministerio de Energía de la Nación, la Argentina en 2015 importó 5.314 millones de Nm<sup>3</sup> de gas natural como GNL (Gas Natural Licuado), es decir que con el aumento de área esperada para la siembra de maíz de este año (2016) se podría sustituir completamente la importación de GNL. En otras palabras, Argentina podría sustituir completamente las importaciones de GNL con menos del 4% del total del área sembrada anualmente.

Bajo la EEG 2009, se introdujeron los incentivos para la inyección de biogás en las tuberías de gas natural, pero hasta el año 2011 sólo el 1% de las plantas de biogás (87 plantas específicamente) habían sido diseñadas para producir biometano calidad gasoducto. En 2016 solo las plantas nuevas de biogás para electricidad de menor tamaño pueden acceder a la tarifa eléctrica subsidiada. Por esta razón el crecimiento actual del biogás en la UE se está dando en la producción de biometano para sustituir al gas natural importado.

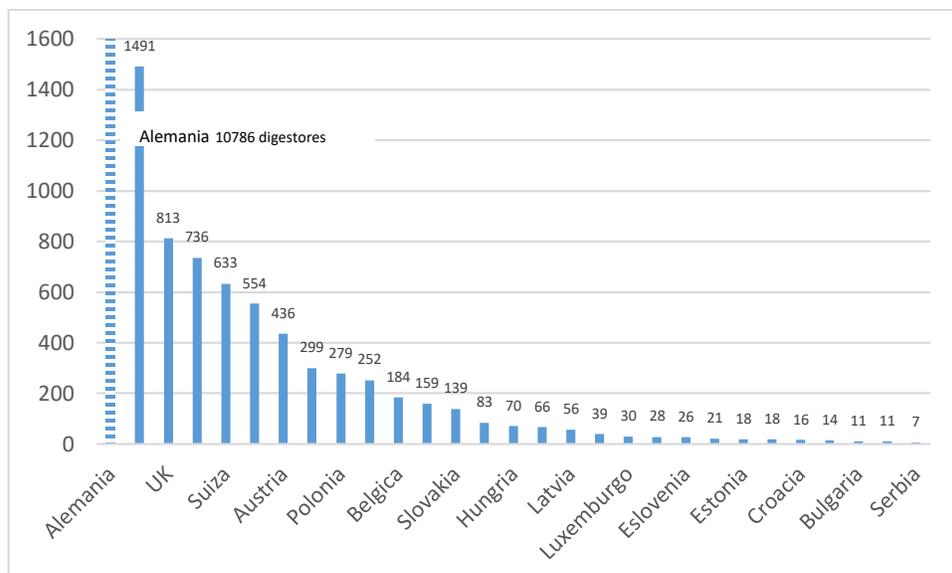


Figura 2 Número de plantas en Europa Fuente: Asociación Europea de Biogas 2016

La normativa de energías renovables favoreció inicialmente a la electricidad y por esta razón se tomó en muchos países al biogás como la fuente de energía para generación eléctrica y no como una fuente de energía primaria, hoy eso está cambiando y en la UE y los EEUU y empiezan a aparecer estaciones de servicio que venden biometano vehicular, o se inyecta el biometano a las redes o gasoductos existentes para sustituir al gas natural en los demás usos. Finlandia posee estaciones de servicio que venden “biometano vehicular” se logra esto mediante un balance entre inyección y ventas de este gas en la red común de abastecimiento de gas del país.

En esta nueva comprensión del biogás, uno de los debates más recientes está relacionado con la necesidad de almacenar energía en los sistemas eléctricos dominados por generadores de energía no firme (eólica y solar) y se ve al biometano y a la transformación del CO2 separado del biogás con las tecnologías “power to gas” (“electricidad a gas”) como el camino más eficiente para almacenar la electricidad excedentaria generada por las granjas eólicas y solares. El objetivo es almacenar biometano durante las horas de electricidad excedentaria y luego utilizarlo en ciclos combinados u otros equipos de alta eficiencia para generar electricidad en las horas de ausencia de viento o sol.

El desarrollo de India como de China se basa fundamentalmente en digestores de pequeño tamaño a nivel rural. India tiene instalados más de 4 millones de digestores en el sector agrícola con volúmenes que oscilan entre 2 y 5 metros cúbicos. A esto se suman más de 5500 plantas agroindustriales y un crecimiento de 25 plantas que generarán 30 Mwatts. China por su parte posee más de 8 millones de digestores en las pequeñas comunidades rurales. A esto se suman plantas de mediano y gran porte en establecimientos intensivos y agroindustrias. Este país posee uno de los centros de investigación y desarrollo más importante a nivel mundial ubicado en Chengdú Provincia de Sichuan.

En conclusión, vemos que el biogás está apareciendo como una de las formas más importantes de generación de energía limpia y firme desde las zonas rurales más remotas y pobres hasta los centros urbanos más complejos y desarrollados.

El biogás va desplegando su extraordinario potencial y su capacidad de transformar:

- residuos en energía.
- costos en ingresos.
- contaminación local y global en mejora del ambiente en los ecosistemas acuáticos y terrestres.
- desempleo y pobreza en actividad económica y desarrollo social.
- Desarrollo científico, tecnológico y educativo a partir del avance de la frontera del conocimiento en: energía, microbiología, genómica, biotecnología, suelos, informática, nanotecnología y las demás ciencias de la Bioeconomía.
- Sustitución de fertilizantes sintéticos por biofertilizantes producidos localmente.

### ***Tecnología de producción y uso del biogás***

#### **Materias Fermentables y etapas del proceso**

A pesar que el proceso biológico de generación de biogás existe en la naturaleza desde la aparición de la vida en la tierra, su tecnología ha avanzado lentamente hasta muy recientemente. Solo a partir de las últimas décadas se ha puesto foco las ciencias que confluyen en esta actividad y muchas de estas, en particular las relacionadas con la genómica, la biotecnología, la bioinformática y la energía se encuentran en un proceso de rápido avance que genera mejoras de eficiencia y competitividad en forma constante y permiten prever una importancia creciente para esta actividad.

En los últimos tres años se ha comenzado a estudiar la composición de las comunidades microbianas que generan biogás. Esto se realiza utilizando distintas técnicas que incluyen la genómica y metagenómica de una célula para identificar a los miembros dominantes de cada comunidad. Hasta ahora, solo una ínfima cantidad de los microorganismos han sido aislados, y se calcula que el 99% de los mismos no pueden ser cultivados fuera de su ambiente, por lo tanto, la secuenciación metagenómica es el único camino para obtener información no- sesgada de la composición de la comunidad en un digestor anaeróbico y conocer el potencial genético de los miembros importantes para la mejora en la capacidad de generación de biogás.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes. Como puede apreciarse en la figura n°..., según los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. Analizaremos brevemente la evolución y estado actual de cada uno de los campos descriptos.



Figura3 Campos de aplicación del biogás



Figura4 Objetivos buscados mediante la implementación de esta tecnología

Las plantas de *tratamiento de desechos industriales*, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales. Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad), trabajan a temperaturas hemofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales: calor, electricidad

y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales. La Argentina cuenta con equipos de este tipo en industrias diversas como la citrícola, levaduras, procesadoras de maíz, cerveceras, procesadoras de papas e industria lácteas, entre otras.

La **aplicación del biogás en el área rural** ha sido muy importante, dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el **primero**, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía. En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento, fáciles de operar. En muchos casos esto trae aparejado bajas eficiencias, así como niveles de producción de energía reducidos.

El **segundo** tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Vietnam y Filipinas; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por este tipo de digestores no ha sido significativa.

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa (se estima un total de 10.000 digestores en los países de la C.E.E.); en el resto del mundo si bien los números son menores esto no se debe a restricciones de orden tecnológico sino a problemas de contexto que no favorecen la adopción masiva de esta tecnología. La Argentina está dando sus primeros pasos en este sentido con dos plantas que supera el mega watt de potencia alimentados con residuos animales y silaje de maíz.

### Materias fermentables y etapas del proceso

La producción de biogás necesita una provisión de materia orgánica con alta capacidad de ser degradada. Los digestores pueden alimentarse con distintas materias primas. Existen variables técnicas medibles en cada tipo de sustrato entre los cuales puede mencionarse el porcentaje de sólidos, sólidos volátiles digeribles, demanda química de oxígeno, sólidos volátiles degradables. De acuerdo a las características del sustrato y a las condiciones de operación existen otros parámetros que nos brindan información sobre la eficiencia y modo de trabajo de las plantas como son el pH, alcalinidad, etc. Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y residuos de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

**Tabla 1 Producción estimada de biogás proveniente de distintas materias primas sobre la base de digestores de mezcla completa y calefaccionados.**

	Materia seca(%)	Materia orgánica (%)	m3 de biogás t MS org.	Potencia (m <sup>3</sup> ) de BG cada t de materia fresca
--	-----------------	----------------------	---------------------------	--

Silaje de maíz	32 %	94 %	642 m3	193 m3
Estiércol de cerdos estabulados en la RA	1 %	45 %	354 m3	1,6 m3
Estiércol de vacas lecheras en la RA	2 %	60 %	354 m3	4,2 m3
Estiércol de vacunas / feedlot (posible)	8 %	80 %	400 m3	25,6 m3
Guano de gallinas ponedoras	45 %	75 %	500 m3	169 m3
Granos / cereales (off spec)	87 %	98 %	700 m3	597 m3

Debemos considerar a esta tecnología como un sistema que se inserta en el esquema de producción en el cual podemos diferenciar las etapas de:

1. Captación, traslado y adecuación de la materia prima
2. Producción de biogás
3. Entrega del biogás para su uso como fuente de energía
4. Captación, adecuación y uso de los subproductos sólidos y líquidos remanentes

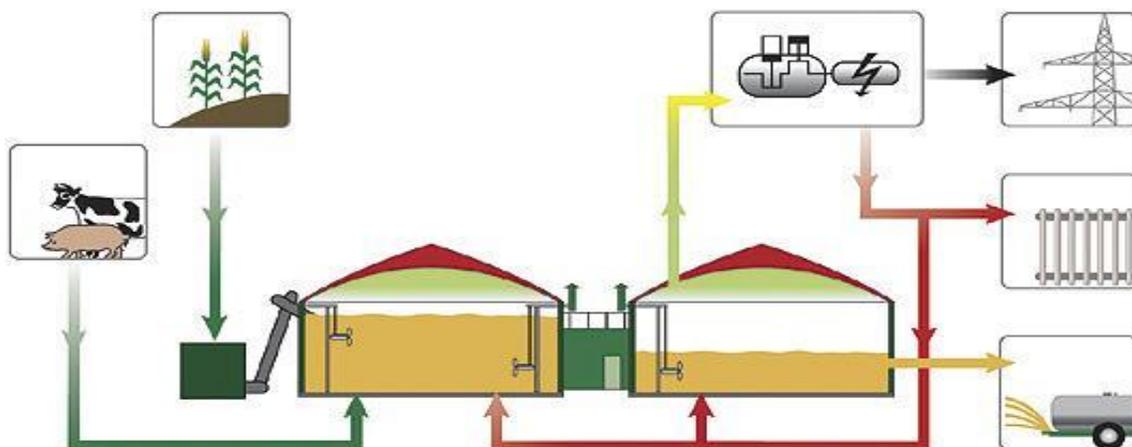


Figura5 Componentes de un sistema integral de aprovechamiento de biomasa mediante el uso de la digestión anaeróbica

Básicamente el sistema integral incluye a las instalaciones apropiadas para la recolección y limpieza de los residuos, una cámara de recepción, una de digestión denominada comúnmente reactor y un depósito de efluentes tratados que deben ser empleados adecuadamente. Por otro lado, están las líneas de gas y los depósitos y sistemas de uso. Cada una de las partes enunciadas es crucial y un proyecto puede fallar si alguna de ellas no está debidamente atendida.

La producción de gas de un digester anaeróbico es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que puede estar concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma. La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido. Por lo tanto, cuanto más concentrado esté el consumo en un período de tiempo corto, mayor será la necesidad de almacenaje. Por lo general el volumen de almacenamiento no baja del 50% de la producción diaria. Hilbert <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>

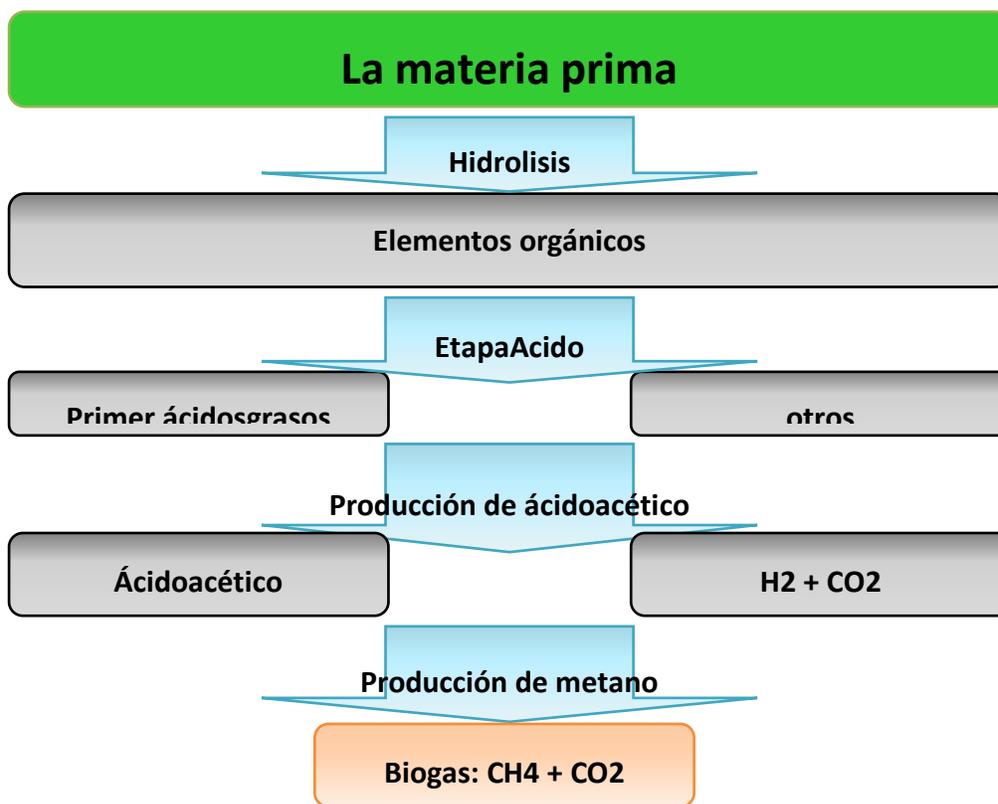


Figura6 Etapas principales del proceso

Tabla 2 Composición del biogás

Componentes	Concentración, porcentaje
Metano ( CH4)	50 – 75 %
Dióxido de carbono (CO2)	25 – 45 %
Agua (H2O)	2 – 7 Vol. %, (a 20-40 °C)
Ácido sulfhídrico	20-20.000 ppm
Nitrógeno (N2)	< 2 Vol.-%
Oxígeno (O2)	< 2 Vol.-%
Hidrógeno (H2)	< 1 Vol. -%

Para el caso de plantas del sector agropecuario el análisis preliminar de todo tipo de tecnología debe tomar como punto inicial el aspecto humano. En este tema entran a jugar la capacidad de la mano de obra, el tiempo disponible que se puede dedicar a la nueva actividad y la predisposición a realizarla. Estos factores se tornan limitantes en muchos lugares y establecimientos debido a la sobrecarga de tareas y responsabilidades a cargo del personal y a la predisposición al manejo del estiércol o residuo que está condicionada al tipo de manipulación que se hacía del mismo, con anterioridad a la introducción de esta nueva técnica. Se deberá por consiguiente buscar para el análisis un tipo de digestión que no altere en forma significativa las tareas y manejo que se venían realizando tratando de economizar la cantidad de horas/hombre para la operación.

Desde el punto de vista de la materia prima será necesario contar con un sistema de fácil recolección y manipulación evitándose en las zonas frías el lavado con agua de las instalaciones el cual produce grandes volúmenes con altas diluciones y bajas temperaturas. En algunos casos como los feedlots la introducción de esta tecnología implica importantes inversiones en el cementado de pisos de corrales, enrejados de recolección de estiércol y canales de conducción, así como colocación de techos para evitar el agua de lluvia.

El medio ambiente con sus características climáticas y de suelo condicionan el tipo de digester a construir incidiendo también en la selección del modelo y el monto de la inversión inicial necesaria ya que existen parámetros que pueden ser modificados como la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de carga volumétrica, los cuales están relacionados entre sí y determinan la eficiencia final del digester y la energía neta disponible. Dada la importancia que tienen las condiciones agroclimáticas, fundamentalmente la temperatura, en la determinación de costos y definición de la técnica a emplear analizaremos con mayor profundidad este aspecto.

Para las zonas templadas y frías existen dos opciones principales que deben considerarse a fin de dimensionar y diseñar el reactor. Estas opciones están determinadas fundamentalmente por la temperatura de trabajo del equipo pudiéndose optar entre temperaturas: ambiente 10°C a 25°C, mesofílica 30°C a 40°C, y termofílica 40°C a 55°C. El rango de temperatura en que finalmente trabaje el sistema determinará el tiempo de permanencia de la materia en el digester o tiempo de retención y la eficiencia de producción de biogás. En el cuadro n°... se observa cómo se modifican cada uno de los parámetros enunciados.

**Tabla 3 Relación entre la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención y la eficiencia de producción de biogás expresada en metros cúbicos por metro cúbico de digestor**

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RETENCIÓN (DÍAS)	EFICIENCIA (m3 biogás/m3 digestor)	CALEFACCIÓN
10 - 25	50 – 70	0,01 - 0,30	NO
30 - 40	20 - 30	0,70 - 1,00	SI
40 – 55	10 – 20	1,00 - 2,00	SI

La modificación de los tiempos de retención tiene una directa influencia sobre el tamaño del digestor requerido para un mismo volumen de material a digerir con la consiguiente modificación de la inversión inicial necesaria. El proceso no genera calor suficiente para elevar y mantener la temperatura por lo tanto se requerirán sistemas de calefacción, aislación y control en el caso de optarse por trabajar en el rango meso o termofílico. Estos sistemas y controles también inciden en los costos iniciales y de mantenimiento de los digestores.

#### Mejoras a los sistemas de biogás “Biogas done right”

La tecnología del biogás ha ido sufriendo una serie de mejoras y modificaciones a lo largo de los últimos años buscando mejorar su rentabilidad y sustentabilidad. Inicialmente las fuertes promociones logradas a través de tarifas muy preferenciales de la energía eléctrica generada está dando lugar a una nueva etapa donde unos conjuntos importantes de productos tienen que sostener la rentabilidad de los sistemas. Esta primera fase sirvió para lograr un gran número de plantas en funcionamiento consolidando una industria y sentando una fuerte base desde donde seguir creciendo.

Muchos de estos conceptos han sido implementados en Italia que se ha convertido en el tercer después de China y Alemania, con más de 1.400 plantas de biogás que producen más de 2,2 billones de Nmc / año de equivalente de biometano hasta ahora. La marca inherente que caracteriza al biogás italiano es el desarrollo de los llamados "Biogasdone right®" BDR en adelante.

Este concepto se traduce en una reestructuración de las actividades de los establecimientos agropecuarios alrededor de las plantas de digestión anaeróbica fortaleciendo la capacidad de generación de una variada cantidad de productos con mayor valor agregado. Sumado a estos sustratos se incorporan al sistema la llamada "biomasa de integración" con la incorporación de intercultivos que aprovechan los períodos en los cuales las tierras agrícolas se encuentran ociosas a lo largo del año. El conjunto de biomasa empleado mejora la sustentabilidad y permiten definir al biogás generado como un biocombustible avanzado, ya que no causan efectos relacionados con el cambio indirecto del uso del suelo y logran contribuir a la sustentabilidad de los

establecimientos productivos con mejoras en la calidad física y química de los suelos al mismo tiempo que alcanzan niveles significativos de reducción de gases efecto invernadero.

Los digestatos son utilizados en forma eficiente incorporándolos al suelo para evitar fuertes pérdidas de nitrógeno a la atmósfera y se emplean tecnologías ligada a la agricultura de precisión para lograr una aplicación sitio específica del mismo a campo.

Las prácticas agronómicas del BDR provocan una modificación sustancial de la agricultura

- induce un mayor grado de reciclaje de efluentes ganaderos y por productos
- promueve la producción de ensilajes incluso cuando no se dispone de una industria
- mantiene el suelo cubierto casi todo el año y por lo tanto reduce considerablemente las emisiones de los gases de efecto invernadero de las tierras y mejorar la actividad de la fotosíntesis;
- Aumenta el número de rotaciones aumentando así la biodiversidad.
- Mejora la fertilidad del suelo a través del aumento de la biomasa en el suelo (raíces, partes de las plantas)
- Restaura la fertilización orgánica a través de digestato de biogás o biofertilizante.



Figura 7 Visión sistémica de los beneficios del biogás hecho correctamente

La implementación de esta metodología BDR traería para Argentina una serie de beneficios importantes ya que atendería en forma conjunta a una serie importante de los principales problemas que enfrentan las áreas agrícolas del país:

- Déficit energético y creciente importación de combustibles especialmente gas.
- Creciente déficit nutricional de los suelos agrícolas por falta de reposición de nutrientes y descenso en los niveles de materia orgánica y crecientes problemas de orden físico de los suelos.
- Incremento de los ciclos hídricos con las consecuentes inundaciones e incremento de las napas freáticas
- Creciente uso de herbicidas y resistencia de malezas
- Necesidad de mejorar el retorno económico de los campos y flujo de fondos a lo largo del año
- Contaminación por efluentes de napas freáticas ríos y lagunas y altos niveles de emisiones a la atmósfera de residuos orgánicos

La sumatoria de tiempo y superficie que se encuentra sin actividad biológica en argentina es muy alta. La incorporación de los inter cultivos contribuiría a un aumento significativo de la biomasa disponible al mismo tiempo que ayudaría al consumo de agua excedentaria en los suelos. Durante el presente año se tuvo la oportunidad de estudiar y visitar un establecimiento lechero del norte de Italia donde la práctica del BDR se ha consolidado a lo largo de los últimos años. Se pudo constatar que sumado a los beneficios enunciados se han multiplicado la cantidad de productos comercializables multiplicando por 20 el nivel de ingresos en ocho años. Entre los productos generados verificados se encontraban heno con secado controlado para venta de alta calidad, servicio de secado a terceros, fertilizantes líquidos concentrados, cama celulósica pasteurizada para animales estabulados, electricidad para su inyección a la red y digestato para su aplicación sitio específica.

Se considera que el BDR es la forma de encarar el desarrollo de la tecnología del biogás en la Argentina evitando el recurrir a monocultivos para su alimentación y manteniendo una visión sistémica de la producción. Su implementación contribuiría a solucionar una serie importante de problemáticas hoy en día disociadas. Por otro lado, en ciertos lugares específicos también permitiría un abordaje integral de problemáticas regionales como por ejemplo la que se presenta en el alto valle de rio negro.

Desde el punto de vista energético dejar de desperdiciar gran parte de la energía que se produce constituye un paso fundamental para mejorar la rentabilidad de los sistemas en el tiempo. Entre las alternativas posibles se encuentran la inyección de metano en la red de distribución ya que las mismas poseen un amplio margen de capacidad de almacenamiento o complementariamente el uso de la energía térmica.

## EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO

La problemática ambiental figura como uno de los temas de agenda para todos los países del mundo. En los últimos años, las negociaciones sobre cambio climático han ocupado un lugar cada vez mayor en el escenario internacional. La respuesta inicial para combatir el cambio climático comenzó en la Convención de Río de 1992, con la adopción de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). El objetivo de la CMNUCC es *“la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático”*. La República Argentina ratificó la CMNUCC el 11 de marzo de 1994 a través de la ley 24.295, en cuyo Artículo 1 define al cambio climático como *“un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.*

En el marco de la CMNUCC, se llevan adelante los espacios para debatir sobre los planes de acción para alcanzar los objetivos, estas reuniones se denominan *“Conferencia de las partes”* (COP), y se desarrollan una vez por año. EL acuerdo alcanzado en París en noviembre del año 2015 fue ratificado un mes después por 55 países responsables del 55% de las emisiones. Argentina ratificó el acuerdo por la ley 27270 del 19 de septiembre de 2016.

Las emisiones totales de cada país son calculadas mediante una metodología pre acordada llamadas *“Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”* del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) que permite una cuantificación del total emitido, así como detectar los sectores con mayor impacto dentro de la economía.

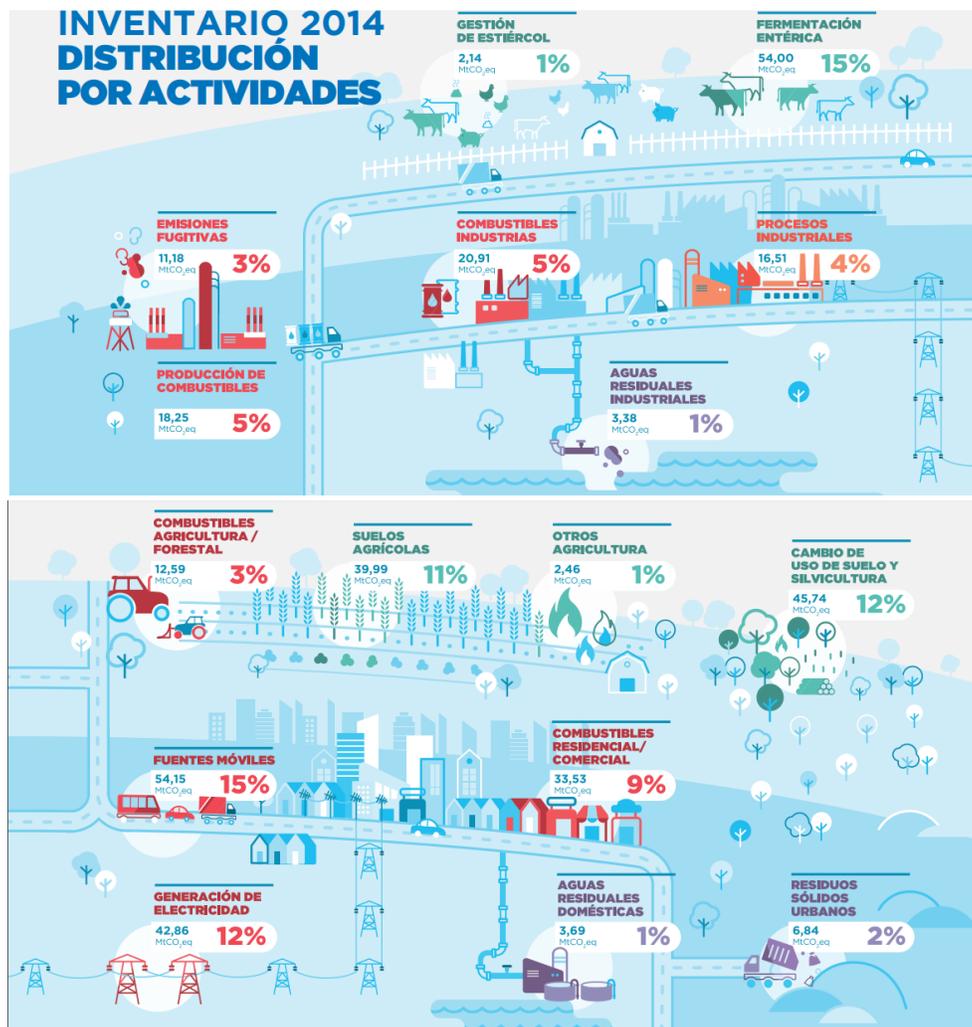
La acción frente al cambio climático involucra un proceso de toma de decisiones donde subyacen consideraciones tanto en el plano moral, como de justicia social y de derechos humanos. Debemos trabajar en profundidad sobre esta problemática buscando cambios en los hábitos y prácticas, tanto a nivel colectivo como individual, en pos de alcanzar un desarrollo sustentable que no comprometa las capacidades y libertades de las generaciones futuras. A nivel nacional, se aborda esta temática con un enfoque estratégico, a través del Gabinete Nacional de Cambio Climático que reúne organismos gubernamentales nacionales y provinciales, sector privado, académico, sociedad civil y asociaciones de trabajadores, en el cual se definen y validan las acciones del gobierno nacional para mitigar el cambio climático y adaptarnos a sus efectos. En el plano internacional, Argentina decidió ser parte activa en esta lucha contra el cambio climático, declarando su esfuerzo a través de la presentación de su Contribución Nacional en la cual se propone limitar el crecimiento de emisiones al año 2030. Este compromiso busca revertir la tendencia creciente de emisiones de gases de efecto invernadero a través de la implementación de políticas y acciones en materia de cambio climático que permitan contener el crecimiento de emisiones y definir una estrategia de descarbonización del crecimiento a futuro. Dentro de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, los países en desarrollo tienen la obligación de presentar cada dos años los Reportes Bienales de Actualización (BUR) que contienen los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Los inventarios se calculan para el bienio anterior, por tanto, el inventario realizado durante el año 2016 estima las emisiones hasta el año 2014. Argentina ha elaborado su Segundo BUR para dar cumplimiento a sus compromisos internacionales.

El efecto invernadero es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera *“atrapan”* la radiación que la Tierra emite al espacio. Esta emisión de la Tierra es producto del calentamiento de su superficie por la incidencia de la radiación solar (ver ilustración). Así, el efecto invernadero hace que la temperatura media de la Tierra sea de alrededor de 33 °C más que si este proceso no ocurriera. Asimismo, aunque la superficie terrestre, los océanos y los hielos son calentados directamente por el Sol, no absorben toda la energía. Parte de esta es devuelta hacia la atmósfera como otro tipo de energía que, una vez en ella,

es retenida momentáneamente por el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), entre los más importantes. Los gases que tienen esta propiedad se denominan GEI. También el vapor de agua presente en la atmósfera realiza una contribución importante al efecto invernadero, pero no se contempla debido a que su concentración no varía producto de las actividades antrópicas.

El potencial de calentamiento global (PCG) es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención del calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO<sub>2</sub>, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que produce un gas, mayor será su capacidad de retención del calor en la atmósfera.

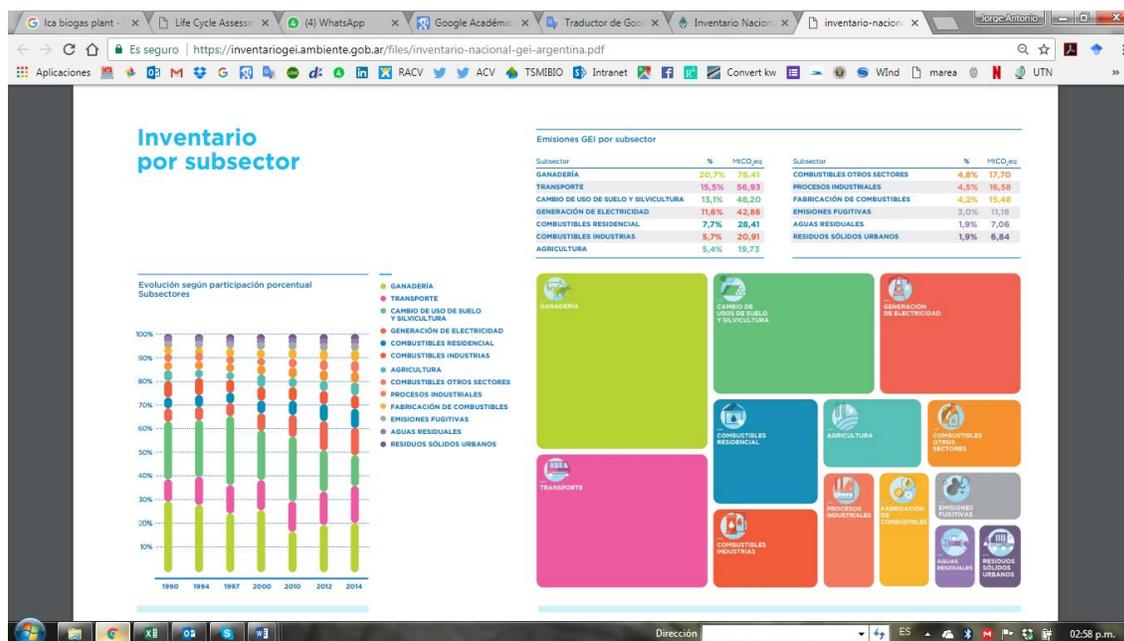
Un informe de inventario de GEI incluye un conjunto de cuadros estandarizados elaborados por la CMNUCC para generación de informes que cubren todos los gases, las categorías y los años pertinentes, acompañado de un informe escrito que documenta las metodologías ¿Cómo se reporta un inventario nacional de GEI? y los datos utilizados para elaborar las estimaciones. Las estimaciones de emisiones y absorciones de GEI se dividen en sectores principales, que son grupos de procesos, fuentes y sumideros relacionados.



**Figura 8: Emisiones de GEIs- BUR elaborado 2016/2017**

En tabla 4 se discriminan las emisiones por subsectores.

**Tabla 4 Inventario Argentino BUR elaborado 2016/17 por subsectores**

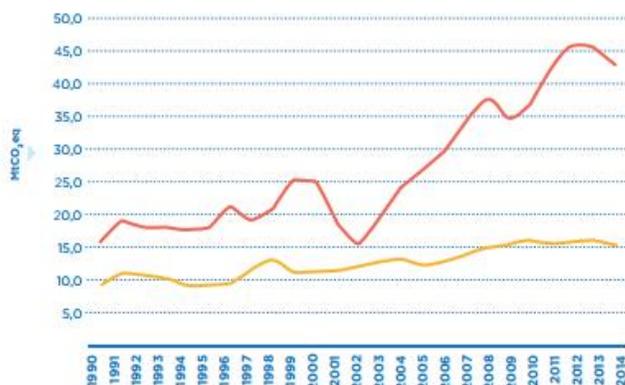


La producción y consumo de energía en la serie histórica se muestra como una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), con un total de 92,18 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de emisiones de GEIs para el año 2014. La misma resulta esencial para sostener la industria, las infraestructuras, para conectar bienes, personas y servicios hacia mercados, y suministrar servicios básicos como la calefacción y la iluminación. Es fundamental para prácticamente todos los aspectos del bienestar humano, como el acceso al agua, la productividad agrícola, la atención de la salud, la educación, la creación de empleo y la sostenibilidad ambiental.

Específicamente, en el sector energético se observa que el 29 % de las emisiones proviene del sector transporte, superado por la generación de electricidad con el 30 %, y la industria manufacturera con el 11 %. Entre los principales emisores de CO<sub>2</sub> equivalente se encuentra la combustión de hidrocarburos fósiles en las actividades de generación de energía, el transporte y el agro, y de las emisiones fugitivas de metano asociadas con los procesos de extracción de petróleo y gas.



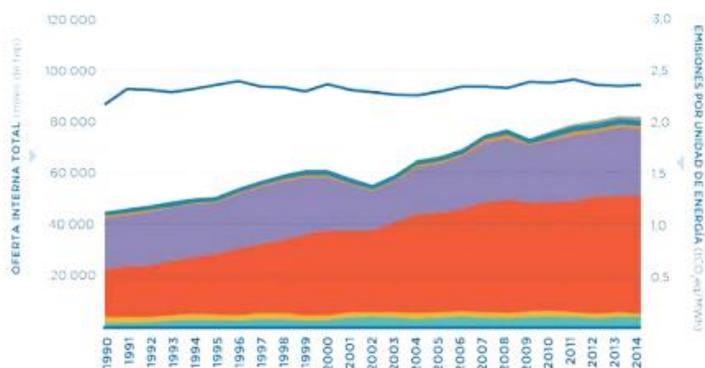
### Industrias de la energía



- GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD
- FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLES

Para simplificar la visualización, se agruparon las categorías Refinación del petróleo y Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas dentro del título Fabricación de combustibles. Producción de electricidad y calor como actividad principal se denomina Generación de electricidad.

### Oferta interna total de energía y emisiones por unidad de energía



- ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR
- ACEITES Y ALCOHOLES VEGETALES
- LEÑA, BAGAZO Y OTROS PRIMARIOS
- CARBÓN MINERAL
- PETRÓLEO
- GAS NATURAL
- ENERGÍA NUCLEAR
- ENERGÍA HIDRÁULICA
- EMISIONES POR UNIDAD DE ENERGÍA

Tonelada equivalente de petróleo (tep).

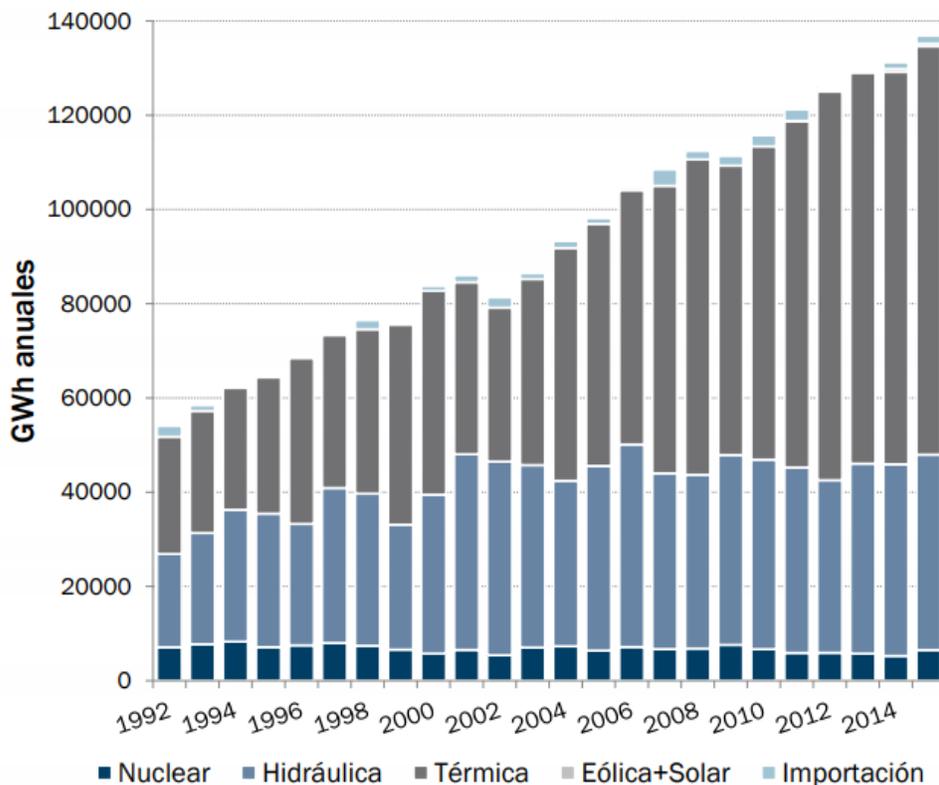
Oferta Interna Total = Oferta Interna Primaria + Importaciones Fuentes Secundarias - Exportaciones Fuentes Secundarias. La Oferta Interna Total representa la energía efectivamente disponible para ser transformada (refinerías, planta de tratamiento de gas, carboneras, etc.), ser consumida en el propio sector energético, o ser consumida por los usuarios finales dentro del país. Fuente: Ministerio de Energía y Minería (MINEM).

Figura 10 Evolución Emisiones de GEIs Argentina – Sector Energía.

Fuente: BUR elaborado 2016/17

Indudablemente el transporte de personas y bienes tiene una importancia significativa. Este sector también está implícito en la producción de otros bienes que demanden su traslado o intervención de vehículos y maquinaria en su producción como es el caso del sector agropecuario. En la siguiente figura se puede observar la evolución de la oferta de combustibles secundarios líquidos de los últimos años:

Durante los últimos años con el incremento del uso de fósiles líquidos y el empleo de fuentes de generación de menor eficiencia los valores de incidencia del sector energía han subido. En la siguiente figura puede constatare la creciente participación de los combustibles líquidos en el parque de generación eléctrico argentino.



**Figura 11: Combustibles empleados la generación eléctrica en la Argentina Fuente CAMMESA**  
<http://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Pages/Informes%20por%20Categor%C3%ADa%20Publico/Varios/anual.aspx>

Otro efecto del cambio de fuente de combustible se visualiza en el aumento del consumo específico que representa la cantidad de energía que se emplea para generar la misma cantidad de electricidad. Este fenómeno también repercute en el nivel de emisiones, empeorando los niveles de referencia que se emplean luego en el cálculo de la **cantidad de emisiones de gases efecto invernadero de cualquier producto que en su proceso emplee energía eléctrica del sistema argentino.**

Como estrategia mundial en los últimos años se ha buscado la reducción del impacto del sector transporte actuando sobre los combustibles que se emplean. Los biocombustibles a nivel global han sido promovidos en los últimos años atendiendo a una serie de ventajas desde el punto de vista ambiental, así como a razones estratégicas de seguridad energética de cada país.

La producción de biocombustibles en la Argentina está centrada en el biodiesel de soja (basado en el empleo de uno de los coproductos principales de la industrialización del grano de soja como es el aceite y en la tradicional producción de bioetanol a partir de caña de azúcar y más recientemente de maíz.

En mayo de 2006 la ley de Biodiesel en la Argentina (Nº 26.093) fue aprobada. Su foco fue el desarrollo del mercado local de biocombustibles, estableciendo requerimientos de B5 y E5 a partir del 1º de enero de 2010. Esa cota inferior fue elevada (Resolución de la Secretaría de Energía 7/2010 del 9 de febrero de 2010) al 7%,

a fin de incrementar el volumen de reemplazo de gasoil, y finalmente fue elevada al 10 % durante el año 2013 para ambos biocombustibles.

Un conjunto de reglamentaciones se han sucedido a lo largo del tiempo. En un sector tan regulado y promocionado estos cambios repercuten significativamente tanto en la creación y ampliación de mercados como así también en la viabilidad de producción frente a cambios en los precios de insumos, así como variaciones en las reglamentaciones del mercado internacional.

### Regulaciones de biocombustibles

- Ley 26.093 de promoción de la producción y uso sustentable de biocombustibles
- Decreto Reglamentario 109/07
- Ley 26.334 para promoción específica de bioetanol de caña.
- Ley 23.966, T.O. Título III, Capítulo 1, artículo 4 –Impuesto a los Combustibles y Gas Natural, alícuotas-
- Ley 26.028, Impuesto a la Transferencia e Importación de Gasoil
- Ley 26.181, Fondo Hídrico de Infraestructura
- Ley 26.784, Presupuesto Nacional 2013, artículo 56 –desgravación a la importación de hasta 8,4 millones de metros cúbicos de gasoil y de hasta 240.000 metros cúbicos de naftas para 2013
- Ley 26.895, Presupuesto Nacional 2014, promulgada por Decreto 1577/13, artículos 30 y 31 –desgravación a la importación de hasta 8,4 millones de metros cúbicos de gasoil y de hasta 1,2 millones de metros cúbicos de naftas para 2014-
- Decreto 1396/01
- Decreto 1339/12
- Decreto 1719/12
- Normas específicas de la Secretaría de Energía, AFIP, Instituto Nacional de Vitivinicultura, [www.infoleg.gov.ar](http://www.infoleg.gov.ar), buscando por normas que modifican o complementan a la Ley 26.093.
- Resoluciones del Ministerio de Economía, como la conjunta Nro 438/12 del Ministerio de Economía, 1001/12 de MINPLAN y .269/12 del Ministerio de Industria.
- Resolución 44/14 Cortes obligatorios incrementales y formulas para el calculo precio bioetanol de caña de azúcar y maíz.
- Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación.
- Ley 26.190: Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica
- Decreto 531/2016: Reglamentación de la Ley N° 27.191
- Decreto 562/2009: Reglamenta la Ley N° 26.190

[Fuente Informacion Ministerio de energía y minería](#)

**Figuran12 Regulaciones que afectan a los biocombustibles en Argentina**

El consumo de gasoil y las naftas en la Argentina han crecido y su suministro no puede ser abastecido con producción local lo cual obliga a crecientes importaciones desde otros países. Estos combustibles importados también representan un impacto sobre el nivel de emisiones globales por unidad de energía ya que se deben sumar todas aquellas provenientes del transporte de los mismos.

La Argentina se ha constituido como uno de los países líderes en la producción uso y comercialización de biodiesel y bioetanol a nivel mundial y ha realizado un gran avance en la producción de etanol a partir del 2012. Un punto llamativo en torno al biodiesel y el bioetanol, es el espectacular crecimiento de la capacidad productiva de la Argentina. Los documentos emanados de la Secretaria de Energía de la Nación, brindan

información respecto a la capacidad instalada, así como la producción ofrecida tanto al mercado interno como el remanente para ser exportado. El listado oficial de las plantas elaboradoras de bioetanol y biodiesel puede verse en la página oficial de la secretaría de energía <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3037>

Los cupos para el mercado interno son determinados mensualmente sí como los precios de referencia que se pagan a los proveedores que en el caso del biodiesel se segmentan por capacidad de producción. EN todos los casos se les ha dado prioridad a las plantas regionales y de menor tamaño con la idea de fomentar un desarrollo distribuido en diferentes regiones del país.

## MARCO INTERNACIONAL, CONFERENCIA DE LAS PARTES Y ACUERDO DE PARÍS

La cuestión del cambio climático es encarada internacionalmente desde la denominada Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Desde allí, 194 miembros de Naciones Unidas debaten y resuelven objetivos macro y micro (respectivos a cada nación) en lo concerniente al control de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El órgano ejecutivo de la CMNUCC es la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés). Se reúne anualmente desde 1995.

La República Argentina es país "Parte" de la COP y miembro de la CMNUCC. Conforme fuera establecido en la XX Conferencia Internacional sobre Cambio Climático o COP-20 (Lima, diciembre de 2014), nuestro país presentó en octubre de 2015 y de cara a la COP-21 su "Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional" (INDC, por sus siglas en inglés). Las INDCs, como consta en el portal oficial de la COP-20, "son un compromiso de la comunidad internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acorde con la CMNUCC y no exceder los 2 grados centígrados de temperatura en el planeta respecto a la época preindustrial. Las INDC serán determinadas por los países Parte de acuerdo a sus circunstancias nacionales y proporcionarán información sobre el nivel de ambición nacional en la reducción de gases de efecto invernadero y cómo está contribuye al objetivo último de la CMNUCC. También contendrá el horizonte de trabajo, la estrategia de implementación, los mecanismos de monitoreo, así como la información cuantificable sobre mitigación".

El Acuerdo de París comenzará a regir a partir de 2020. Se divide en tres grandes temas: 1) Mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero (fundamentalmente dióxido de carbono o CO<sub>2</sub>) a través de la de carbonización de los sistemas energéticos global y local (nacionales) en primerísimo lugar. Por de carbonización se entiende la declinación en la intensidad del CO<sub>2</sub> generada por el sector energético; 2) Adaptación, que significa anticipar los efectos adversos del cambio climático y tomar medidas adecuadas para prevenir o minimizar el daño que estos pueden causar, aprovechando las oportunidades que puedan surgir. Se ha demostrado que bien planificada, la adaptación temprana ahorra dinero y vidas; y 3) Financiamiento para la realización de 1 y 2.

En la COP-21 de diciembre de 2015, 195 países adoptaron el primer acuerdo climático global de alcance universal y jurídicamente vinculante. El acuerdo establece un plan de acción mundial para poner al mundo en el camino de limitar el calentamiento global muy por debajo de los 2° C en relación a los niveles preindustriales, apuntando a limitar el incremento a 1,5° C. Para ello se necesita que las emisiones globales

de CO<sub>2</sub> alcancen un máximo lo antes posible, reconociendo que los países en desarrollo tardarán más tiempo para lograr tal comportamiento en sus emisiones.

La Argentina llega a la COP22 de Marruecos con una primera revisión de su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) presentada en París. Este proceso posiciona al país como uno de los primeros en proceder a una revisión de sus compromisos frente al cambio climático, lo que demuestra un interés por mejorar la propuesta original y acercarse más a las responsabilidades de un estado posicionado en el puesto 21 de los grandes emisores del mundo, con emisiones per cápita mayores a las de algunos países europeos, miembro del G20, y con una economía de renta media muy superior a la de muchos países del mundo en desarrollo.

Hoy la Argentina cuenta con una contribución revisada, validada e incorporada a la política pública. No obstante, la propuesta dista de ser ambiciosa, ya que no supera el compromiso asumido en París en 2015 de reducir sólo un 15% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a 2030.

Sumando los efectos de la ley de bosques y el mantenimiento de áreas verdes y cumpliendo la ley N° 27191 de Energías Renovables que estipula un 20% de fuentes renovables en la matriz energética para 2025, la Argentina superaría el compromiso asumido en París de conseguir el 12% a 2030 y un 8% adicional con apoyo internacional. A su vez, profundizando políticas de eficiencia energética (uno de los “yacimientos” menos desarrollados en el país) a través, por ejemplo, de sistemas de etiquetado en equipos eléctricos y de gas, está comprobado que se evitaría generar 6.000 MW, equivalentes a dos represas hidroeléctricas similares a Yacretá y un ahorro en costos de capital de U\$S 31.000 millones a 2030 (Escenarios energéticos para la Argentina (2013-2030) con políticas de eficiencia energética)

Con respecto al uso de la tierra, la propuesta argentina tiene pendiente desarrollar con mayor rigurosidad su compromiso en este sector que representa la mitad de su matriz de emisiones por las altas tasas de deforestación (Desde 1990 se perdieron 7,6 millones de hectáreas de bosques nativos, el equivalente a la provincia de Formosa). La asignación efectiva de los fondos estipulados por la Ley de Bosques N° 26.331' junto con la promoción de modelos agrícolas, ganaderos y forestales como la iniciativa de Manejo de Bosque con Ganadería Integrada (MBGI) del Ministerio de Agroindustria y la dirección de bosques permitiría un incremento en la fijación de carbono en bosques y suelo junto con la conservación de la biodiversidad y los ciclos de agua.

En la COP22 se espera que los países impulsen iniciativas concretas contra el calentamiento global, como ser proyectos de adaptación al cambio climático, y refuercen sus ambiciones al 2018 para mantener el calentamiento por debajo de 1,5°C y evitar así los peores impactos del cambio climático. En este campo las medidas propuestas por la Argentina son muy genéricas y llama la atención la ausencia total de acciones para proteger los océanos, principales reguladores del clima mundial, en un país con más de 5.000 km de costa y aproximadamente 4.800.000km<sup>2</sup> de mar argentino y océanos.

## ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD

Desde el inicio de la difusión y puesta en marcha de la producción de biocombustibles a nivel mundial tres temas han estado siempre en la mesa de discusión y controversia, estas son los balances energéticos, la

competencia con los alimentos y la preservación del medio ambiente. Hoy en día estos cuestionamientos se están expandiendo hacia otros productos de la mano de crecientes exigencias por parte de grandes cadenas de supermercados.

La acción de diferentes centros de investigación, organismos no gubernamentales ecologistas y partes interesadas han instalado con fuerza el tema de las amenazas que se presentan ante una expansión irrestricta de la producción de biocombustibles en el mundo, así como el impacto de la producción agrícola.

La creciente preocupación acerca de la sustentabilidad de los biocombustibles ha llevado a instituciones científicas, académicas, así como a ciertos gobiernos e instituciones a trabajar intensamente en estos temas. Dada la significativa participación de Argentina como primer exportador mundial de biocombustibles se analiza con suma atención su evolución, así como otras posibles fuentes de biomasa lo cual implica una nueva demanda a áreas y programas del INTA, así como sus unidades.

Esta temática se viene trabajando en el marco de la red panamericana de sustentabilidad de biocombustibles y bioenergía que contempla expertos e instituciones de diferentes países de América. En la conferencia internacional llevada a cabo en septiembre en Buenos Aires se arribaron a diez puntos principales como conclusiones del tema que merecen ser expuestos en el presente informe:

1. Debe diferenciarse la explotación de biomasa tradicional ligada a la destrucción del ambiente y los recursos naturales. de la moderna bioenergía que permite obtener una diversidad de beneficios y servicios ambientales al mismo tiempo que incrementar las oportunidades de empleo y crecimiento económico.
2. Es fundamental, para alcanzar las metas mundiales de desarrollo sustentable tener en cuenta la moderna bioenergía derivada de la captura y transformación de la energía solar mediante la fotosíntesis. La biomasa tiene un gran potencial para superar la “pobreza energética” para ello debe incrementarse su uso en escala pasando de los 23 a los 93 EJ a nivel mundial.
3. La aceptación y promoción de la bioenergía está íntimamente ligada a la comunicación a los ciudadanos. Se remarca la necesidad de alcanzar una correcta percepción pública sobre sus bondades y beneficios en relación a las alternativas fósiles.
4. La sustentabilidad ha pasado a transformarse en un aspecto indivisible de la producción y uso de la bioenergía moderna.
5. Existe una urgente necesidad de incrementar la superficie de captura solar sobre la superficie terrestre aumentando de ese modo la producción de biomasa en todas sus formas, con el objetivo de cumplir las metas del milenio y los compromisos de la COP Paris. Cultivos de cobertura y adecuadas rotaciones se plantean como alternativas de crecimiento. Nos enfrentamos, asimismo, con una nueva revolución de productividad de biomasa y su transformación mediante el mejoramiento de plantas C4. Sin embargo, para mantener una producción sustentable a lo largo del tiempo se deben implementar medidas y sistemas de monitoreo y estudio sobre los agro ecosistemas.

6. La baja densidad energética y la alta dispersión geográfica imponen grandes desafíos a la producción, transporte y logística. La asistencia satelital y el empleo de los sistemas de información geográfica son fundamentales para alcanzar un desarrollo sustentable de diferentes formas de biomasa.
7. La bioenergía genera múltiples impactos con beneficios económicos, ambientales y sociales que deben ser medidos y monitoreados en el tiempo. Es necesario realizar estudios de carácter sistémico y holístico con consideraciones sitio específicas de manera de poder contemplar la afectación de pluriproducidos, plurimercados y multirequerimientos.
8. Existen razones políticas, estratégicas y económicas detrás de toda medida de fomento de la bioenergía y los biocombustibles por los diferentes países. Tanto los consumidores como los productores de todas las escalas deben ser tenidos en cuenta incluyendo al sector de productores agropecuarios.
9. Los estándares y esquemas de certificación son útiles para fomentar la sustentabilidad en la producción y transformación de biomasa. Sin embargo, no siempre logran mejorar la sustentabilidad. Estos esquemas deben evolucionar teniendo en cuenta las particularidades del sector agropecuarios como la posibilidad de poder ser implementados por actores de todos los tamaños y recursos. Los esquemas de certificación deben ser prácticos, adaptados al funcionamiento de los agros ecosistemas y accesibles contemplando demandas y requisitos de los países consumidores y productores.
10. Se están produciendo mejoras en los biocombustibles de todas las generaciones con positivas externalidades que deben ser profundamente estudiadas y promovidas. Las mejoras en las tecnologías ligadas a la bioenergía en toda la cadena de producción y transformación están produciendo impactos económicos, ambientales y sociales positivos. Los correctos incentivos en todas las generaciones de biocombustibles generaran mejoras en los tres pilares de la sustentabilidad a largo plazo.

La DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, establece criterios para el uso de biocombustibles dentro de la UE y la potencial aplicación a programas de asistencia financiera<sup>1</sup>. Esta Directiva abrió una oportunidad para la República Argentina para abastecer este mercado.

Pero, por otra parte, también la misma Directiva, plantea en su Artículo 17, los Criterios de sostenibilidad para los biocarburantes y biolíquidos, *“independientemente de que las materias primas se hayan cultivado dentro o fuera del territorio de la Comunidad”*. Esto plantea un gran desafío de analizar y demostrar la sustentabilidad de los sistemas productivos de los biocombustibles para exportar a la UE.

Dentro de los criterios de sustentabilidad, uno de los analizados es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) derivada del uso de biocombustibles. En particular la Directiva plantea que se

---

<sup>1</sup> Art. 17 – Punto 1 - Letra c): “para determinar la posibilidad de optar a una ayuda financiera al consumo de biocarburantes y biolíquidos”.

deberá asegurar una reducción como mínimo del 35% para poder acceder a los beneficios impositivos correspondientes<sup>2</sup>, planteando luego un nivel de reducciones creciente a partir del 2017 (50%) y a partir del 2018 (60%).

El biogás de la digestión anaerobia puede ser quemado directamente en la energía de la cogeneración y las plantas de calor o puede ser utilizado como sustituto o aditivo para el gas natural. En contraste con los sistemas de combustibles fósiles, el dióxido de carbono liberado de la producción de biogás y la combustión, fue asimilado en la fotosíntesis dentro del mismo ciclo anual y por lo tanto no contribuye con una emisión neta positiva por lo tanto es neutral desde el punto de vista del cambio climático-

Como consecuencia, el rendimiento medioambiental global de la producción de biogás depende en gran medida de los impactos ambientales de la provisión de sustrato, el rendimiento de biogás, el aporte de energía y la fuente y las emisiones directas del proceso y el uso de digestatos (Börjesson&Berglund 2005). Los sustratos reales de biomasa utilizados en la digestión anaerobia tienen diferentes rendimientos de biogás

Debido a su diferente contenido energético. Los sustratos con alto contenido de energía a menudo se compran o se desarrollan cultivo específico como el maíz que requieren de un estudio específico.

## TASA DE RETORNO ENERGÉTICO

Se conoce como Tasa de retorno energético(TRE) o, en inglés, EROEI,ERoEI (energyreturnedonenergyinvested), EROI (energyreturnoninvestment), al cociente de la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético:



Un cociente menor o igual que 1 indica que la energía de la fuente es menor o igual a la energía consumida. Por el contrario, un cociente mayor que 1 indica que la energía total es mayor que la energía invertida y queda, en consecuencia, un saldo neto positivo. Una fuente de energía será tanto mejor cuanto mayor sea su TRE, puesto que eso implica que se obtiene una mayor cantidad de energía neta utilizable por cada unidad de energía invertida en ella. Por el contrario, una tasa de retorno inferior a la unidad implica que esa fuente no es rentable en términos energéticos: para su funcionamiento consume más energía de la que produce.

### Tabla 5 Datos referenciales de biogás con diferentes rendimientos de materia seca

<sup>2</sup>Art. 17 – Punto 2: “La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero derivada del uso de biocarburantes y biolíquidos considerados para los fines contemplados en el apartado 1, letras a), b) y c), será de un 35 % como mínimo”.

Rendimiento cultivos	TRE s/créditos
2,5MS/ha	5,14
4,5 MS/ha	5,91
6,16 MS/ha	6,16

Fuente Biogas from Cover Crops and Field Residues: Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint  
 Manfred Szerencsits, Christine Weinberger, Maximilian Kuderna, Franz Feichtinger, Eva Erhart, Stephan Maier  
 World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol:9, No:4, 2015

## PLANIFICACION DE ACTIVIDADES EN EL MARCO DEL CONVENIO CON BIOELECTRICA

En este contexto, en la necesidad de mejorar el conocimiento sobre las reales emisiones de GHG a lo largo de la cadena de producción del biogás en Argentina surge el acuerdo entre la empresa BIOELECTRICA, y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), para el análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero

En esta etapa los alcances del estudio fueron:

- Desarrollar un calculador incorporando todas las etapas del proceso desde la generación de la materia prima hasta la disposición final de los efluentes.
- Trazabilidad de los datos de cultivo a campo de manera de lograr una mayor representatividad de la materia prima que ingresa a planta.
- Cálculos de reducción de emisiones con respecto a valores testigo de gas natural en Argentina según BUR 2014 así como con la emisión promedio de Argentina.
- Estudio integral energético a fin de obtener la eficiencia energética y su retorno EROI.

Para realizar este análisis, se ha llevado adelante visitas a las instalaciones de BIOELECTRICA, se han relevado los sistemas de información y gestión de la empresa, se elaboró un modelo de cálculo consistente con la norma europea, y finalmente se ha desarrollado una herramienta de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero a medida de BIOELECTRICA.

## UBICACIÓN DE LA PLANTA

La planta bajo estudio ocupa un terreno ubicado en Río IV Córdoba, El terreno sobre el cuál se emplaza la planta cuenta con una superficie de 30 hectáreas abarcando ediliciamente una superficie de 1.5 hectáreas serán cubiertas.

## DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE PLANTA

### Descripción general

El proyecto involucra una unidad de generación de energía eléctrica a partir de biogás, con una capacidad instalada de 1MWe, usando:

- Tecnología de fermentación anaeróbica, diseñada para la producción de biogás a partir de “maíz picado”<sup>3</sup> y desechos agroindustriales, obteniendo como subproducto comercializable un biofertilizante denominado “digestato”<sup>4</sup>.
- Un moto generador para la generación de energía eléctrica como producto principal y energía térmica como subproducto.

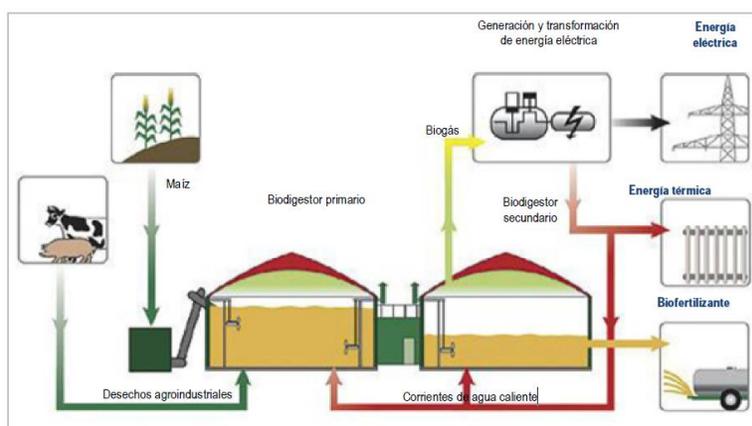


Figura 13 Proceso de obtención de energía eléctrica a partir de biogás producido con maíz picado y desechos agroindustriales.

El producto principal del proceso que se lleva a cabo en BIOMASS CROP Es la ENERGÍA ELÉCTRICA, generada a partir de 470 m<sup>3</sup>/h BIOGÁS que se producen el mismo predio. Los subproductos obtenidos son FERTILIZANTE y ENERGÍA TÉRMICA, los cuales se pueden comercializar. Respecto de la energía térmica, parte del calor que

<sup>3</sup>Se llama “maíz picado” a la planta entera de maíz que ha sido triturada en el lugar de cosecha.

<sup>4</sup>En proceso de registro en el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) según Resolución N° 264/2011: reglamento para el registro de fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondicionadores, protectores y materias primas en la República Argentina

se recupera en el sistema de enfriamiento del motogenerador (“CHP” en diagrama de flujo adjunto), es utilizado para calefacción en los biodigestores a través de un intercambiador de calor. El excedente de energía térmica va a ser vendida a una industria vecina<sup>5</sup>(3) y está disponible en forma de agua caliente a 90°C. El biofertilizante (“Digestato”) será comercializado a productores de la región.

Con una superficie cubierta de 288,45 m<sup>2</sup> en un predio de aproximadamente 5 ha., la Planta posee las siguientes capacidades:

- ✓ ENERGÍA ELÉCTRICA: 1 MWh
- ✓ ENERGÍA TÉRMICA: 1 MWh
- ✓ Biofertilizante: 1,9 Tn/h

### **Proceso de Producción de Biogás y Energía**

#### **Recepción y Almacenamiento de Materias Primas:**

Las materias primas (biomasa o sustratos) utilizadas en la producción de biogás y energía son desechos agroindustriales y la planta entera de maíz picada conservada mediante la técnica de ensilado. Los desechos agroindustriales se reciben en camiones atmosféricos y se almacenan en un tanque de recepción de concreto (denominado internamente B102). Este posee una capacidad aproximada de 200 m<sup>3</sup> (8 m de diámetro por 4 m de alto) y cuenta con un agitador para mantener homogénea la masa de fluido.

El maíz picado llega a la planta, y es acopiado en la Playa de Silaje para su conservación, mediante ensilado tipo bunker. Esta operación es realizada una vez por año. El picado (que se realiza en el campo) y el ensilado (acopio en predio de Bioeléctrica) son operaciones que realizan terceros contratados por la empresa. La playa de silaje es una platea de base de cemento con una capacidad de acopio total de 27000 Tn. aprox. de maíz picado. La platea, de 80 m. de ancho por 160 m. de largo., está rodeada de una canaleta colectora tipo “cordón serrano” que conduce los eventuales lixiviados a una cámara colectora anexa; desde allí son reinyectado en el sistema.

En los silos bunker se coloca el maíz picado, en capas sucesivas, sobresuelo impermeabilizado. Cada capa se compacta para expulsar el máximo el aire intersticial, con el uso de un tractor, y lograr una densidad de alrededor de 600kg/m<sup>3</sup>. Por último, se lo puede recubrir con una capa de polietileno.

#### **Preparación de Mezcla para producción de Biogás**

Los desechos agroindustriales, son alimentados por bombeo desde el tanque de recepción (B102) al Digestor Primario (B301). El silo maíz es alimentado (2,2 Tn/h) desde el silo bunker, mediante una pala cargadora (de aprox. 1,5 Tn) a una tolva de alimentación con capacidad de almacenamiento correspondiente a un día de operación (aprox. 53 Tn). Mediante un tornillo sin fin, dispuesto en el fondo de la tolva, este insumo es transportado hasta un “BIOMIX” (B101) donde se produce el mezclado del picado con contenido del Digestor Primario. Posteriormente la mezcla es impulsada por una bomba hacia el biodigestor primario (B301) para comenzar el proceso de fermentación para la producción de biogás.

---

<sup>5</sup>Planta productora de bioetanol a partir de almidón de maíz BioIV S.A. ubicada a 1000 metros al norte del predio de bioeléctrica

## **Fermentación Anaeróbica - Producción de Biogás**

**Digestión primaria:** Las materias primas (biomasa) se alimentan a un biodigestor primario (B301), de techo fijo con agitador central, donde se lleva a cabo el proceso de fermentación anaeróbico que da por resultado el biogás digestato. El tiempo de residencia en este reactor es de 60 días. La mezcla, producto de la fermentación, también llamada “digestato”, se recircula extrayéndola por la parte inferior del biodigestor primario, y haciéndola pasar por un intercambiador de calor “1” (W301), desde donde es devuelta al tanque de fermentación. Este circuito permite mantener la temperatura de la mezcla en el reactor en aproximadamente 52°C y a su vez favorece la homogeneidad de la misma.

**Digestión secundaria:** Una vez cumplido el tiempo de residencia requerido, el biogás y el biofertilizante (mezcla producto de la fermentación primaria) son conducidos, ambos y por separado, a un biodigestor secundario (B401), también llamado “tanque de almacenamiento”. La temperatura en este biodigestor se mantiene entre 30 y 40°C, gracias a la energía térmica aprovechada del sistema de enfriamiento del motogenerador (CHP).

Los gases generados en el digestor primario, son transportados –por diferencia de presiones- hacia el digestor secundario. Es un reactor, con techo de membrana impermeable que cuenta con 3 agitadores transversales.

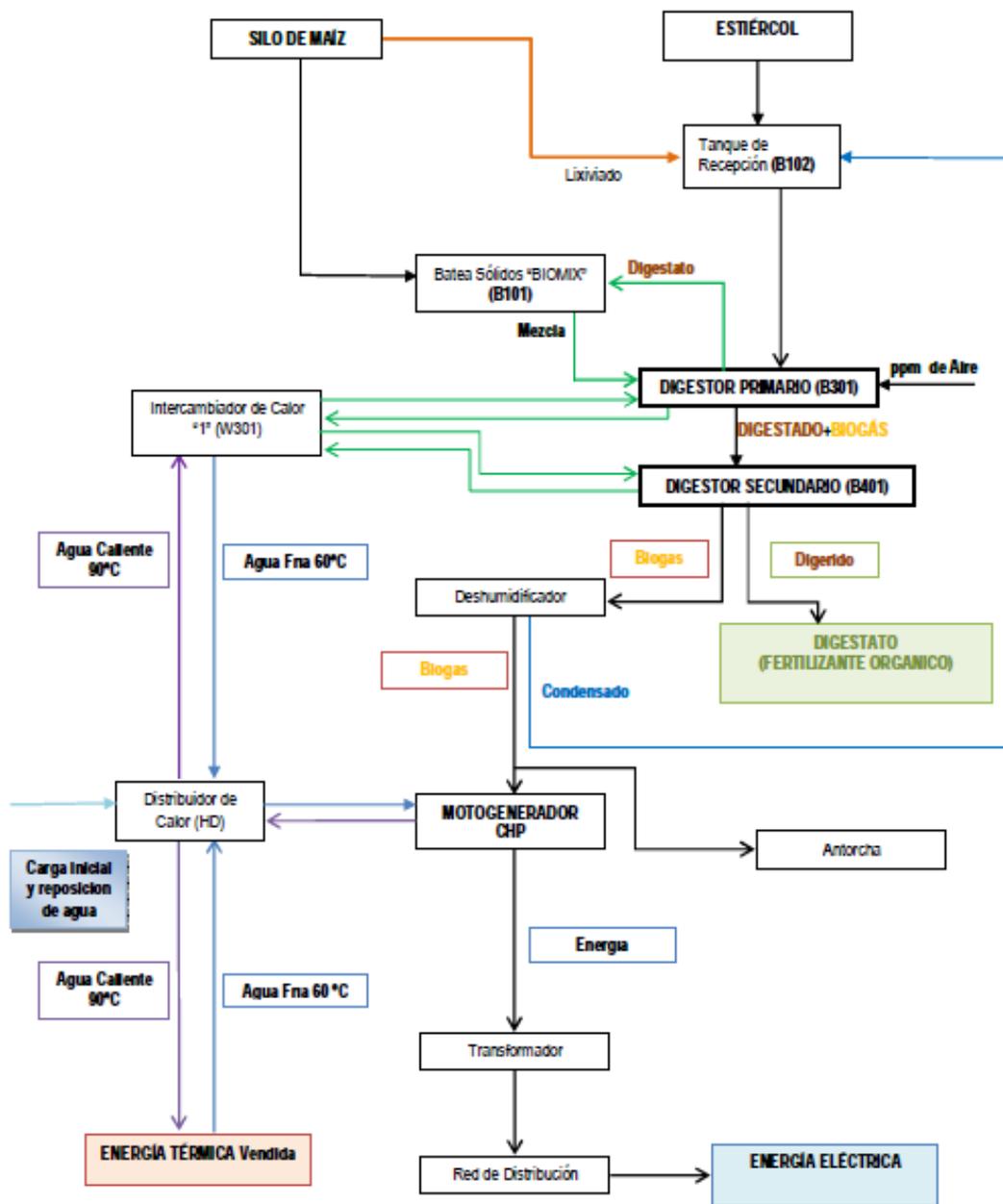


Figura 14 Diagrama de bloques para la producción de biogás y energía eléctrica a partir de biomasa.

### Subproductos:

Como resultado del proceso de biodigestión se genera un subproducto semi – líquido: “digestato”, rico en nutrientes, ideal para ser utilizado como fertilizante. Este **biofertilizante** (residuo del segundo biodigestor comparo. 7 % de sólidos), es retirado periódicamente por camiones atmosféricos. La planta cuenta con una laguna impermeabilizada con geo membrana para poder almacenar biofertilizante. Este producto por su baja concentración de nutrientes y alto contenido de materia orgánica puede ser reutilizado como enmienda orgánica para suelos agrícolas. Si se empleara en los mismos lotes de producción de maíz se reduciría la necesidad de fertilizantes químicos y por ende el nivel de emisiones que acarrear en su ciclo de vida, así como

en su aplicación al suelo. Será muy importante la tecnología empleada para su aplicación final al suelo ya que la misma determina las pérdidas a la atmosfera de compuestos nitrogenados. La empresa está gestionando los permisos correspondientes ante el SENASA.

Resultados de muestras obtenidas de la purga del Digestor Primario con el estado de Laboratorio de Ciencias Químicas de la Universidad Católica de Córdoba

#### **Análisis Físico Químico. Digestor Primario**

Muestreado el día 29 de julio de 2015

#### **Ensayo Método Resultado Unidad**

**Arsénico** APHA 4500 As-C 0,01 mg As<sup>3+</sup>/L

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)** APHA 5210-ROB-B 32400 mg O<sub>2</sub>/L

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** 5220-RQO-D 51646 mg O<sub>2</sub>/L

**Fósforo Total** APHA 4500 P-C 419,8 mg P/L

**Nitrógeno Total** J. Rodier 9.6.2 52,19 mg NT/L

**Oxígeno Consumido** OSN Met.B9 55900 mg O<sub>2</sub>/L

**pH** APHA 4550-HB 7,36 upH

**Sulfuros** APHA 4500-S-F 572,0 mg S<sup>2-</sup>/L

**Sustancias solubles en éter (SSE)** APHA 5520-A-B 172,0 mg AyG/L

**Sodio** APHA 3500 Na-D 660,5 mg Na/L

**Calcio** APHA 3500 Ca-D 378,0 mg Ca/L

**Magnesio** 344,4 mg Mg/L mg Mg/L

**Nitratos** APHA- 4500 NO<sub>3</sub>- D 494,4 mg NO<sub>3</sub>-/L

**Sulfatos** APHA 4500 SO<sub>4</sub>=-D 14680,0 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L

**Potasio** APHA 3500 K-D 3560,0 mg K/L

**Boro** APHA 4500 B-B 1,9 mg B/L

**Conductividad** APHA 2510- B 19500 μS/cm

El biogás es impulsado hacia el área de generación de energía de forma continua.

#### **Purificación del biogás:**

El biogás, proveniente del biodigestor secundario, es purificado previo a su utilización en la generación de energía eléctrica. Por otro lado, se establece un sistema particular para eliminar el SH<sub>2</sub> mediante un proceso de oxidación del mismo con oxígeno (del aire) y purificar el biogás. Cuando el biogás semi – purificado, sale del digestor secundario, pasa por un enfriador a fin de eliminar el vapor de agua presente en él. El condensado es recirculado al tanque de alimentación (B102), del inicio del proceso de producción de biogás. Una vez purificado es impulsado mediante un soplador hacia el área degeneración.

#### **Chimenea de venteo:**

Como sistema de seguridad se cuenta con una antorchada emergencia entre los procesos de purificación del gas y la etapa degeneración. Cuando la producción de biogás es mayor a la requerida por los generadores, el excedente es quemado en esta antorcha.

#### **Generación de energía eléctrica**

El biogás ahora compuesto principalmente por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> es conducido hacia el área de generación de energía por medio de un soplador Degas, que eleva su presión y velocidad. Aquí se quema en un motor de combustión interna de 4 tiempos (CHP). Aquí, la energía térmica liberada se transforma en energía mecánica. Posteriormente un generador acoplado al motor, transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Allí, los motores que generan la energía eléctrica son refrigerados con agua haciendo uso de un intercambiador de calor “2” (Distribuidor de calor HD). Esta agua, que se calienta, es destinada a agua de servicios:

- ✓ → Una parte se emplea en el intercambiador de calor “1” (W301), PARA calefaccionar la mezcla que se recircula en el biodigestor primario.
- ✓ → El resto se comercializa Como energía térmica.

Para comercializar la energía eléctrica, **un transformador** eleva la tensión al nivel adecuado de la red de distribución local, en este caso de 380 V a 13,2 kW.

#### **Transformación de la Energía Eléctrica:**

Se emplea un transformador para elevar la energía obtenida (en el generador) de 380V a 13,2 kW a fin de poder inyectar la energía eléctrica a la red de media tensión.

#### **Especificaciones Técnicas del Motogenerador:**

- ✓ Unidad CHP (combined heat and power) Unidad de cogeneración.
- ✓ Modelo CG 170-12 50Hz
- ✓ Motor de 12 cilindros acoplado a un generador.
- ✓ Generador: sincrónico, 400 V Marca Marelli
- ✓ Potencia eléctrica: 1.2 MW
- ✓ Eficiencia eléctrica: 41.3%
- ✓ Eficiencia térmica: 43.4%

### **8.2. Aspectos vinculados a la puesta en marcha del proceso**

### **Requerimientos Previos**

Para la puesta en marcha de la Planta de Producción de Biogás, se requiere aproximadamente 3000 m<sup>3</sup> de efluentes de pecuarios, el que aportan el contenido biológico que contribuye a la producción de metano en los biodigestores.

La disponibilidad en la zona de este insumo, es la producción de efluentes que se generan en 5 tambos ubicados a unos 3 km de distancia de la planta debimos CROP S.A. Teniendo en cuenta que entre todos estos, se producen aproximadamente 15 a 20 m<sup>3</sup>/día, se requirió unos 200 días de acopio previo para lograr el volumen necesario para la primera carga del biodigestor.

### **Sistema de recolección del Efluente Pecuario:**

La Empresa ha hecho un acuerdo con estos tamberos, en el que les propone un ordenamiento en la gestión de los efluentes que ellos generan (en la actualidad estos desechos no se recolectan y se dispersan aleatoriamente en los campos), mediante la construcción de un sistema de recolección y acopio de los mismos. Estos consisten un sistema de cañerías que colecta los efluentes en el tambo, conduciéndolos una pileta de retención de sólidos (estercolero: sedimentador). El diseño de este sistema de gestión de efluentes en los tambos, se puede apreciar en el Croquis que se adjunta en Anexo. Estas piletas poseen una capacidad aproximada de 9 m<sup>3</sup>.

### **Traslado:**

Teniendo en cuenta que se dispone del efluente pecuario que se generan en tres tambos como mínimo, la logística de recolección y posterior almacenamiento en el predio de BIOMASS CROP S.A. es la siguiente:

A cada productor se le retiran los efluentes cada dos días, esto significa que deben tener una capacidad de retención de estiércol de aproximadamente: 10 m<sup>3</sup> cada uno. El retiro cada dos días se va a mantener en forma continua.

El transporte se realiza con un camión atmosférico de 15 m<sup>3</sup> (de modo que viene lleno en cada viaje) con una frecuencia de un viaje diario. La operación requiere solo un promedio de 5 m<sup>3</sup>/día de desecho pecuario que se acopia en el predio de la Empresa.

### **Características de la Laguna para Efluente Pecuario**

Se trata de una laguna rectangular, de 25 m. de ancho por 57 m. de largo en la base y 32 m. de ancho por 64 m, de largo en el coronamiento, con una capacidad máxima de 3000 m<sup>3</sup>, con una profundidad de 2 m. por debajo del nivel del suelo y 1 m. por encima del mismo. Se encuentra impermeabilizada con geo membrana 8.

### **Aspectos vinculados a la Etapa de Obra**

A continuación, se describen las realizadas en la fase de obra del proyecto

- ✓ **Red eléctrica secundaria** (para energía en obra)
- ✓ **Montaje de obrador**
- ✓ **Etapa de preparación de terreno:**
  - ✓ Retiro de la capa vegetal del suelo

- ✓ Nivelación y Compactación de la base de asiento
- ✓ Relleno, compactación y perfilado

#### **Etapas de construcciones:**

- ✓ Excavaciones
- ✓ Ejecución de pilotes hincados
- ✓ Elaboración de la platea
- ✓ Elaboración de la carpeta de hormigón
- ✓ Construcción de los tanques de hormigón (de almacenamiento y reactores)
- ✓ Construcción de la sala de bombas
- ✓ Construcción de las Oficinas
- ✓ Colocación de la aislación y pintura

#### **Etapas de montaje de equipamientos y cañerías**

- ✓ Montaje de cañerías y bombas
- ✓ Montaje de motogeneradores
- ✓ Montaje de techos de tanques digestores
- ✓ Montaje de intercambiadores de calor
- ✓ Montaje de dispositivos de seguridad
- ✓ Montaje de turbo de gas y mechero de seguridad.
- ✓ Montaje de transformador

#### **Instalaciones de servicios**

- ✓ Instalaciones de gas
- ✓ Instalaciones de electricidad
- ✓ Instalaciones de control
- ✓ Instalaciones de red eléctrica
- ✓ Pruebas y ensayos

#### **Tendido de red de transporte, distribución e inyección en la red**

El Punto de Conexión de BIOELÉCTRICA, fue asignado por la EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGÍA DE CÓRDOBA (EPEC) en barras de cobre (13,2 kW), de la estación de maniobras de la empresa BIOETANOL RIO CUARTO, vinculada al DISTRIBUIDOR N° 28 y 29, derivado de la CENTRAL DETRANSFORMACIÓN LAS FERIAS ubicada 4,3 km aguas arriba, propiedad de Empecen este punto se realizaron las celdas de protección, medición y maniobra en un todo de acuerdo a las normativas vigente.

#### **Recepción de materias primas y alimentación de biodigestores**

- ✓ Recepción de maíz picado (planta entera triturada)
- ✓ Recepción de desechos agroindustriales

#### **Etapas de puesta en marcha:**

- ✓ Alimentación de los biodigestores

- ✓ Puesta en marcha de los moto generadores y el transformador
- ✓ Puesta en marcha del sistema de refrigeración/calefacción

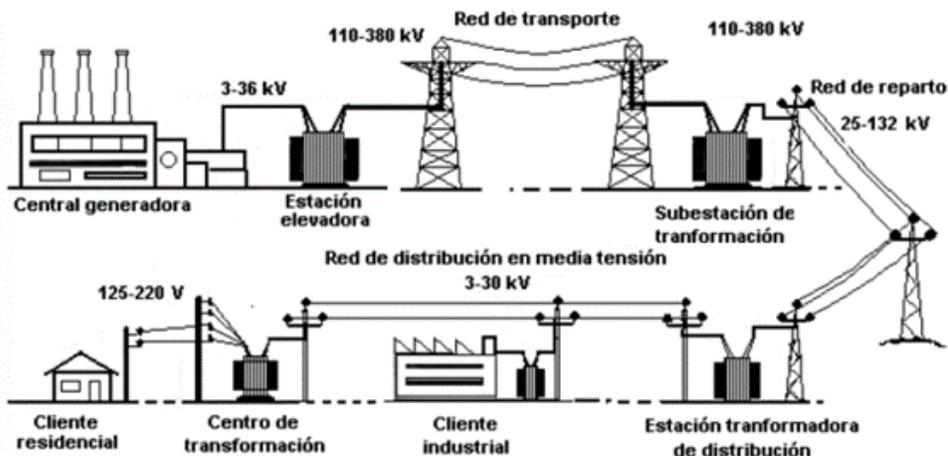


Figura 15: Esquema de las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico

### Propósitos y objetivos

El propósito del proyecto en estudio es la generación de energía limpia, a partir de biogás.

### Normas de dimensionamiento y función

El producto principal de la planta es la energía eléctrica generada a partir de biogás obtenido mediante la fermentación anaeróbica de maíz picado (planta entera) y desechos agroindustriales. Los subproductos obtenidos son biofertilizante y energía térmica, los cuales se pueden comercializar.

Las cantidades de productos y subproductos teóricos que se generan son:

- 1 MWh de ENERGÍA ELÉCTRICA
- 1 MWh de ENERGÍA TÉRMICA
- 1,9 Tn/h de BIOFERTILIZANTE.

La producción de biogás que se utiliza para generar la energía eléctrica es de 470 m<sup>3</sup>/h.

### Vida útil estimada de la Industria

La **vida útil de la obra civil** es de 20 años mientras que, la **vida útil del equipamiento** se estima en 10 años a los fines de amortización.

Se trata de un proceso continuo, la planta funciona los 365 días del año. El picado de maíz llega a la planta y es almacenado, para su conservación, mediante ensilado tipo bunker. El estiércol ingresa en camiones atmosféricos y se almacena en un tanque de concreto.

### **Descripción completa del proceso empleado**

Bioeléctrica utiliza dos tipos de biomásas en su proceso de producción:

- Silaje de maíz: CULTIVO ENERGÉTICO. Biomasa de alto contenido energético.
- Estiércol pecuario: biomasa residual húmeda.

Además de maíz como cultivo de alto contenido energético, podrían emplearse como materias primas otros tipos de biomasa como sorgo, trigo, cebada, etc, que poseen similares características. En cuanto a la biomasa residual húmeda hay una gran variedad de posibilidades, como desechos de tambos, de feedlots, de las industrias agroalimentarias y cualquier material biológico biodegradable.

Las materias primas se alimentan a un biodigestor primario donde se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica a temperatura y agitación constante. Allí los microorganismos degradan la materia orgánica dando lugar a los gases que componen el biogás (principalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) y a un subproducto con alto contenido de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, denominado digestato o biofertilizante. Se trata de un proceso termofílico, ya que la temperatura de operación es mayor a 50°C. Posteriormente, la mezcla pasa hacia el biodigestor secundario donde finaliza la degradación de la materia orgánica y se almacenan los productos de la digestión: biogás y biofertilizante. La temperatura de trabajo de este equipo es constante y menor a la del biodigestor primario.

Las materias primas se alimentan a un biodigestor primario donde se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica a temperatura y agitación constante. Allí los microorganismos degradan la materia orgánica dando lugar a los gases que componen el biogás (principalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) y a un subproducto con alto contenido de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, denominado digestato o biofertilizante. Se trata de un proceso termofílico, ya que la temperatura de operación es mayor a 50°C. Posteriormente, la mezcla pasa hacia el biodigestor secundario donde finaliza la degradación de la materia orgánica y se almacenan los productos de la digestión: biogás y biofertilizante. La temperatura de trabajo de este equipo es constante y menor a la del biodigestor primario.

El biogás generado requiere de operaciones de purificación para ser alimentado al motogenerador. En primera instancia se eliminan las trazas de sulfuro de hidrógeno (del orden de ppm) mediante un proceso químico gracias a la inyección de aire en mínimas cantidades controladas, el oxígeno del aire reacciona con el sulfuro de hidrógeno generando azufre sólido y agua, ambos compuestos se mezclan con los residuos líquidos del biodigestor y forman la mezcla empleada como biofertilizante. A continuación, se elimina el vapor de agua presente mediante su condensado.

Por último, el biogás purificado es conducido hacia el área de generación de energía, donde se quema en un motor de combustión interna. La energía térmica liberada se transforma en energía mecánica. Un generador acoplado al motor transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Este proceso posee eficiencias superiores al 80%.

Para comercializar la energía eléctrica, un transformador eleva la tensión al nivel adecuado de la red de distribución local, la misma puede ser subida a la red de distribución de energía eléctrica o ser consumida por una industria vecina.

Parte del calor que se recupera en el sistema de enfriamiento del motogenerador, es utilizado para calefaccionar el proceso a través de un intercambiador de calor. El excedente de energía térmica puede ser vendido a una industria vecina y está disponible en forma de agua caliente a alrededor de 90°C.

A la salida del proceso la mezcla ya no tiene capacidad de generar biogás, debido a que ha sido consumida toda la materia orgánica digerible, pero sí posee los nutrientes que el maíz tomó del suelo para crecer y los que se encontraban presentes en el estiércol. Estos nutrientes presentes en el líquido resultante del proceso, llamado digestato o biofertilizante son utilizados para biofertilizar los cultivos de maíz que emplea la planta como materia prima. Este subproducto se almacena en el biodigestor secundario hasta su despacho en camiones cisterna. Se trata de un proceso de agricultura circular, debido a que los nutrientes que la planta toma del suelo para crecer quedan intactos en el digestato y son devueltos a la tierra mediante su riego como biofertilizante. Esta recirculación de nutrientes, disminuye la dependencia de nutrientes exógenos. Por ejemplo, el maíz requiere de 4 Kg de Fosforo por cada tonelada de grano producido, en la cosecha el 75% del fosforo se va del agro-ecosistema (lote) y debe ser suplido, normalmente por fertilizante sintético o por el suelo en su defecto. El uso del digestato como biofertilizante devuelve al lote los nutrientes que se extrajeron en la cosecha.

El proceso de “ensilaje del maíz picado”: El silo de maíz genera un lixiviado debido a la humedad propia del maíz picado al momento de la confección del silo. Dicho efluente está compuesto por agua con sólidos solubles disueltos (mayoritariamente azúcares solubles). Los lixiviados que se pudieran generar en los silos tipo bunker, son colectados por un sistema de canaletas, colocados en los laterales del mismo, y conducidos al tanque donde se realiza la mezcla de materias primas (desechos pecuarios y maíz picado) previo al ingreso al biodigestor primario.- Los efluentes semi-líquidos que se generan en el proceso de producción de biogás, llamado “digestato”. Se trata de un fluido con contenido en nutrientes (S, P y N) con aproximadamente un 7 % a 10% de sólidos, que se retira periódicamente del fondo del biodigestor secundario con camiones atmosféricos. Estos se utilizarán como abono orgánico en los campos donde se siembra el maíz, insumo de este proceso, previo a los ensayos y aprobaciones que fueran pertinentes.

## FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La necesidad de contar con información fehaciente y confiable en el campo ambiental, ha determinado la estructuración y estandarización de las metodologías de análisis, conduciendo a las técnicas que se basan en el Ciclo de Vida completo de productos, entre los cuales se encuentra el Análisis del Ciclo de Vida - ACV ( o LifeCycleAssessment – LCA, en la literatura anglosajona).

El método del Análisis del Ciclo de Vida es quizás el más difundido para llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental potencial en el ciclo de vida de bienes y servicios. En efecto, la perspectiva de ACV ha sido consensuada por la comunidad científica como base legítima sobre la cual comparar procesos, materiales y servicios alternativos. Además, la metodología se encuentra estandarizada a través de las normas ISO serie 14040.

La definición dada por SETAC (1993) para el método del ACV es la siguiente:

***Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.***

Se puede desarrollar un Análisis de Ciclo de Vida para un proceso, un servicio o una actividad, considerando todas las etapas que constituyen su vida útil.

El método tiene cuatro partes fundamentales, que son:

- ✓ la definición de objetivos, donde se establecen la finalidad del estudio, los límites del sistema, los datos necesarios, las hipótesis y los límites del análisis;
- ✓ el inventario, donde se realiza una cuantificación rigurosa de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante todo su ciclo de vida, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos-

Dependiendo de los objetivos del estudio, en función de las conclusiones y recomendaciones se puede seguir con una etapa de mejoramiento, un análisis que conducen la elaboración de propuestas que mejoren el sistema estudiado para reducir los impactos calculados. Esta etapa debe ser conducida en modo iterativo, controlando los resultados de las etapas precedentes ante cada modificación, de manera de no introducir variantes que puedan empeorar la situación. Los flujos de materia y de energía consumidos y emitidos en los distintos momentos de la vida útil del sistema considerado intervienen en distintos momentos o fases del ciclo de vida del sistema, a saber:

- ✓ la fabricación, remontando el análisis desde la toma de materia prima del ambiente, el transporte, el montaje; la utilización y el mantenimiento;
- ✓ El desmantelamiento y el tratamiento de los residuos al final de la vida útil, lo que puede incluir el reciclaje de los materiales, su utilizo en otros procesos industriales,

- ✓ el aprovechamiento energético de los materiales, su disposición final en descargas, etc.

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, por lo que a medida que se obtienen resultados se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo que exige el recálculo. Este hecho, más la gran cantidad de datos históricos que se deben poseer para realizar un ACV, muestran la necesidad de contar con un instrumento informático para afrontar un ACV.

**La definición del Objetivo** responde a la pregunta: Para qué se realiza el estudio. La definición debe determinar sin ninguna ambigüedad la aplicación propuesta, incluyendo las razones por las cuales se lleva a cabo el estudio y su público objetivo para quien los resultados serán comunicados

**La definición de alcances** debe ser establecido de modo suficientemente claro para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio sean compatibles con el objetivo planteado. El alcance puede ser modificado durante la realización del estudio, en modo interactivo debe responder a las preguntas: ·

- ✓Cuál es el propósito del sistema
- ✓Función/funciones
- ✓Unidad funcional
- ✓Definición del sistema, límites
- ✓Criterio y métodos de cargas
- ✓Qué tipos de impacto se evaluarán
- ✓Métodos de evaluación de impacto
- ✓Cuáles son los parámetros asumidos?
- ✓Limitaciones del estudio
- ✓Qué precisión se requiere?
- ✓Calidad de los datos
- ✓Quiénes son los destinatarios?
- ✓Formato del reporte

**La definición del sistema** es un paso de fundamental importancia en un ACV, porque de él dependen los flujos entrantes y salientes que serán considerados en el análisis.

En términos generales, por “sistema productivo” se entiende un conjunto de procedimientos orientados a la producción de un bien útil. El “ambiente” es todo lo que rodea el sistema, de donde provienen los flujos entrantes y a donde terminan los flujos salientes. Ambos están separados por los límites del sistema. Los límites del sistema serán elegidos en función de los objetivos del estudio, teniendo en cuenta además que cuanto más se extiendan los límites mayor cantidad de datos es necesario procurar.

Los flujos de materia y de energía que son incluidos en el inventario deben cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Los flujos de entrada de la tecnosfera (energía eléctrica y materias primas) están contemplados en las bases de datos, que organizan y “traducen” los flujos intermedios a sus insumos primarios.
- ✓ Los flujos de salida serán aquellos que irán a formar parte del ambiente exterior al sistema considerado.

**El inventario. LifeCycleInventory – LCI** consiste en un balance de masa y de energía del sistema,

Durante la fase del inventario se calculan los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de los distintos componentes del sistema, y se identifican y cuantifican los flujos salientes del sistema, que se pueden manifestar como emisiones gaseosas, líquidos o sólidos. Pero para identificar estos flujos es necesario primero identificar correctamente cuál es el o los servicios que el sistema produce, cuál de estos constituye el objeto de análisis, y cuál es la unidad que se utilizará para caracterizarla.

Los pasos a seguir para llevar a cabo la fase del inventario son:

- ✓ Construcción del diagrama de flujo (sistema, subsistemas, procesos unitarios)
- ✓ Establecimiento de la calidad de los datos
- ✓ Definición de los límites del sistema.
- ✓ Recolección de datos.
- ✓ Redefinición de objetivos y alcance.

Los puntos relevantes de esta fase son la identificación de funciones, la selección de funciones relevantes y la definición de la unidad funcional.

**Para proceder a la identificación de funciones** se debe establecer el propósito de la unidad funcional cuantificando el servicio suministrado por el sistema o función del sistema.

El punto inicial del procedimiento puede ser un producto específico o bien un objetivo o necesidad a cubrir. Las funciones están relacionadas con productos específicos, y pueden satisfacer necesidades específicas (por lo cual crean un valor económico al proveedor del producto), y afectar el funcionamiento de otros sistemas

Una vez elegida la o las funciones relevantes se selecciona la unidad funcional, para lo cual se deben especificar y cuantificar las funciones relevantes, a veces como una combinación de distintos parámetros.

**La determinación de las categorías de datos a incluir (inputs y outputs) es un factor clave.** En la definición de los objetivos del estudio de ACV se apuntan las categorías de datos que serán incluidos. Los flujos de energía son en general incluidos porque este tipo de información es más fácil de conseguir, y porque estos flujos tienen una gran influencia sobre los recursos naturales y sobre las emisiones. Es necesario antes precisar establecer algunas cuestiones importantes relativas a los flujos de energía.

El análisis de ciclo de vida de los procesos productivos se realiza utilizando la energía como una de las magnitudes fundamentales.

**En la definición de las entradas y salidas del sistema que serán consideradas;** es importante incluir todos los flujos materiales relevantes ya que estos podrían afectar la interpretación del estudio. Existen distintos criterios que pueden adaptarse para decidir cuáles flujos deben ser incluidos, como por ejemplo la masa, la energía o la importancia desde el punto de vista ambiental. El proceso a seguir para determinar las entradas y salidas de material del sistema y los límites del mismo está constituido por los siguientes pasos.

#### **Determinación los procesos unitarios del producto del sistema**

Los procesos unitarios que comprenden un sistema se deben establecer. Para determinar los límites de los procesos unitarios, se deben definir las menores porciones del sistema para las cuales existen datos disponibles, tratando de minimizar la necesidad de aplicar procedimientos de asignación de cargas (*allocation*). Para cada proceso unitario, se determinan las entradas de materia prima o intermedia, las

entradas de material auxiliar, las entradas de energía, las emisiones al suelo, al aire, al agua, los desechos a tratamiento, el producto intermedio y el subproducto.

### **Recolección inicial de datos para cada proceso unitario**

Esta tarea será guiada por los resultados de un examen inicial de disponibilidad de datos que involucre una pequeña muestra de los sitios desde los datos van a ser recolectados. Para cada proceso unitario se debe establecer claramente la unidad de referencia (p. ej. kg), los límites del proceso unitario considerado, con información sobre si los datos incluyen o no sustancias auxiliares, embalajes, limpieza, administración, marketing, etc., y si los datos corresponden a situaciones de operación normal o tienen en cuenta también condiciones de arranque y parada y situaciones previsibles de emergencia. Otros datos importantes son la situación geográfica, la tecnología utilizada, y si cabe el tipo de procedimiento de asignación utilizado.

Para cada entrada o salida, es necesario calificar el dato conseguido, como por ejemplo si se trata de un promedio el periodo al cual corresponde, cómo se ha recogido el dato (medición continua, consumo acumulado, estimado, etc.), métodos de medición utilizados, métodos de cálculo utilizados, datos sobre la persona que recolectó los datos, etc. También es necesario indicar si es posible la información estadística como el desvío estándar, tipo de distribución, etc. Otra información importante es la proveniencia de los flujos de entrada, y el destino de los flujos de salida, así como las características cualitativas.

El transporte se debe reportar en lo posible como un proceso unitario separado. Para cada tipo de transporte se debe indicar el tipo de energía consumida por unidad de distancia (MJ/km) y por unidad de rendimiento de transporte (MJ/ton.km), las emisiones ambientales por unidad de distancia y de rendimiento de transporte, y los porcentajes promedio de carga incluyendo los viajes de vuelta vacíos.

### **Estimación inicial de los flujos de materia y de energía**

Con los datos recolectados en el punto anterior, se prepara una estimación inicial de los flujos de materia y de energía.

### **Aplicación de reglas de decisión**

a- Para la masa: Es frecuente aplicar reglas para excluir inputs del sistema basados en la masa, por ejemplo, todo input a un **proceso unitario** cuya masa sea inferior al 5 % del total de masa entrante a dicho proceso se descarta, o bien todo input al **sistema** cuyo aporte a la masa total entrante sea inferior al 1 % se desprecia. La norma ISO aconseja en cambio aplicar reglas de decisión que contemplen la contribución acumulada al sistema estudiado, en lugar de la contribución de los materiales individuales. Por ejemplo, una regla sería la de incluir todos los materiales que tienen un total acumulado mayor que un porcentaje fijo de la masa total entrante al sistema (p.ej. la suma de los materiales incluidos deben superar el 99 % del total de masa entrante). Para realizar esto adecuadamente es conveniente hacer en el punto precedente una lista de materiales en orden decreciente de masa, y comenzando por el primero de la lista ir calculando los totales acumulados, y los porcentajes acumulados con respecto a la masa total. Se incluirán todos los elementos hasta llegar al valor prefijado (99 % en el ejemplo).

b- Para la energía: La decisión de incluir los distintos procesos basados sólo en el criterio de la masa puede provocar la exclusión de datos importantes, ya que algunos materiales son más intensivos energéticamente que otros. Por este motivo es aconsejable complementar la regla de la masa acumulada con la de la energía

acumulada, por ejemplo la regla de decisión para incluir procesos sería que la suma de todos los procesos incluidos debe exceder un porcentaje fijo (p.ej 99 %) del consumo total de energía.

c- Para la importancia ambiental: Este criterio puede aplicarse para suplementar a los dos anteriores. Por ejemplo, una estimación cualitativa de los materiales que se espera que contribuirán con importantes emisiones tóxicas induciría la inclusión de ciertos materiales que de otro modo quedarían excluidos. Una regla cuantitativa se puede establecer para cada categoría de impacto, por ejemplo, incluir todos los procesos cuya contribución acumulada cubra el 90 % de cada categoría.

Con el procedimiento descrito, las entradas y salidas de material a incluir y los límites del sistema quedan establecidos. Este proceso permite buscar mayor información en proporción a la magnitud absoluta en términos de masa, energía o relevancia ambiental. De este modo se elige emplear más tiempo y recursos hacia aquellas áreas que pueden mejorar la calidad del inventario realizado.

**En lo que respecta a confiabilidad de los datos** Los mismos en este caso dependen de los suministrados por la empresa. Es práctica habitual utilizar coeficientes de consumo de energía para caracterizar los distintos materiales. Existen varias publicaciones y bases de datos que reportan estos coeficientes, las que son de gran ayuda para evaluar el consumo energético asociado a la producción de un determinado objeto, Estos datos correspondientes a la cantidad de energía utilizada y a las emisiones producidas durante la fabricación de materiales son esenciales para poder considerar la fase de la construcción de un edificio (o de otro sistema) en el análisis de ciclo de vida. Sin embargo, comparando las distintas recopilaciones disponibles se encuentran grandes variaciones

**En lo que respecta a la asignación de cargas o costos** Durante el inventario se calculan los requerimientos energéticos y materiales del sistema. El problema de la asignación de costos, ya sean estos energéticos, ambientales, económicos, o de cualquier índole, aparece porque lo que se analiza con el ACV es un sistema, y no un producto. Por este motivo, cuando en un sistema industrial se obtiene más de un producto útil, hay que repartir entre ellos la cantidad de recursos utilizados por el sistema, y los problemas ambientales que su funcionamiento origina. Esto ocurre en casi todos los sistemas industriales modernos. La asignación de cargas ambientales en sistemas multiproducto tiene una estrecha relación con el alcance del estudio y con el establecimiento de los límites del sistema producto analizado.

Los distintos enfoques adoptados para la asignación pueden clasificarse en dos metodologías principales: consecuente y por atributos. El primero utiliza datos marginales de modo de evitar la realización explícita de una asignación, mediante una expansión de los límites del sistema que incluya aquellos sistemas productos cuyos mercados, y consecuentemente, su producción, sean afectados por el sistema analizado. El enfoque por atributos utiliza en cambio datos promedio específicos de los proveedores del sistema analizado, y resuelve la asignación de cargas entre co-productos mediante factores de asignación, que pueden basarse en propiedades tales como la masa, el poder calorífico, la exergía, el valor económico, etc. En el caso de los biocombustibles, dado que es un mercado a grandes rasgos nuevo cuyo desarrollo afecta, entre otros, los mercados de producción de alimentos para consumo humanos, para animales, para productos químicos, etc, es necesario incorporar estos sistemas dentro del análisis para poder obtener una evaluación realista de los impactos producidos (Weidema B, 1999, Weidema B, 2003).

Existen varios criterios para resolver este problema por métodos de atributos, que son los más clásicos. La primera cuestión a definir es un parámetro común a todos los productos para utilizar como base de asignación

de los costos. La masa es uno de los parámetros más utilizados para distribuir las cargas energéticas y ambientales en un sistema multiproducto.

Otro parámetro utilizado para resolver el problema de la asignación de costos es el valor económico. Sin embargo, esto no refleja los fenómenos físicos que se desarrollan en el proceso o sistema estudiado. Su uso puede ser admitido sólo en aquellos casos en los cuales no es posible conocer detalles sobre el funcionamiento del sistema estudiado, por ejemplo, por motivos de confidencialidad de datos, etc. Otra práctica habitual entre los practicantes del método es la de utilizar la energía para realizar estos cálculos, ya sea porque los datos sobre los sistemas industriales son almacenados en unidades energéticas, o bien porque se desconocen otras alternativas que pueden producir resultados más estrictos desde el punto de vista físico. Además, este método respeta los lineamientos generales enunciados en el «Code of Practice» (SETAC, 1993) y en las normas ISO 14040, donde se recomienda el respeto de las leyes de la termodinámica cuando se efectúen cálculos de flujos energéticos. En estos lineamientos no se definen los indicadores a utilizar para realizar este tipo de cálculos. La crítica que se le puede hacer al uso del primer principio de la termodinámica es que no tiene en cuenta la distinta calidad energética de los distintos flujos: 100 MJ de energía eléctrica son considerados equivalentes a 100 MJ de energía térmica contenida en agua templada, aunque la diferencia de utilidad industrial, de significado económico y de implicancias ambientales que estos dos tipos de energía presentan es evidente. Esto constituye un inconveniente en la evaluación de actividades industriales que necesitan energía térmica como recurso energético (por ejemplo, en procesos de secado, tratamiento térmico o formado de metales, en la industria alimenticia, etc.).

Por este motivo es que se propone utilizar para estos casos la exergía como parámetro de asignación de costos. La exergía es el máximo trabajo útil que teóricamente se puede obtener de un sistema al evolucionar reversiblemente desde el estado en que se encuentra hasta alcanzar el equilibrio con el ambiente. Esta magnitud permite comparar distintos tipos de energía sin ambigüedades, y medir objetivamente el valor termodinámico de un vector energético. De este modo, si los distintos flujos de energía térmica se miden en términos exergéticos, su utilidad industrial así como la cantidad de recursos necesarios para producirlos resulta evidente, y la solución al problema de la distribución de las cargas ambientales y energéticas en sistemas que producen distintos flujos energéticos es alcanzada en modo riguroso y directo. Un antecedente del uso de la exergía para resolver el problema de la asignación de costos en ACV en sistemas energéticos fue presentado en el trabajo *The allocation problem in Lifecycle Assessment* en el congreso "School of Environmental Science and Technology" (EdEA)

**Con respecto a las consideraciones finales. Limitaciones del inventario** La etapa del inventario no produce una caracterización de los impactos ambientales potenciales, sino que comunica solamente entradas y salidas. Estos resultados pueden conducir a extraer conclusiones erróneas por sobreestimación o subestimación de la importancia real de los resultados. Por ejemplo, grandes volúmenes de emisiones pueden parecer más dañinas que volúmenes bajos, si no se tiene en cuenta su potencial para causar algún daño ambiental. Es por lo tanto necesario tener precaución cuando se interpretan los resultados del inventario sin pasar por una etapa de evaluación de los impactos.

Otro aspecto importante es que en los resultados del inventario hay una incertidumbre debida a la acumulación de los efectos introducidos por la incertidumbre de los datos utilizados. Un estudio de incertidumbre aplicado al inventario puede ser incluido para explicar y soportar las conclusiones del mismo. Por otro lado, durante el inventario se pueden agregar emisiones que ocurren en distintas operaciones,

lugares geográficos y tiempos, o aún emisiones de distintos tipos. Esto puede producir una pérdida de transparencia en los resultados obtenidos.

Por último, el inventario es sólo un instrumento entre los varios existentes para asistir en la toma de decisiones basada en consideraciones ambientales. Otras técnicas pueden ser la evaluación de riesgos o la evaluación de impactos in situ, que pueden ser utilizadas en combinación con el inventario cuando el objetivo del estudio lo justifique.

El análisis de sensibilidad estima la influencia que los cambios de un parámetro de input o de una decisión poseen sobre los resultados finales. El análisis de sensibilidad sirve para entender cuál es la influencia de las decisiones tomadas sobre los resultados obtenidos para darle al estudio una transparencia adecuada.

Cuando el inventario depende de valores determinados por elecciones (por ejemplo, por un método de asignación), o que poseen un rango de incertidumbre, o bien de datos que no existen, es necesario realizar un análisis de sensibilidad final para evaluar la incertidumbre de los resultados obtenidos. El análisis de sensibilidad puede llevarse a cabo modificando parámetros clave del LCI y recalculando el inventario para comparar los resultados con la situación de referencia. Es necesario como primer paso determinar los parámetros a analizar.

Los elementos que deben ser chequeados pueden ser:

- ✓ La elección de la unidad funcional
- ✓ La incertidumbre de un dato
- ✓ La incertidumbre de los límites del sistema, ya sean temporales o geográficos
- ✓ Las elecciones metodológicas (reglas de asignación, reglas de decisión o de *cut-off*, reglas de reciclado, etc).

Otro punto de estudio puede ser por ejemplo las distancias a recorrer para la distribución del producto, etc.

Como consecuencia del análisis de sensibilidad se puede decidir:

- ✓ La exclusión de determinadas etapas del ciclo de vida, o de subsistemas, cuando el análisis muestra que estas poseen escasa importancia;
- ✓ La exclusión de flujos de materiales que carecen de peso para el resultado del estudio;
- ✓ La inclusión de nuevos procesos unitarios que el análisis de sensibilidad ha señalado como significantes.

Los aspectos ambientales que son analizados y reportados en esta fase corresponden solamente a aquellos que han sido identificados en los objetivos del estudio, y no constituyen un reporte completo desde el punto de vista ambiental. La fase de evaluación de impactos no predice impactos en las categorías de compartimentos finales (*end point category*), ni excedencia de valores límites, márgenes de seguridad o riesgos. Por otro lado, no obstante, esta fase se base en un procedimiento técnico y científico, el uso de valores predefinidos para la selección de categorías de impacto, indicadores y modelos y en la agrupación y la ponderación u otros procedimientos utilizados en normalización de resultados puede ser cuestionable.

En esta fase los hallazgos realizados en las dos fases precedentes se combinan para establecer las conclusiones y recomendaciones del estudio, en modo coherente con los objetivos del estudio establecidos al inicio. En

aquellos casos en los que no se ha llevado a cabo la etapa de la evaluación de impactos, la interpretación se basa sólo en los resultados del inventario.

Las etapas de esta fase son las siguientes:

- ✓ identificación de aspectos significativos basados en los resultados del inventario, de la evaluación de impactos o de ambas
- ✓ evaluación, que incluye pruebas de la integridad del estudio, la sensibilidad y la consistencia;
- ✓ conclusiones, recomendaciones y comunicación de los aspectos relevantes.

Sobre la base de los objetivos del estudio se estructuran los resultados de las dos fases precedentes en modo de determinar aspectos relevantes. Esto se hace en modo iterativo de modo de incluir en el estudio las implicancias de los métodos e hipótesis utilizados en las fases precedentes, tales como las reglas de asignación, la elección de indicadores, los métodos de caracterización, etc.

La información que se utiliza en esta fase incluye:

- ✓ resultados de las fases precedentes, ensamblados o estructurados de modo de permitir una fácil interpretación;
- ✓ elecciones metodológicas, tales como reglas de asignación, límites del sistema, etc.;

Una vez acertado que los resultados de las fases precedentes cumplen con lo requerido en la definición de objetivos, se estudia la relevancia de estos resultados. Los aspectos relevantes pueden provenir de la fase de inventario (uso de energía, emisiones, generación de residuos, etc.), de la evaluación de impactos (uso de recursos, potencial de calentamiento global PCG conocido por sus siglas en inglés (GWP), etc.) o bien otros que indican contribuciones importantes a esas dos fases. La determinación de estos aspectos está fuertemente influenciada por el modo como se estructuran los resultados. Por ejemplo, puede ser importante distinguir entre distintas etapas del ciclo de vida (producción de materiales, fabricación, reciclado, etc.), entre grupos de procesos, (transporte, generación de energía), entre procesos que pertenecen a esferas de influencia distinta (por ejemplo, controlados por el dueño del proceso o dependientes de factores externos), o bien diferenciados por procesos unitarios.

Para identificar los aspectos relevantes se pueden utilizar distintas técnicas, como análisis de contribución (se determinan los porcentajes que cada proceso, grupo de procesos etapa contribuyen al total), de dominancia (por medio de instrumentos estadísticos se examinan contribuciones importantes), de influencia (se determina la posibilidad de influir sobre los aspectos ambientales analizados), de anomalías (se observan desviaciones inusuales de ciertos resultados, basados en la experiencia).

**Con respecto a la evaluación final** en este punto se establecen la confiabilidad de los resultados del estudio, de modo de presentar a quien comisiona el estudio u otra parte interesada el producto del estudio en modo claro y entendible. Esta etapa debe ser realizada en modo congruente con el objetivo establecido del estudio. Los estudios más relevantes son:

- ✓ estudio de integridad;
- ✓ estudio de sensibilidad;
- ✓ estudio de consistencia.

**El estudio de integridad** tiene como objetivo asegurar que toda la información relevante para la interpretación está disponible y es completa. Si se encontrara que existe alguna laguna en la información disponible, se estudia la importancia de la misma para cumplir con los objetivos del estudio. Si no es relevante para cumplir con los objetivos se procede con la evaluación, pero si por el contrario se determina que es necesaria, se deben revisar las fases de inventario y evaluación de impactos, o bien la definición de los objetivos.

**El estudio de sensibilidad** tiene como objetivo estimar la confiabilidad de los resultados, analizando si la incertidumbre de los aspectos relevantes altera las conclusiones. Este estudio puede incluir los resultados de eventuales análisis de sensibilidad y de incertidumbre realizados en las fases precedentes, y puede determinar la necesidad de conducir dichos análisis en un modo más extenso o más preciso.

**El estudio de consistencia** tiene como objetivo determinar si las hipótesis, los métodos y los datos utilizados son consistentes con los objetivos del estudio. Los aspectos que pueden ser incluidos en este estudio son:

- consistencia de la calidad de los datos durante las distintas fases del ciclo de vida;
- diferencias regionales y/o temporales en los datos utilizados;
- consistencia en la aplicación de reglas de asignación y límites del sistema;
- consistencia en la aplicación de los elementos de evaluación de impactos.

**Con respecto a las conclusiones y recomendaciones** en este punto se extraen las conclusiones y se hacen las recomendaciones correspondientes al estudio realizado. Se deben extraer en modo iterativo, siguiendo la secuencia indicada a continuación:

- identificación de aspectos relevantes;
- evaluación de la integridad, sensibilidad y consistencia de las metodologías utilizadas;
- conclusiones preliminares y control de consistencia de las mismas con los objetivos del estudio, incluyendo requisitos de calidad de datos, hipótesis, valores predefinidos, etc.;
- conclusiones definitivas

En el caso en que de acuerdo a los objetivos especificados del estudio sea apropiado, se realizarán recomendaciones específicas sobre la base de las conclusiones finales del estudio.

## REGLAS DE CATEGORÍA Y DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTO

Durante el desarrollo de los estudios de análisis de ciclo de vida y determinación de huellas ha surgido la necesidad de normalizar y sistematizar las metodologías y criterios empleados a fin de que los valores obtenidos puedan ser comparados. Para ello la ISO ha trabajado los últimos años en una serie de normas entre la que se encuentra la 14.022 de etiquetado

Una **Declaración Ambiental de Producto**, DAP (del inglés, *Environmental Product Declaration*, EPD), es un documento o informe normalizado que proporciona información **cuantificada y verificable** sobre el

**desempeño ambiental** de un producto, un material o un servicio. Estas herramientas se utilizan para valorar el [impacto ambiental](#) a lo largo del ciclo de vida de productos de conformidad con la Norma Internacional **UNE-EN ISO 14025**.

Las DAP son aplicables a todos los sectores, desde el automovilístico hasta la electrónica, y ofrece una manera científica y neutral de valorar un producto desde una perspectiva ambiental en términos de:

- Datos del ACV en forma de categorías de impacto, como por ejemplo potencial de calentamiento global o agotamiento de recursos.
- Otra información del ciclo de vida, como por ejemplo los consumos energéticos de recursos fósiles o renovables en cada etapa.
- Información sobre emisiones contaminantes en la fabricación o contenido de sustancias peligrosas.
- Otra información adicional, como por ejemplo prestaciones del producto relacionadas con aspectos ambientales (por ejemplo aislamiento térmico), sistemas de gestión ambiental o del eco diseño en la organización, modo de gestionar el fin de vida útil del producto, etc.



Figura 16 Portal de los PCR y EPD

Como ya fue descrito [Análisis de ciclo de vida \(ACV\)](#) debe ser conforme con las Normas Internacionales ISO 14040 e ISO 14044, así como con las reglas de categoría de producto (RCP) *product category rules* (PCR) particulares que apliquen a la familia de productos pertinente. Es necesario contar con unas RCP para poder desarrollar una DAP.

La DAP debe incluir, al menos, la información siguiente [ISO 14025, 7.2]:

- identificación de la organización que elabora la DAP
- descripción e identificación del producto
- identificación del Programa en que se han verificado las DAP
- código de registro en el Programa, fecha de publicación y período de validez
- identificación de las RCP
- identificación de las etapas del ACV cubiertas
- los datos del ACV, ICV o módulos de información
- datos del análisis de inventario del ciclo de vida (ICV) de acuerdo con las RCP
- consumo de recursos, incluyendo energía, agua y recursos renovables
- emisiones al aire y vertidos al agua y al suelo
- resultados de los indicadores del análisis del impacto del ciclo de vida (AICV)
- otros datos tales como las cantidades y los tipos de residuos (desechos) producidos (residuos peligrosos y no peligrosos)

Las RCP correspondientes pueden incluir requisitos adicionales.

### Verificación de las Declaraciones ambientales

Las DAP se verifican en el marco de **Administradores de Programa**, es decir un organismo que gestiona un programa de declaraciones ambientales tipo III. El Administrador debe cumplir una serie de requisitos conforme a la Norma ISO 14025, entre otros:

- El Administrador de Programa debe tener unas Reglas Generales (*General Instructions*) publicadas [ISO 14025, 6.4], que incluyan los procedimientos de verificación, las competencias de los verificadores, los procedimientos de elaboración de las RCP, etc.
- El Administrador de Programa tiene otras responsabilidades [ISO 14025, 6.3], como asegurar la participación de las partes interesadas, la transparencia, et c.

Los **verificadores** dependen del Administrador del programa y deben tener competencias en verificación ambiental, el producto y el sector concretos, así como en las normas y reglamentación aplicables [ISO 14025, 8]. La verificación de DAP utilizadas en la comunicación del negocio al consumidor (B2C), debe ser llevada a cabo por una tercera parte independiente [ISO 14025, 9.4].

Familia de normas internacionales de etiquetas y declaraciones ambientales

Las DAP forman parte de la familia de [Etiquetas ecológicas](#) y declaraciones ambientales para productos y servicios definidas en la serie de Normas Internacionales ISO 14020, que se clasifican del siguiente modo:

1. **Ecoetiquetas - Etiquetado tipo I (ISO 14024)**: Programa de verificación de tercera parte que autoriza al uso de una etiqueta voluntaria basada en varios criterios ambientales, con un enfoque de ciclo de vida, diferenciando productos preferibles desde una perspectiva medioambiental (*preferencia ambiental*). Se otorgan por organizaciones privadas o agencias como garantía de las buenas cualidades ambientales de un producto, siendo sencillas de interpretar aunque la metodología con que se ha otorgado no es explícita.
2. **Auto declaraciones - Etiquetado tipo II (ISO 14021)**: Se trata de afirmaciones (*claims*) ambientales que realiza el propio fabricante sobre algunos aspectos de su producto, aunque pueden estar

verificadas por tercera parte. Un ejemplo son los iconos que identifican a una botella como reciclable y que se suelen representar mediante un símbolo.

3. **Declaraciones ambientales - Etiquetado tipo III (ISO 14025):** Manifestación que incluye datos **cuantitativos** basados en el ciclo de vida del producto junto con información adicional pertinente desde un punto de vista ambiental (por ejemplo, sobre el contenido en sustancias peligrosas), presentados de una forma *estandarizada*. Para su elaboración son necesarias unas **Reglas de Categoría de Producto (RCP)** para cada familia de productos concreta; en el caso de productos y servicios de construcción las RCP básicas se definen en la Norma UNE-EN 15804. Las Declaraciones ambientales suelen estar **verificadas** en un **Administrador de Programa**. En el caso de la comunicación Negocio a Consumidor (B2C) la verificación es obligatoria.

Estas normas buscan garantizar la fiabilidad de las afirmaciones ambientales que realizan las organizaciones, a partir de metodologías con base científica cuyos resultados puedan ser verificados por una tercera parte. Emplean un *enfoque* de ciclo de vida, siendo solo necesario realizar un ACV completo para las Declaraciones ambientales tipo III.

**MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

Para la construcción de la metodología de estimación de emisiones de GEIs se tomó como base la Directiva europea, la cual plantea en sus Anexos<sup>6</sup>, los conceptos a incluir para la estimar las emisiones del ciclo de vida y el cálculo de las reducciones logradas por los biocombustibles. A su vez, algunos conceptos no se los incluyeron debido no corresponden en función al ciclo de producción de BIOELECTRICA. A continuación, se detalla la ecuación básica de acuerdo a la Directiva, y que conceptos se han incluido o no en el presente estudio.

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee},$$

Siendo:

**Tabla 6 Emisiones incluidas en el estudio**

Concepto	Incluido
E = Emisiones totales procedentes del uso del combustible,	
e <sub>ec</sub> = Emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas,	Si
e <sub>l</sub> =	No Se considera que no hay cambios en las reservas de carbono de las tierras y que están en producción agrícola desde antes de Enero de 2008.  Observaciones: Dado que se extrae la planta entera y el residuo remanente en campo es reducido se requiere de un monitoreo de los lotes en producción para verificar que esta premisa se mantiene en el tiempo- A esto hay que agregar el posible aporte orgánico de los efluentes del digestor
e <sub>p</sub> = Emisiones procedentes de la transformación,	Si
e <sub>td</sub> = Emisiones procedentes del transporte y la distribución,	Si
e <sub>u</sub> = Emisiones procedentes del combustible cuando se utiliza,	No Directiva Europea - Anexo V - Párrafo 13: “se considerará nula para los biocarburantes y biolíquidos”

<sup>6</sup>Anexo V: Normas para calcular el impacto de los biocarburantes, biolíquidos y los combustibles fósiles de referencia en las emisiones de gases de efecto invernadero

$e_{sca}$ =	Reducción de emisiones procedente de la acumulación de carbono en suelo mediante una mejora de la gestión agrícola,	No Se considera que no hay cambios de gestión, ni mejora de los stocks de carbono. Observación: de implementarse un monitoreo en los lotes en producción a los cuales se los fertilice con el efluente de la planta esto podría reevaluarse
$e_{ccs}$ =	Reducción de emisiones procedente de la captura y retención del carbono,	No No se realiza este tipo de prácticas de almacenamiento geológico.
$e_{ccr}$ =	Reducción de emisiones procedente de la captura y sustitución del carbono, y	No No se utiliza biomasa del proceso para sustitución de combustibles fósiles.
$e_{ee}$ =	Reducción de emisiones procedente de la electricidad excedentaria de la cogeneración.	Si Se genera energía eléctrica con fuentes renovables reemplazando fuentes fósiles de acuerdo a su proporción en el sistema interconectado nacional.

Finalmente la reducción de emisiones se calcula, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{REDUCCIÓN} = (E_F - E_B)/E_F,$$

Siendo

- $E_B$  = las emisiones totales procedentes del biocarburante o biolíquido,
- $E_F$  = las emisiones totales procedentes del combustible fósil de referencia.

De acuerdo a los sistemas de gestión y para facilitar el análisis de las emisiones, el ciclo de producción de Biogas se ha dividido en las siguientes etapas:

-  Producción Agrícola ( $e_{ec}$ ): se incluye toda la operatoria asociada a los campos, hasta la tranquera.
-  Fletes de Materias Primas<sup>7</sup>: incluye toda la operatoria desde campos, incluyendo el traslado desde productores hasta el lugar de confección del silo o recepción de residuos.
-  Producción de biogás y digestato ( $e_p$ ): incluye la operatoria industrial desde el acondicionamiento del silo de maíz, mezclas con estiércoles, agitación, calefacción y bombeo a pileta de contención del co-producto asociado (digestato).

Para el cálculo de los valores correspondientes a cada concepto se utilizaron las guías “Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”. Debido a que estas guías no fueron diseñadas

<sup>7</sup>La directiva europea plantea que dentro de las emisiones del transporte se incluyen las emisiones asociadas a los movimientos de Materias Primas. Para el caso de ACABIO se ha subdividido el concepto por cuestiones de gestión de la información y se estiman por separado de las emisiones de biocombustible desde la planta al consumo ( $e_{td}$ ).

específicamente para el cálculo de las emisiones de un producto sino de países, fue necesario utilizar distinta bibliografía y fuentes de información como Biograce y Ecoinvent

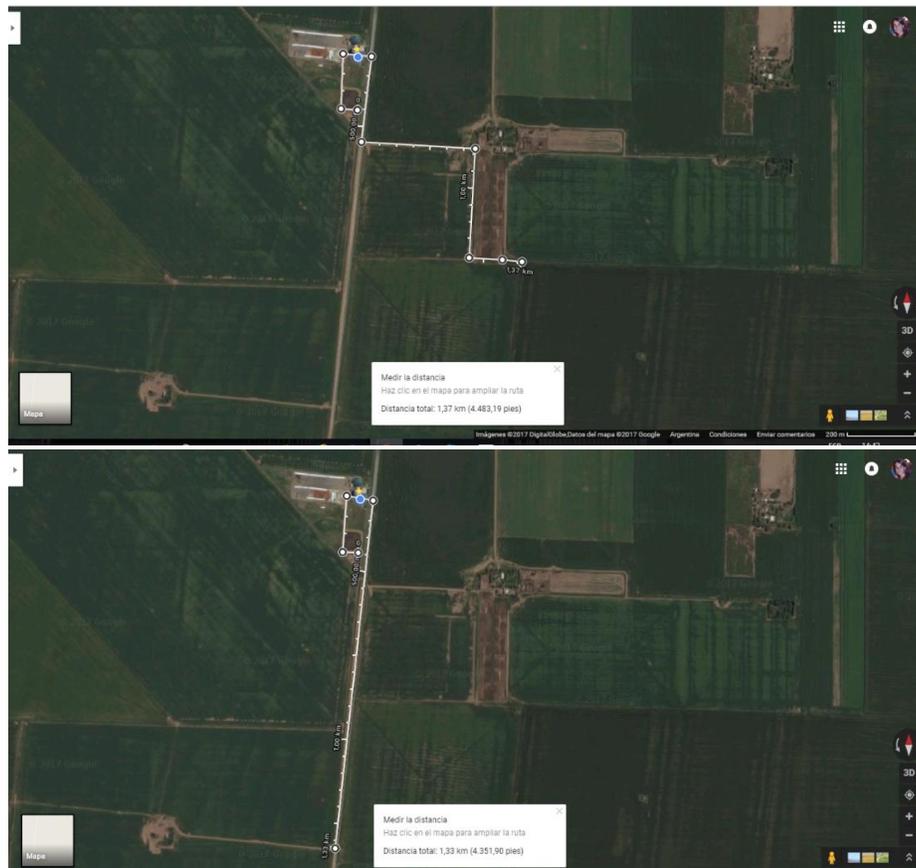
A continuación se detallan las fuentes de emisión consideradas y los esquemas de cálculo incluidos en cada etapa:

## PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

El Artículo 6 de la Directiva plantea: *“Las emisiones procedentes de la extracción o el cultivo de las materias primas,  $e_{ec}$ , incluirán las emisiones procedentes del proceso de extracción o el cultivo propiamente dicho, la recogida de las materias primas, los residuos y pérdidas, y la producción de sustancias químicas o productos utilizados en la extracción o el cultivo ..... Las estimaciones de las emisiones procedentes de los cultivos podrán elaborarse a partir de medias calculadas para zonas geográficas más reducidas que las utilizadas en el cálculo de los valores por defecto, como alternativa a la utilización de valores reales.”*

Por medio de personal de la empresa se relevaron los cinco campos que proveen maíz para su ensilado, de la información suministrada se determinaron los valores del paquete tecnológico empleado respecto a uso de los principales insumos y maquinaria agrícola. Dichos datos fueron empleados en la estimación de las emisiones a nivel de campo sobre la base de información representativa de los campos de generación de maíz para ensilado promedio de tres campañas.

Se calculó la totalidad de insumos y rendimiento a fin de obtener la huella de carbono del silo de maíz como uno de los principales insumos del biodigestor



**Figura 17 Relevamiento de ubicación y distancia de los campos relevados en relación con los proveedores de la empresa**

A continuación, se detalla cada una de las fuentes consideradas y el esquema del calculador empleado:

#### RESIDUOS DE COSECHA

Se utilizó la metodología indicada en el Capítulo 11 - Volumen 4 de las Guías del IPCC 2006 - Nivel 1. Se incluyeron las fuentes de emisiones "Directas", e "Indirectas por Lixiviación". Para la estimación se realizaron los siguientes pasos:

- Paso 1: Cálculo del rendimiento del cultivo en toneladas/Hectárea.
- Paso 2: Cálculo del N de residuos agrícolas, incluyendo cultivos fijadores de N y renovación de forraje/pasturas, devuelto a los suelos ( $F_{CR}$ ) mediante la Ecuación 11.7.
- Paso 3: Cálculo de las emisiones Directas mediante el uso de la Ecuación 11.1 y del Cuadro 11.1.
- Paso 4: Cálculo de las emisiones Indirectas por Lixiviación por medio de la Ecuación 11.10 y del cuadro 11.3.

*Nota aclaratoria: En esta etapa del estudio no se tuvo en consideración el posible impacto en las emisiones de los rastros la incorporación de biofertilizantes. Las mismas responden en su magnitud a las dosis, condiciones medio ambientales y de suelo, tecnología de aplicación y características propias del digestato.*

---

## USO DE FERTILIZANTES

Se incluye en este concepto a las fuentes “Directas” e “Indirectas x Deposición Atmosférica y Lixiviación” asociadas a la aplicación de fertilizantes sintéticos, y las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de Urea y derivados, para lo cual se utiliza la metodología de Nivel 1 indicada Capítulo 11 - Volumen 4 de las Guías del IPCC 2006. Los pasos seguidos en el cálculo son:

- ✓ Paso 1: Cálculo de la cantidad de fertilizante sintético aplicado (FSN) mediante el fertilizante aplicado por tipo y la composición.
- ✓ Paso 2: Cálculo de las emisiones Directas mediante el uso de la Ecuación 11.1 y del Cuadro 11.1.
- ✓ Paso 3: Cálculo de las emisiones Indirectas por Deposición Atmosférica por medio de la Ecuación 11.09 y del cuadro 11.3.
- ✓ Paso 4: Cálculo de las emisiones Indirectas por Lixiviación por medio de la Ecuación 11.10 y del cuadro 11.3.
- ✓ Paso 5: Cálculo de la cantidad de Urea equivalente aplicada (FUREA).
- ✓ Paso 6: Cálculo de las emisiones CO<sub>2</sub> por uso de Urea mediante la ecuación 11.3.

Los datos utilizados para el cálculo son la “Cantidad”, “Tipo de fertilizante” y “Composición” de los fertilizantes sintéticos aplicados en promedio.

*Nota Aclaratoria En este primer cálculo los campos relevados no recibieron aportes de macro nutrientes de la aplicación de digestato por lo tanto el impacto calculado puede considerarse como máximo. De establecerse un sistema de refertilización y regreso de nutrientes a los lotes en producción este impacto proveniente de los fertilizantes minerales empleados podría sufrir importantes reducciones*

---

## COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

En este concepto se incluyen las emisiones de Gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub>) asociadas a la quema de Gas-Oil y Nafta para las actividades de preparación, siembra, cosecha, aplicación de fertilizantes y agroquímicos. Es decir las emisiones directas producidas a nivel de los campos proveedores de silaje de maíz.

A continuación se detallan los pasos para estimar las emisiones correspondientes Combustibles y Lubricantes:

- ✓ Paso 1: Estimación del consumo de combustibles y lubricantes, mediante la conversión de las actividades realizadas a litros de combustible y lubricantes.
- ✓ Paso 2: Cálculo de las emisiones Directas multiplicando el consumo de cada combustible y lubricante por su factor de emisión correspondiente<sup>8</sup>.

---

## PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES

Se incluye en este concepto, a las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de los fertilizantes sintéticos utilizados. Para determinar dichas emisiones se utilizan los valores de emisiones indicados en el informe “A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production. Sam Wood

---

<sup>8</sup>En el punto “Factores de Emisión” se detallan los coeficientes utilizados y la fuente de información utilizada.

*and Annette Cowie Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting - For IEA Bioenergy Task 38 - June 2004".*

La estimación de las emisiones se realiza mediante la multiplicación de las cantidades utilizadas de cada fertilizante por el factor de emisión correspondiente.

**Nota Aclaratoria** *En este primer cálculo los campos relevados no recibieron aportes de macro nutrientes de la aplicación de digestato por lo tanto el impacto calculado puede considerarse como máximo. De establecerse un sistema de refertilización y regreso de nutrientes a los lotes en producción este impacto proveniente de los fertilizantes minerales empleados podría sufrir importantes reducciones en su cantidad y por ende esto afectaría las emisiones provenientes de la producción*

---

## PRODUCCIÓN DE AGROQUÍMICOS

Esta fuente de emisión se refiere a las emisiones de GEIs asociadas al ciclo de producción de los agroquímicos aplicados durante la producción de maíz. Para realizar la estimación se empleó la siguiente metodología:

- ✓ Paso 1: Estimación de los kilogramos de agroquímicos aplicados según datos estandarizados de producción de maíz.
- ✓ Paso 2: Cálculo de las emisiones multiplicando la cantidad de agroquímicos por el Factor de Emisión correspondiente de la base de datos de Biograce.

---

## PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Esta fuente de emisión se refiere a las emisiones de GEI asociadas al ciclo de producción de las semillas de maíz sembradas en los campos para la producción de maíz. Para realizar la estimación se empleó la siguiente metodología:

- ✓ Paso 1: Estimación de los kilogramos de maíz semilla aplicados.
- ✓ Paso 2: Cálculo de las emisiones multiplicando la cantidad de maíz semilla por el Factor de Emisión correspondiente tomado de la base de datos de biograce.

---

## PRODUCCIÓN COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES

En el caso de las emisiones asociadas a la producción de los combustibles y lubricantes, se utilizan los valores para las etapas de "Extracción" y "Refinería" indicados en la Metodología "Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017 "Production of Bioetanol for use as fuel" - v.01.1 -UNFCCC - CDM Executive Board". En el caso de la nafta y los lubricantes al no contar con valores, se utilizan, en el primer caso, los mismos valores que para Gas-Oil, y en el segundo un 10% de las emisiones por combustión. La estimación de emisiones se realiza multiplicando los consumos de cada uno de los combustibles y lubricantes por el valor correspondiente.

## FLETES DE MATERIAS PRIMAS

En este concepto se incluyen todos los movimientos de forraje y estiércol desde la originación hasta la ubicación del digestor.



**Figura 18**Esquema del módulo fletes de BIOELECTRICA

Otra consideración importante es que, en todos los fletes, se consideran las emisiones del viaje ida y vuelta<sup>9</sup> según lo indicado en la Metodología “*Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017 “Production of Bioethanol for use as fuel” - v.01.1 - UNFCCC - CDM Executive Board*”.

#### TRANSPORTE POR CAMIÓN

En la siguiente tabla se puede apreciar el esquema de cálculo para determinar las emisiones por km recorrido para los trayectos realizados por camión:

<sup>9</sup>ACM0017 - Página 14 – AVDM: Averaged distance travelled by vehicle transporting material m (km), *including the return trip*/s.

**Tabla 7 Emisiones del transporte de referencia**

Emisiones por km recorrido Camion Cerealero		Unidades	Ecuacion	Valor
	Consumo específico de Gas-Oil	Lt/ 100 Km	Dato de Logistica ACABIO. Se toman maximos	38,00
FECO2 LTS	Factor de emision de CO2	KgsCO2/Lts	Ver Hoja Factores de emision Incluye LCA	2,67
CO2	Emisiones CO2 por Transporte por Km	KgsCO2/Km	Consumo x Km	1,02
FEN2O LTS	Factor de emision de N2O	mg N2O/Km	IPCC 2006 - Cuadro 3.2.5 - Pre-Euro Diesel - Autobus - Rural >16 t	30,00
N2O	Emisiones N2O por Gas-Oil Transporte	KgN2O/Km	Cambio de unidades	0,00
FECH4 Lts	Factor de emision de CH4	mg CH4/ km	IPCC 2006 - Cuadro 3.2.5 - Pre-Euro Diesel - Autobus - Rural > 16 t	80,00
CH4	Emisiones CH4 por Gas-Oil Transporte	KgCH4/km	Cambio de unidades	0,00
FE <sub>CO2eq</sub> Unidad	Factor de emision x KM recorrido	KgsCO <sub>2eq</sub> /Km	FE total x Km	1,03

Como paso siguiente es necesario estimar los kilómetros recorridos en camión por campaña, estos datos fueron extraídos de las declaraciones de la empresa de acuerdo a la distancia de cada establecimiento y a la cantidad de viajes realizados en la campaña-

## PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y DIGESTATO

De acuerdo a la Directiva Europea en el Anexo V – Punto 11: *“Las emisiones procedentes de la transformación, e<sub>p</sub>, incluirán las emisiones procedentes de la transformación propiamente dicha, los residuos y pérdidas, y la producción de sustancias químicas o productos utilizados en la transformación”.*

En el caso del modelo planteado, dentro del concepto y con el objetivo de asignar las emisiones entre los co-productos se ha subdividido el proceso en:

-  Recepción
-  Fermentacion
-  Almacenaje de digestato

A continuación se detallan las fuentes de emisión consideradas para la etapa de transformación:

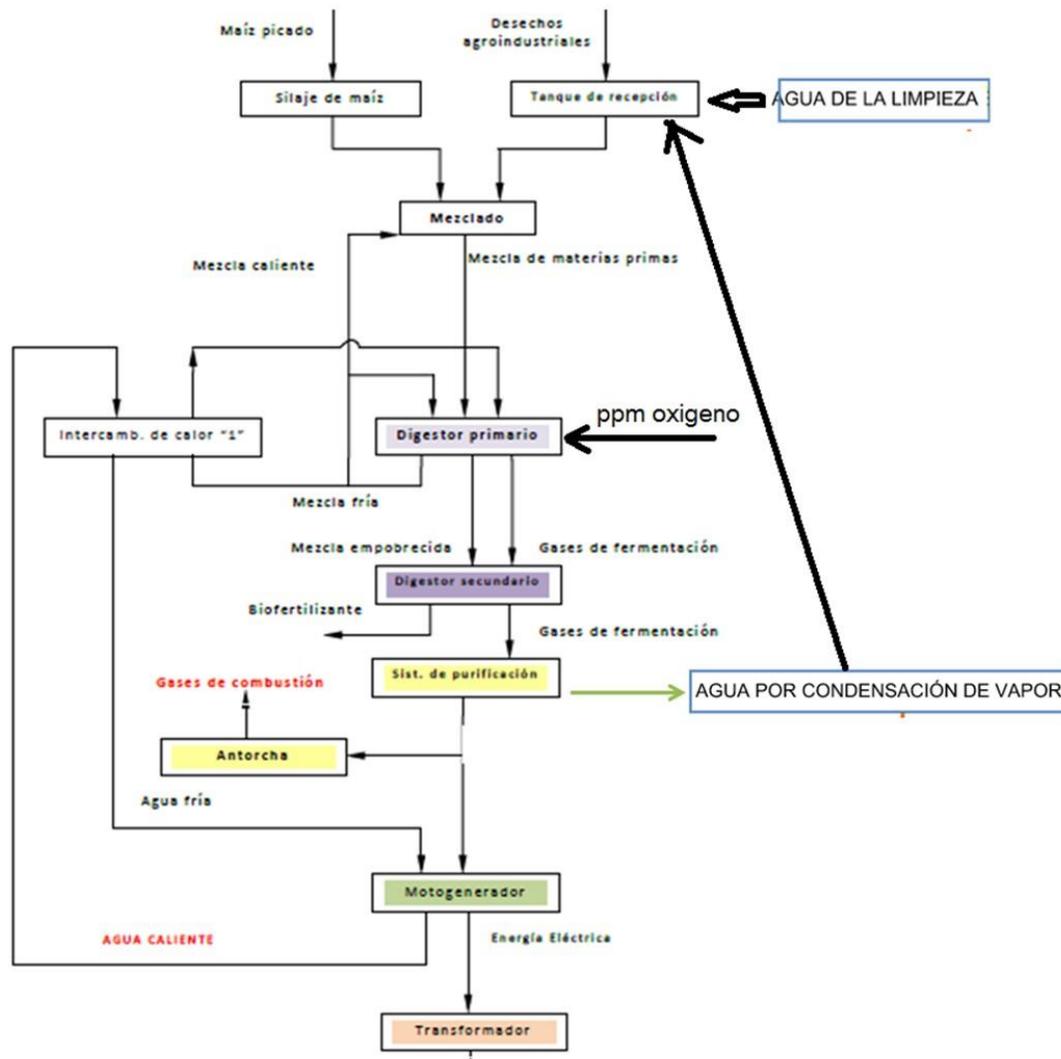


Figura 19 Esquema del módulo industrial

## ENERGÍA

En este concepto se incluyen todas las fuentes de emisión asociadas al consumo de combustibles y lubricantes. Para todos los casos se toma como base el consumo total de la planta asignándose entre cada una de las etapas en función de los siguientes criterios:

## BIOFERTILIZANTES:

Las emisiones debidas al almacenaje intermedio y aplicación final del biofertilizante a campo se estimaron en base a la metodología indicada en el Capítulo 6 - Volumen 5 de las Guías del IPCC 2006. :

- ✓ Paso 1: Cálculo del volumen de digestato.
- ✓ Paso 2: Estimación del Total de materia degradable (Ecuación 6.6)
- ✓ Paso 3: Determinación del factor de corrección de metano y Factor de emisión por sistema de tratamiento. (Cuadro 6.8 y Ecuación 6.5)
- ✓ Paso 3: Cálculo de las emisiones por efluentes líquidos (Ecuación 6.4).

**Tabla 8 Unidades y factores empleados**

Q <sub>e</sub>	Efluente Total	M <sup>3</sup>	Produccion x W
W	Generacion de aguas residuales	M3/Tn Aceite	Cuadro 6.9 - IPCC 2006
COD	Demanda quimica de oxigeno	kg/M3 Efluente	Cuadro 6.9 - IPCC 2006 - Se toma valor promedio
TOW	Total de materia degradable	Kg COD	Ecuacion 6.6
MCF	Factor de Correccion metano	Fraccion	Cuadro 6.8 - Laguna Anaerobica
Bo	Capacidad maxima de produccion Metano	KgCH4/KgCOD	Factor IPCC Default
EF	Factor de emision por Efluentes	KgCH4/KgCOD	Ecuacion 6.5
S	Componente orgánico separado como lodo	KgCOD	Se considera que no hay extraccion de lodos
R	Cantidad de metano recuperado	KgCH4	Se supone que no hay recuperero

#### TASA DE RETORNO ENERGÉTICO (EROEI)

Se incluyó en el cálculo del EROEI el gasto energético de las actividades e insumos utilizados para producir electricidad, desde la producción agrícola, fletes de MMPP, Planta Industrial BIOELECTRICA, y los fletes de los coproductos producidos hasta su colocación final en los campos. Se tomaron los contenidos energéticos de los combustibles según los datos del MinEM (Balance Energético Nacional). En el caso de la producción de insumos se tomaron valores del BioGrace (V4), y en el de los insumos de planta valores de literatura (explicitados en la hoja “Cuadro F. FE Insumos Planta” del calculador). Finalmente se realizó la misma apropiación energética por etapas que para el “Análisis ApropiaciónLínea”.

Finalmente se realizaron las tres apropiaciones de los consumos comunes, y se calculó el EROI con apropiación por coproductos o como si el único producto fuera el bioetanol.

#### FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS

A continuación, se detallan los factores de emisión utilizados en los cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero:

#### POTENCIALES DE CALENTAMIENTO GLOBAL

Se utilizaron los valores indicados en la Directiva europea de biocombustibles - EU 2009/28/CE - Anexo 5 - Punto C. Metodología - Art. 5:

-  CO<sub>2</sub>: 1
-  CH<sub>4</sub>: 23
-  N<sub>2</sub>O: 296

## CONTENIDO ENERGÉTICO

Se tomaron solamente como salidas al biogas con su contenido energético promedio adicionando la energía térmica efectivamente entregada.

## FACTORES POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DEL N AGREGADO A LOS SUELOS A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O se utilizaron los valores para Nivel 1 incluidos en el Cuadro 11.2 - Volumen 4 - Capitulo 11 - Página 19 - IPCC 2006.

## FACTORES DE EMISIÓN DE N<sub>2</sub>O (FUENTES DIRECTAS/INDIRECTAS)

Para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O se utilizaron los coeficientes por default indicados en los cuadros 11.1 (Página 12) y 11.3 (Página 26) Volumen 4 - Capitulo 11 - IPCC 2006. A continuación se extraen los coeficientes utilizados:

**Tabla 9 Factores de emisión de la producción primaria**

Factor	Descripción	Unidad	Valor por Defecto	Rango de incertidumbre
EF <sub>1</sub>	Para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo	kg N <sub>2</sub> O-N / (kg N)	0,01	0,003 a 0,03
Frac <sub>GASF</sub>	Volatilización de fertilizante sintético	(kg NH <sub>3</sub> -N + NOx-N) / (kg N aplicado)	0,10	0,03 a 0,3
EF <sub>4</sub>	Factor de volatilización y re-deposición de N	Kg N <sub>2</sub> O / (NH <sub>3</sub> -N + NOx-N volatilizado)	0,01	0,002 a 0,05
Frac <sub>lixiviación-H</sub>	Fracción pérdidas de N por lixiviación y escurrimiento	kg N lixiviado / (kg N aplicado)	0,30	0,1 a 0,8
EF <sub>5</sub>	Factor de lixiviación y escurrimiento	kg N <sub>2</sub> O-N / Kg N lixiviación/escurrimiento	0,0075	0,0005 a 0,025

## FACTORES DE EMISIÓN ENERGÉTICOS

Se utilizaron los factores de emisión locales, fundamentalmente incluidos en el inventario de Gases de Efecto Invernadero incluido en la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático 2012 . A continuación se detallan los factores utilizados:

**Tabla 10 Factores de emisión de los energéticos empleados**

**Factores de Emisión Energéticos**

Fuentes: Inventario de gases de efecto invernadero de la República Argentina - Año 2012 - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable  
Balance Energético Nacional - Secretaría de Energía de la Nación

Tipo de Combustible/Energético				Nota 1					Nota 2		
Variable	Descripción	Unidades	Fuente	Gas-Oil Lts	Nafta Lts	Lubricantes Lts	G.L.P. Kg	Gas Natural M³	Leña (dura) Kg	Energía Eléctrica KwH	Fuel-Oil Kg
PCI	Poder Calorífico Inferior	Kcal/Unidad	Balance Energético Nacional - Metodología construcción BEN	8.619	7.607	8.503	10.950	8.300	2.300		9.800
D	Densidad	Kgs/Unidad	Inventario 2012 - Factores Generales	0,8450	0,7350	0,8850	0,5370	0,7190			0,9450
Frac Ox	Fracción de Carbono Oxidado	%	Inventario 2012 - Factores Generales	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000
C <sub>c</sub>	Contenido de Carbono	TCIT/J	Inventario 2012 - Factores Generales	20,21	18,90	19,99	17,21	15,30	30,55		21,11
FE <sub>CO2</sub> Kcal	Factor de emisión de CO <sub>2</sub>	KgsCO <sub>2</sub> /Kcal	FE <sub>CO2</sub> = C <sub>c</sub> * Frac Ox * 44/12	0,0003102	0,0002901	0,0003069	0,0002642	0,0002349	0,0004689		0,0003241
FE <sub>CO2</sub> Unid	Factor de emisión de CO <sub>2</sub>	KgsCO <sub>2</sub> /Unidad	FE x Unidad de consumo	2,67	2,21	2,61	2,89	1,95	1,08	0,399	3,18
FE <sub>N2O</sub>	Factor de emisión de N <sub>2</sub> O	KgsN <sub>2</sub> O/TJ	Inventario 2012 - Factores Generales	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	4,0	-	0,6
FE <sub>N2O</sub> Kcal	Factor de emisión de N <sub>2</sub> O	KgsN <sub>2</sub> O/Kcal	Cambio de Unidades	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000
FE <sub>N2O</sub> Unid	Factor de emisión de N <sub>2</sub> O	KgsCO <sub>2</sub> /Unidad		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000
FE <sub>CH4</sub>	Factor de emisión de CH <sub>4</sub>	KgsCH <sub>4</sub> /TJ	Inventario 2012 - Factores Generales	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	30,00	-	1,00
FE <sub>CH4</sub> Kcal	Factor de emisión de CH <sub>4</sub>	KgsCH <sub>4</sub> /Kcal	Cambio de Unidades	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000
FE <sub>CH4</sub> Unid	Factor de emisión de CH <sub>4</sub>	KgsCO <sub>2</sub> /Unidad		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000
FE <sub>CO2+q</sub> Unid	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq	KgsCO <sub>2</sub> e/Unidad	FE total x Unidad	2,68	2,21	2,62	2,90	1,95	1,10	0,399	3,18
FE <sub>CO2+q</sub> Kcal	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq	KgsCO <sub>2</sub> e/Kcal	FE total x Kcal	0,0003113	0,0002912	0,0003079	0,0002644	0,0002351	0,0004768		0,0003249

**PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES, AGROQUÍMICOS Y SEMILLAS**

Se estimaron las emisiones generadas en la producción de los tres fertilizantes estándar que se emplean en la producción de maíz, en función a los consumos relvados en los campos testigo empleados. Se emplearon los factores de emisión de la Tabla 7 del informe "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" y del BioGrace (2011). Se pueden encontrar en la "Tabla 1. Fertilizantes" de la planilla Emisiones Producción Maíz.

**Tabla 11 Factores de Emisión para la producción de fertilizante.**

Nombre Fertilizante	U.M.	Categoría	Composición (%)				UREA %	Kgs CO2eq/U.M.	Emisiones Ciclo de vida Fuente
			N	P2O5	K2O	S			
UREA	KG	Fertilizante	46,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100%	0,61	Tabla 6 - Europe Average - Kongshaug (1998) - "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" - Sam Wood and Annette Cowie - IEA Bioenergy Task 38 - Junio 2004.
DAP	KG	Fertilizante	18,0%	46,0%	0,0%	0,0%	0%	0,46	Tabla 7 - Europe Average - Kongshaug (1998) - "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" - Sam Wood and Annette Cowie - IEA Bioenergy Task 38 - Junio 2004.
SOLMIX	KG	Fertilizante	30,0%	0,0%	0,0%	2,6%	0%	1,31	Tabla 6 - Europe Average - Kongshaug (1998) - "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" - Sam Wood and Annette Cowie - IEA Bioenergy Task 38 - Junio 2004.
Cebador 14:34	KG	Fertilizante	14,0%	34,0%	0,0%	9,0%	0%	0,31	Tabla 7 - Europe Average - Kongshaug (1998) - "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" - Sam Wood and Annette Cowie - IEA Bioenergy Task 38 - Junio 2004.
Microessencial SZ	KG	Fertilizante	12,0%	40,0%	0,0%	10,0%	0%	0,31	Tabla 7 - Europe Average - Kongshaug (1998) - "A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production" - Sam Wood and Annette Cowie - IEA Bioenergy Task 38 - Junio 2004.

Fuente: A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertilizer Production. Para IEA Bioenergy Task 38, Junio 2004.

En cuanto a los factores de emisión para la producción de agroquímicos la bibliografía es variada y se considera apropiado emplear el valor propuesto por BioGrace (2011) como factor de emisión para pesticidas ya que es

conservador y posee la aprobación del ISCC (*International Sustainability and Carbonfication*) de la Unión Europea<sup>10</sup>. No se consideran emisiones de los coadyuvantes (aceites) ni de los inoculantes.

Se empleó el factor de emisión para la producción de semillas de maíz de Ecoinvent 2.2, 2010 que es propuesto por el ISCC<sup>11</sup>.

**Tabla 12 Factores de emisión de agroquímicos y semillas**

Variable	Unidad	Valor por Defecto
Factor de Emisión para producción de agroquímicos	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	10,97
Factor de Emisión para producción de semillas de maíz	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	1,93

## USO DE COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Para estimar la cantidad de combustible y lubricantes empleados en la producción de maíz se tuvieron en cuenta los consumos relevados en los campos. Se asumió que la pulverización es terrestre por 80 l y que la fertilización es líquida. A cada actividad de laboreo se le asignó un consumo promedio de combustible o lubricante por superficie como se puede ver a continuación. Salvo que se indique lo contrario, se supone que el consumo de lubricantes es un 12% del consumo de combustible.

**Tabla 13 Consumo de combustibles y lubricantes por laboreo**

Labores	Combustible	Lts/Ha (Gas Oil)	Lts/Ha Nafta	Lts/Ha (Lubricantes*)	Observaciones	Fuente de Informacion
SIEMBRA	Gas-Oil	7,63		0,92	No es posible distinguir tipo de siembra por lo cual se promedian S.D. Grano Fino/Grueso	Tabla: El costo de los labores agrícolas -1/02/2011 - 42/43
PULVERIZACIÓN	Gas-Oil	1,65		0,20	Se toman valores de pulverización de arrastre	Tabla: El costo de los labores agrícolas -1/02/2011 - 43
COSECHA	Gas-Oil	15,58		1,87		Estudio Huella de Carbono en los Exportables de la Provincia de Buenos Aires - CFI - 2011

## DATOS DE ACTIVIDAD

### EMISIONES DE TRANSPORTE

Los movimientos desde los proveedores de silaje de maíz y estiércol hasta la planta de bioeléctrica se basaron en la información aportada por la empresa.

### EMISIONES DE PROCESO INDUSTRIAL

<sup>10</sup>El informe ISCC 205 GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit (pág. 24) propone emplear el valor definido en BioGrace 2011 como Factor de Emisión para pesticidas.

<sup>11</sup>El informe ISCC 205 GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit (pág. 24) propone emplear como Factor de Emisión para producción de semillas el valor definido en Ecoinvent 2.2, 2010; maize seed IP, at regional storehouse (CH).

La información correspondiente a los insumos utilizados, los energéticos consumidos y los productos generados fueron aportados por la empresa.

## CALCULADOR DE EMISIONES BIOELECTRICA

El calculador fue desarrollado mediante una serie de hojas de cálculo en planilla Excel versión 2016, con tablas dinámicas. El sistema completo contiene 35 páginas relacionadas, se cuenta con la totalidad de la información de referencia, planillas de ingreso y de sensibilidad y evaluaciones del para el mercado externo y nacional

Inventario actividades BIOELECTRICA - Periodo 2013-2017 (junio)			
Resumen de contenido planilla de calculo			
Versión 4.4 - 9/10/2017			
Hoja de calculo	Contenido	Carga de datos	Página
<b>Indice</b>		No	<b>1</b>
<a href="#">Analisis 2013-2017</a>	Análisis de emisiones del periodo 2013-2017. Mapeo "document" las MMPP onstack.	No	<b>2</b>
<a href="#">Analisis 2016</a>	Análisis de emisiones del periodo 2016. Las emisiones de MMPP se asignaran según "Canruma".	No	<b>3</b>
<a href="#">Huella Hídrica 2016</a>	Análisis de la huella hídrica del periodo 2016.	No	<b>4</b>
<a href="#">EROI 2013-2017</a>	Estimación de la tasa de retorno energética 2013-2017. Mapeo "document" las MMPP onstack.	No	<b>5</b>
<a href="#">EROI 2016</a>	Estimación de la tasa de retorno energética 2016. La MMPP se consideraran proporcionales al "Canruma"	No	<b>6</b>
<a href="#">Diagrama de procesos</a>	Procesos involucrados en la producción de bioeléctrica	No	<b>7</b>
<a href="#">Graficar</a>	Grafica de barras por fuente de emisión para campaña 2016/17	No	<b>8</b>
<a href="#">Analisis Mensual</a>	Asignación anual de la alimentación y producción de biogas	Si	<b>9</b>
<a href="#">Producción bioeléctrica 16/17</a>	Datos declarados por la empresa para el periodo 2016/17	Si	<b>10</b>
<a href="#">Datos producción cilaie</a>	Planilla que recopila la información suministrada por el empresa de cada proveedor	Si	<b>11</b>
<a href="#">Resumen cilaie</a>	Cuadrar y calcular de emisiones por de la producción de rila de maíz.	No	<b>12</b>
<a href="#">A. Bioridur</a>	Calculo del total de emisiones procedentes del material remanente a campo luego de la cosecha del maíz	No	<b>13</b>
<a href="#">B1. Fertilizantes</a>	Sumatoria de los fertilizantes químicos usados en cada una de las campos	No	<b>14</b>
<a href="#">B2. Biofertilizantes</a>	Calculo de la cantidad de biofertilizantes aplicados y sus emisiones	Si..	<b>15</b>
<a href="#">C1. Labores</a>	Sumatoria de la cantidad de labores y consumo de energía y las emisiones producidas	No	<b>16</b>
<a href="#">C2. Picked</a>	Calculo del consumo de energía y emisiones del picado de maíz a campo	No	<b>17</b>
<a href="#">C3. Aplicación Bio</a>	Calculo de las emisiones producidas a campo por la aplicación de biofertilizantes	No	<b>18</b>
<a href="#">D. Transporte fertilizante</a>	Calculo de emisiones asociadas al transporte de los fertilizantes	No	<b>19</b>
<a href="#">E. Transporte cilaie</a>	Consumo y emisiones del transporte del maíz picado para ensilaje	Si..	<b>20</b>
<a href="#">F. Insumos agropecuarios</a>	Sumatoria de todos los insumos empleados a campo	No	<b>21</b>
<a href="#">G. Semillas</a>	Calculo de emisiones por producción de semilla según directiva EU-RED	No	<b>22</b>
<a href="#">H. Transporte ortiercal</a>	Uso de combustible y emisiones del transporte de ortiercal desde los campos	No	<b>23</b>
<a href="#">H1. Datos ortiercal</a>	Análisis de los ortiercales cargados en el dique	Si	<b>24</b>
<a href="#">I. Bioeléctricas</a>	Calculo del consumo de lubricantes de la planta y sus emisiones	No	<b>25</b>
<a href="#">J. Efluentes</a>	Emisiones producidas en el depósito de efluentes	No	<b>26</b>
<a href="#">K. Aplicación de biofertilizantes</a>	Detalle de la aplicación a campo de clara de la empresa	No	<b>27</b>
<a href="#">Cuadro A. PCG</a>	Potencial de calentamiento global. Se utilizaran los valores de la Directiva EU-RED	Tabla	<b>28</b>
<a href="#">Cuadro B. IPCC-H2</a>	Factores para la estimación del N2O agrícola a las zonas a partir de residuos agrícolas. Valores del IPCC 2006	Tabla	<b>29</b>
<a href="#">Cuadro C. Factor N2O</a>	Factores de emisión emisiones directas e indirectas de N2O de las zonas agrícolas. Valores del IPCC 2006	Tabla	<b>30</b>
<a href="#">Cuadro D. FE Combustibles</a>	Factores de emisión de las energéticas. Se tomaran los valores de la Tercera Comunicación Nacional (SAYDS), Balance Energética Nacional (SE) y Factor de Emisión de la Red Eléctrica (SE)	Tabla	<b>31</b>
<a href="#">Cuadro E. Fertilizantes</a>	Factores de emisión estimados para la producción de los fertilizantes utilizados en los campos de referencia. Se tomaran valores de bibliografía.	Tabla	<b>32</b>
<a href="#">Cuadro F. Labores</a>	Calculo del combustible por labores. Se tomaran valores de bibliografía.	Tabla	<b>33</b>
<a href="#">Cuadro G. Agroquímicos</a>	Características agroquímicas (densidad y tipo). Se tomaran valores de las hojas de seguridad.	Tabla	<b>34</b>
<a href="#">Cuadro H. Transporte por camión</a>	Características Com-productos elaborados para asignación de emisiones según criterios. Se tomaran valores de bibliografía (humedad, densidad y contenido energético)	Tabla	<b>35</b>

Tabla 14 Descripción índice de las hojas contenidas en el calculador

## BREVE DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES HOJAS DEL CALCULADOR

### ANALISIS 2013 - 2017

Esta hoja contiene un resumen de las emisiones generadas del período total aportado por la empresa. Presenta las emisiones generadas durante el periodo de estudio 2013 al 2017, y la asignación de las mismas por mWh.

En la hoja se incluye la sumatoria de las emisiones asociadas a las actividades de BIOELECTRICA, desde la Producción de las Materias Primas (Maíz), pasando por los transportes (de Materias Primas y Productos elaborados) y la etapa industrial. Se abarca hasta la entrega de la energía eléctrica en el punto de inyección al sistema interconectado y la térmica a BioIV. A su vez se detallan las fuentes de emisiones incluidas en cada etapa, junto con los valores obtenidos.

### **ANALISIS 2016**

Esta hoja contiene un resumen de las emisiones generadas para el año 2016 sobre los datos aportados por la empresa y la asignación anual de silaje de maíz correspondiente. Presenta las emisiones generadas durante el periodo de estudio 2016, y la alocaión de las mismas por mWh.

En la hoja se incluye la sumatoria de las emisiones asociadas a las actividades de BIOELECTRICA, desde la Producción de las Materias Primas (Maíz), pasando por los transportes (de Materias Primas y Productos elaborados) y la etapa industrial. Se abarca hasta la entrega de la energía eléctrica en el punto de inyección al sistema interconectado y la térmica a BioIV. A su vez se detallan las fuentes de emisiones incluidas en cada etapa, junto con los valores obtenidos.

### **HUELLA HIDRICA 2016**

Esta hoja contiene un resumen de las asignaciones del consumo de agua por parte del cultivo empleado a la producción anual del año 2016

### **EROI 2013 -2017**

Esta hoja contiene un resumen de las asignaciones de energía de las etapas agrícola, transporte y operación de la planta relacionadas con la totalidad de la energía entregada y utilizada. Se encuentran discriminados los diferentes productos empleados en cada una de las etapas, así como su contribución porcentual. En este caso tiene dentro del período incluido la generación inicial de silo de maíz para la operación anual de la planta

### **EROI 2016**

Esta hoja contiene un resumen de las asignaciones de energía de las etapas agrícola, transporte y operación de la planta relacionadas con la totalidad de la energía entregada y utilizada durante el año 2016. Se encuentran discriminados los diferentes productos empleados en cada una de las etapas así como su contribución porcentual. Esta hoja realiza el cálculo de la energía utilizada para la producción de la unidad de la energía eléctrica. Se brindan el resultado final del total de la energía producida en relación a la inversión total energética considerando como alternativa un aprovechamiento de la energía térmica generada en el proceso.

### **DIAGRAMA DE PROCESO**

Se presenta un esquema de flujo del proceso productivo elaborado por BIOELECTRICA a partir del cual se identifican las entradas y salidas de cada etapa.

## GRAFICO INVENTARIO

En esta hoja el calculador representa en una serie de barras horizontales la importancia relativa de las emisiones de cada una de las etapas analizadas en el proceso incluyendo la producción agrícola, transporte y fase industrial.

## ANALISIS MENSUAL

En esta hoja el calculador representa la asignación mensual de las emisiones durante todo el período analizado.

## BALANCE GENERAL

En esta hoja el calculador representa para el período noviembre 2015 Junio 2017 los insumos y diversos productos generados declarados por la empresa. EN varios de ellos los valores declarados son calculados y no medidos.

## PRODUCCION BIOELECTRICA 16-17

En esta hoja el calculador representa los valores de balance aportados por la empresa para este período. En este caso la mayoría de los mismos son datos medidos y no calculados.

## DATOSPRODUCCIÓN DE SILAJE

Esta hoja presenta una tabla que contiene los principales datos relevados a campo de los proveedores de silaje de maíz- Contiene como campos la identificación de la campaña, la superficie cultivada. La producción obtenida. El rendimiento calculado, el contenido de materia seca. El porcentaje de residuos que permanecen en el campo, el consumo de bateas (transporte) la distancia entre el lote cosechado y bioeléctrica y el aforo de dichos transportes.

## ANALISIS MENSUAL

Dado que la producción de silo de maíz se encuentra desfasada de la producción de Biogas y electricidad se confeccionó esta planilla de manera de asignar anualmente las emisiones derivadas de la producción de silaje de maíz con la generación eléctrica de dicho material en la planta de bioeléctrica.

## RESUMEN SILAJE

En la hoja se calculan las emisiones dentro y fuera del sistema n kg CO2 equivalente totales por cada uno de acuerdo a los datos relevados.

- ✓ Residuos de cosecha" "B1.
- ✓ Fertilización" "B2.
- ✓ BioFertilizante" "C.1
- ✓ Laboreos" "C.2
- ✓ Picado" "C.3
- ✓ Aplicación Bio" "D.
- ✓ Transporte BioFertilizante a Campo" E. Transporte Silaje a planta "B.1

- ✓ Producción Fertilizantes" "C.1
- ✓ Producción Combustibles Laboreos" "C.2
- ✓ Producción Combustibles Picado" "C.3
- ✓ Producción Combustibles Aplicación BioFertilizantes" "D.
- ✓ Producción Combustibles Transporte BioFertilizante a Campo" "F.
- ✓ Producción Insumos" G.
- ✓ Producción Semillas
- ✓ Producción combustible Transporte a planta

Con esta información se calcula las emisiones totales y por tonelada puesto en planta

## PLANILLAS DE CALCULO DE EMISIONES AGRICOLAS

Las siguientes planillas contienen los cálculos asociados a cada fuente de emisión de la etapa agrícola para los campos con información:

**A.1 Residuos:** Estimación de las emisiones directas e indirectas asociadas al nitrógeno de los residuos agrícolas luego de la cosecha de la planta de maíz entera.

**B.1 Fertilización:** Estimación de las emisiones directas e indirectas asociadas al nitrógeno aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético. Estimación de las emisiones asociadas a la producción de los fertilizantes aplicados.

**B.2 Biofertilización:** Estimación de las emisiones directas e indirectas asociadas al nitrógeno aplicado a los suelos en forma de BioFertilizantes que provienen del biodigestor.

**C.1. Labores:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**C.2. Picado:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**C.3. Aplicación de biofertilizantes:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**D. Transporte de biofertilizantes:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**E. Transporte de silaje:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**F Insumos agropecuarios:** Estimación de las emisiones asociadas a la producción de los agroquímicos aplicados en los campos. Estimación de emisiones por producción de agroquímicos, siguiendo la clasificación por clase OMS.

**G Semillas** Declaraciones de cada uno de los productores sobre el total de semillas empleadas.

**H. Transporte estiércol:** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> por la combustión y producción de gas-oil, nafta y lubricantes.

**H1 Datos estiércol** Información sobre ubicación distancias viajes realizados para el suministro de estiércol

**I. Bioeléctrica:** Datos de consumos y emisiones asociadas a la operación de biodigestor

**J Efluentes** En la planilla de efluentes se estima en base a la información de DQO y los volúmenes de efluentes líquidos que salen del digestor y son almacenados en un receptáculo sin cobertura.

**K Aplicación de biofertilizantes** Datos sobre cantidades distancias y frecuencias de aplicación de efluentes.

## CUADROS CON PARÁMETROS DE CÁLCULO

El calculador se completa con las siguientes tablas que incluyen los parámetros utilizados para las estimaciones realizadas. Las siguientes hojas contienen toda la información parametrizada:

**Cuadro A. PCG:** Se incluyen los potenciales de calentamiento global utilizados. Si bien los cálculos y los resultados se hicieron utilizando los valores de la Directiva Europea para biocombustibles, estos valores pueden ser cambiados según el uso del calculador. Cabe destacar que los valores de PCG de la Directiva son distintos a los utilizados por el país para informar sus emisiones a la CMNUCC.

**Cuadro B. IPCC 11.2:** Se incluyen los parámetros para el cálculo del contenido de nitrógeno de los residuos de cosecha según la metodología del IPCC 2006.

**Cuadro C. Factores N<sub>2</sub>O:** Tabla con los factores de emisión por defecto para las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O provenientes del uso del suelo, según metodología IPCC 2006.

**Cuadro D. FE Combustibles:** Parámetros de los combustibles utilizados para calcular las emisiones por el uso de los mismos incluyendo la energía eléctrica comprada a la red. Las fuentes de información son el Balance Energético Nacional (MinEM), y la Tercera Comunicación Nacional (MAyDS), y el factor de emisión de la red eléctrica (MinEM).

**Cuadro G. Fertilizantes:** Composición y emisiones de GEIs para la producción de los Fertilizantes utilizados en los campos con información. Se incluyen las referencias y las fuentes de información utilizadas para cada uno.

**Cuadro H. Labores:** Consumo específico de la maquinaria agrícola. Se incluyen las referencias y las fuentes de información utilizadas para cada uno.

**Cuadro I. Agroquímicos:** Categorización de los insumos utilizados, incluyendo la densidad para pasar de la unidad de consumo (lts/ha) a kgs para poder estimar las emisiones (Factor de emisión expresado en KgCO<sub>2</sub>/kg Agroquímico). Se incluyen las referencias y las fuentes de información utilizadas para cada uno.

**Cuadro J. Transporte por camión:** Tabla con la información de base para el cálculo de las emisiones ocasionadas por el transporte de materiales por camión

## RESULTADOS PERIODO JUNIO 2015- JULIO 2016:

A continuación se detallan las emisiones estimadas para el periodo de funcionamiento de la planta que abarca las campañas relevadas 2013/14 2015/16 y 2016/17.

### EMISIONES PRODUCCIÓN DE MAÍZ SILAJE DE MAÍZ

Durante el periodo se recibieron en la planta de Bioeléctrica un total de 45.950 Toneladas de silaje de maíz provenientes de un total de 22 lotes diferentes ubicados en cercanías de RíoIV. El proveedor más influyente del periodo considerado fue B4 Morales.

### FLETES DE MAIZ PICADO Y ESTIÉRCOLES

En el caso del transporte del silaje de maíz se empleó la información suministrada por el relevamiento realizado por la empresa ya que no existen cartas de porte asociadas al periodo correspondiente. A partir de esta información y de las distancias declaradas de cada sitio de origen de la materia prima se determinó una distancia recorrida de los campos a bioeléctrica. Esta distancia se duplicó para considerar el viaje de vuelta.

La emisión se estimó en 83.157 kg CO2 equivalente para todo el período considerado.

### RESUMEN CADENA MAÍZ

Al contar con información de varias campañas de producción se realizaron dos estudios uno tomando en cuenta la totalidad de insumos, productos y entregas de energía durante todo el período y otro tomando en cuenta la última campaña informada ya que en la misma se aportaron datos medidos en lugar de calculados en la operación y producción del biodigestor.

Si analizamos las emisiones asociadas a toda la cadena de producción de electricidad de bioeléctrica durante las campañas 13/14 15/16 y 16/17 y lo relacionados con la energía efectivamente despachada entre noviembre del año 2015 y junio del 2017 obtenemos una estimación de la emisión total de 3.323.446 t CO2eq. En el período se despacharon un total de 13.018.152 de kWh (de acuerdo a lo declarado por la empresa) lo cual da como resultado una emisión por unidad funcional de 0,255 kgCO2 equiv/kWh

Concepto	Emisiones Periodo kgsCO2eq	%
Residuos de cosecha	369.855	11,1%
Fertilizantes	1.872.942	56,4%
Biofertilizantes	405.080	12,2%
Labores	79.236	2,4%

<b>Picado</b>	29.778	0,9%
<b>Aplicación Bio</b>	2.967	0,1%
<b>Transporte Bio</b>	15.648	0,5%
<b>Transporte Silaje</b>	83.157	2,5%
<b>Insumos Agro</b>	170.105	5,1%
<b>Semillas</b>	133.308	4,0%
<b>TransporteEstiercol</b>	81.537	2,5%
<b>Combustibles Bioelectrica</b>	79.834	2,4%
<b>Efluentes</b>		0,0%

Tabla 15 Valores establecidos para la totalidad del período declarado por la empresa 2015/16

Del análisis surge claramente que el aspecto a mejorar en el balance es el de los fertilizantes. Los mismos podrían reducirse mediante a una aplicación sitio específica e incorporación de los digestatos de salida del biodigestor. Debe aclararse que en algunas de las campañas analizadas la pérdida del cultivo obligó a una resiembra y re fertilización total de los mismos elevando el uso de insumos por lo tanto se considera que los resultados obtenidos representan una situación desfavorable desde el punto de vista productivo de la materia prima utilizada en la planta de transformación.

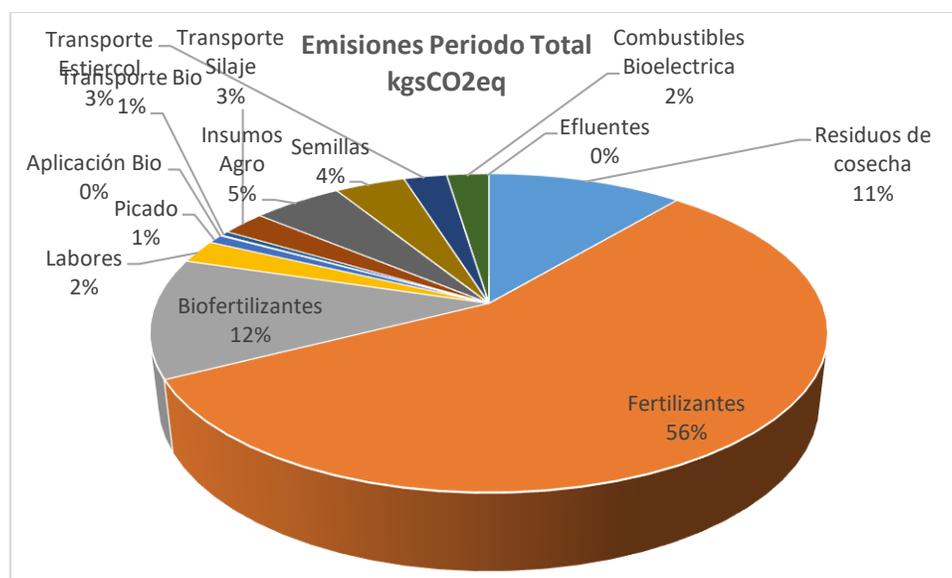


Figura 20 Participación porcentual de las emisiones de la totalidad del período analizado

Si analizamos las emisiones asociadas a toda la cadena de producción de electricidad de bioeléctrica durante el periodo junio 2015 julio 2016, (en este caso se asocia a dicha producción las emisiones procedentes de la

producción y almacenamiento del silaje de maíz empleado en la campaña) obtenemos una estimación de 1.478.019 t CO<sub>2</sub>eq. EL mismo período se despacharon un total de 7.796.252,00 de KWh (se asume que se despachó el 100 % de la resta de la producción total menos los consumos internos de la planta) lo cual da como resultado una emisión por unidad funcional de 0,19 kgCO<sub>2</sub> equiv/KWh

Del total de emisiones el 93 por ciento provienen de la producción del silo de maíz.

Valor	Unidad	Referencia	%
1.379.741	kgCO <sub>2</sub> eq	Silo Maiz	93,4
49.440	kgCO <sub>2</sub> eq	TransporteEfluentes	3,3
48.839	kgCO <sub>2</sub> eq	Bioelectrica	3,3
1.478.019	kgCO <sub>2</sub> eq	Total Sistema	
7.796.252	kwh	Energía despacha a la red	
0,190	KgCO <sub>2</sub> /kwh		

Tabla 16 Resumen de resultados Campaña 2018

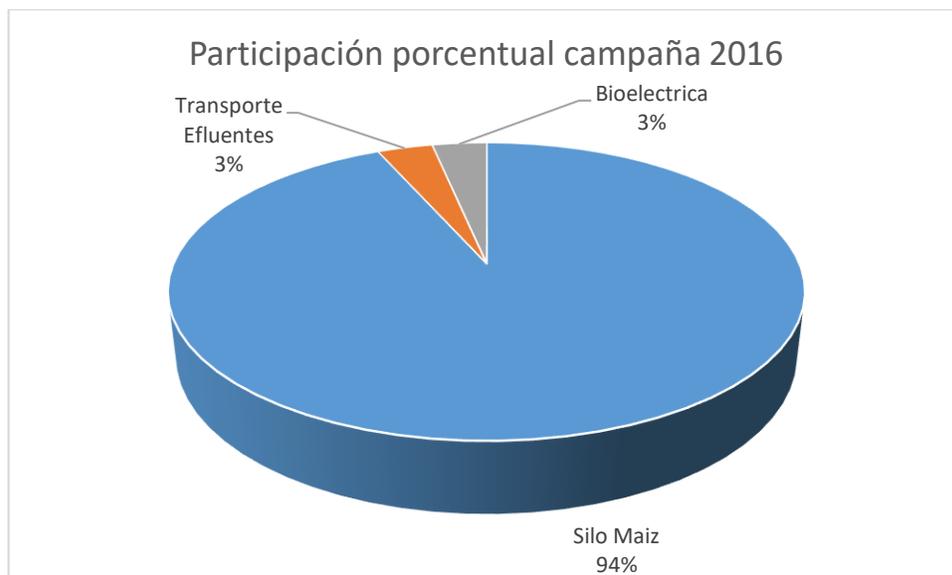


Figura21 Emisiones por actividad

Sobre este período se realizaron una serie de cálculos para estimar el nivel de emisión por unidad de energía producida. Se tomaron como alternativas la alocación por energía eléctrica entregada, por energía térmica de salida, por la sumatoria de ambas y por el equivalente energético del total de biogás generado en el período.

En cuanto a la huella de carbono por unidad de energía se tomaron como referencia los valores que se utilizan para los proyectos MDL y datos del Ministerio de energía y minería nacionales para los dos últimos años como referencia para el cálculo del porcentaje de reducciones logrado.

ANALISIS INTEGRAL DE EMISIONES Y REDUCCIONES		
kWh	13.722.095	TOTAL kWh totales e + t aprovechados
kWh	7.796.252	Kwh electricos vendidos a la red
Nm3	4.085.738,6	Nm3 Producción anual de biogás
kWh	24.514.431,8	Kwh equivalentes de biogás producidos
kWh	5.925.843	Energía termina entregada a BIO4
kgCO2eq/KWh	0,068	kgCO2eq/kwh equivalentes total producido
kgCO2eq/KWh	0,249	kgCO2eq/kwh termica entregada
kgCO2eq/KWh	0,190	kgCO2eq/kwh electricos producidos
kgCO2eq/KWh	0,108	kgCO2eq/kwh totales e + t aprovechados

Tabla 17 Emisiones por proceso productivo

Emisiones Margen Combinado Ex post con 0,5 BM y 0,5 OM (kgCO2eq/kwh)	0,487	Para energía desplazada durante el 2015 - Fuente: MinEM (Para proyectos MDL)	2015
Promedio Red Eléctrica (kgCO2eq/kwh)	0,350	Sin considerar pérdidas de generación. Fuente: MinEM	2015
Promedio Red Eléctrica (kgCO2eq/kwh)	0,342	Según indicadores Inventario GEIs - Fuente: MAyDS	2014

Tabla 18 Valores de referencia de la Argentina

Prom Red 2015	Promrefd2014	EMCexpost	Ahorros de emisiones respecto a la red
83%	82%	88%	Energía total
29%	27%	49%	Energía térmica entregada
46%	44%	61%	Energía eléctrica producida
69%	68%	78%	Energía total aprovechada T + E

Tabla 19 Porcentajes de ahorro de emisiones logrados por la planta

Del total de valores calculado para el período se considera como el más apropiado el que considera el total de energía útil eléctrica y térmica aprovechada por el sistema. Teniendo en cuenta estas referencias el valor de emisión por kwh combinado térmico eléctrico sería de 0,108 kgCO2eq/Kwh y el ahorro de emisiones comparadas ronda entre el 68 y el 78 %. Tomando en cuenta el valor promedio de la red eléctrica del año 2015 y anualizando la diferencia de emisiones la venta de energía eléctrica al sistema interconectado produciría un ahorro de 1.886.692 kgCO2 equivalente. A este ahorro debería sumarse las emisiones evitadas

por el uso del vector térmico en la planta de BioIV. (para ello debería calcularse de acuerdo a la eficiencia de las calderas y al tipo de combustible empleado cual será el monto total de combustible que se evitó quemar en el año). Asumiendo una caldera con Gas Natural con un rendimiento térmico total incluyendo perdidas de generación y transferencia del 50% el ahorro anual proyectado sería de 2.627.475 kgCO<sub>2</sub> equivalente Esto daría un total del. 4.513.545 kgCO<sub>2</sub> equivalente al año

**Tabla 20** Calculo de las emisiones anualizadas tomando en cuenta los posibles usos de la energía

Energía despachada a la red (kwh)	7.796.252	Información Bioeléctrica 2016
Energía vendida a BIO IV (kwh)	5.925.843	Información Bioeléctrica 2016
<b>Energía total aprovechada (kwh)</b>	<b>13.722.095</b>	
Emissiones promedio (kgCO <sub>2</sub> eq/kwh)	0,108	Considerando la energía util entregada a BIOIV y Red Eléctrica
Promedio Red Electrica (kgCO <sub>2</sub> eq/kwh)	0,350	Sin considerar perdidas de generacion. Fuente: MinEM. Ultimo valor disponible
Ahorro Emisiones Red Eléctrica (% FE)	69%	Calculado sobre año 2015 sin considerar perdidas de transporte.
Ahorro Emisiones Red Eléctrica (kgCO <sub>2</sub> eq)	1.886.071	Calculado sobre la energía entregada a la Red en todo el período
Promedio Generacion Calor (kgCO <sub>2</sub> eq/kwh)	0,404	Se asume una caldera con Gas Natural. Rendimiento termico total incluyendo perdidas de generacion y transferencia=50%
Ahorro Emisiones Generacion de Calor (% FE)	73%	
Ahorro Emisiones Generacion de Calor (kgCO <sub>2</sub> eq)	1.757.533	Calculado sobre la energía térmica entregada a BIOIV
<b>Ahorro total Emisiones (kgCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>3.643.603</b>	
Biogás Generado (Nm3)	4.085.739	Información Bioeléctrica 2016
PCI Biogás (Kwh/Nm3)	5,30	Información Bioeléctrica 2016
<b>Energía contenida en el Biogás (kwh)</b>	<b>21.654.415</b>	
Emissiones promedio (kgCO <sub>2</sub> eq/kwh)	0,068	Considerando toda la energía contenida en el biogás
Factor de emisión Gas Natural (kgsCO <sub>2</sub> eq/kwh)	0,202	MinEM - Datos utilizando para inventario de GEIs
<b>Ahorro total Emisiones (kgCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>2.899.407</b>	<b>Es menor dado que la generación convencional no contempla el calor de proceso</b>

## MODELIZACIÓN EN SIMAPRO:

El Software SimaPro LCA adquirido bajo licencia por el INTA ayuda a convertir resultados de los análisis de ciclo de vida completos de productos en el valor del negocio: para potenciar la toma de decisiones y cambiar los ciclos de vida de sus productos 'para mejor, y mejorar el impacto positivo de la empresa.

SimaPro es la herramienta profesional que se necesita para reunir, analizar y supervisar los datos de rendimiento de la sostenibilidad de los productos y servicios de la empresa. El software puede ser utilizado para la evaluación del ciclo de vida y una variedad de otras aplicaciones, como los informes de sostenibilidad, el carbono y la huella de agua, diseño de productos, la generación de declaraciones ambientales de producto y la determinación de los indicadores clave de rendimiento. El programa fue desarrollado para abarcar una multiplicidad de impactos ambientales en forma específica y constituye el paquete de software LCA más importantes del mundo durante los últimos 25 años.

Los resultados obtenidos usando esta herramienta permiten hacer elecciones conscientes, hacer cálculos avanzados y evitar suposiciones ocultas. Es una herramienta basada en la ciencia económica que ofrece soluciones para cualquier usuario. La aplicación de esta herramienta para los nuevos estudios de BIOELECTRICA nos condujo al desarrollo de diferentes modelos, así como ajuste de variables específicas.

Si bien la herramienta es muy poderosa presenta como desventaja que sus bases de datos han sido desarrolladas para el contexto europeo con énfasis en Suiza. Esto requiere una continua revisión y chequeo del procesamiento seguido en cada punto del inventario para asegurar que el resultado obtenido se aproxime a la realidad argentina.

A fin de realizar un perfil ambiental de la producción de la electricidad y calor de BIOELECTRICA, en una primera etapa se consolidó un inventario de ciclo de vida (ICV) de la producción de silo de maíz, como insumo principal del proceso por el que se obtiene Biogas junto a energía eléctrica y térmica.

A lo largo de la última década, el enfoque de ciclo de vida se ha consolidado como una herramienta completa y poderosa para cuantificar y evaluar cargas ambientales potenciales de la actividad agroindustrial (Martínez Blanco et al., 2013). Sin embargo, el ACV puede verse afectado por la falta de representatividad de los inventarios, especialmente en el sector agrícola. La utilización de datos generales para un caso de estudio particular es una práctica común en los ACV debido a la falta de datos específicos del sitio, pero esto puede inducir desvíos en los resultados de los impactos ambientales producidos (Boone et al., 2016).

En este contexto, cabe destacar la importancia de la territorialidad de los sistemas agrícolas en cuanto a la variabilidad de los datos, ya que los mismos pueden ser influenciados por el clima, tipo de suelo, manejo etc. Este concepto constituye un factor clave a tener en cuenta cuando se realizan los inventarios para este tipo de estudios. Vincular metodología de ACV con herramientas de sistema de información geográfico (SIG) facilitó la especialización de los datos de entrada del inventario (Xue, X. et al. 2012).

Entre los objetivos particulares y alcances de la realización de este inventario y su correspondiente perfil ambiental, se destacaron:

- Desarrollar el ACV del cultivo de silaje de maíz desde la cuna al portal;
- Establecer un abordaje sistemático de calidad y representatividad geográfica de la información modelada;
- Definir y registrar consideraciones relevantes para el modelado del ICV del proceso de producción de silaje de maíz

Basada en un modelo desarrollado por el grupo de trabajo Figura 36 se generó una planilla de interfaz de datos. La información procesada permitió modelar el ciclo de vida de la producción de 1 Kg de silaje de maíz. Finalmente, el ICV consolidado se modelará en SimaPro 8.3, utilizando como base de datos secundarios Ecoinvent 3.0, con algunas adaptaciones y se calculó el perfil ambiental a partir de la aplicación del método de evaluación de impactos (EICV) Recipemidpoint (H).



**Figura 22 Modelo producción silaje de maíz desarrollado para su ingreso en el SIMAPRO adaptado de Boone et al.**

La aplicación de nitrógeno fue dividida entre los diferentes tipos de producto, de acuerdo a la información relevada por BIOELECTRICA para la presente campaña asumiendo una distribución porcentual uniforme en toda la superficie afectada al cultivo.

Se procedió a construir un modelo representativo para las etapas de alimentación y transformación anaeróbica del material de carga, así como el destino final de los diferentes productos manera de integrarlos.

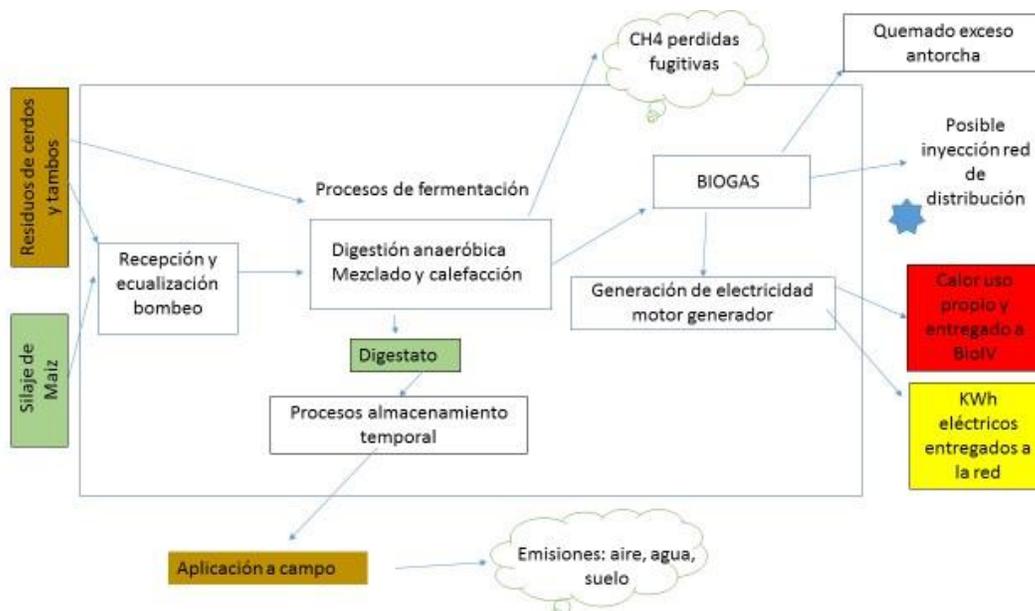


Figura 23 Modelo industrial desarrollado para su ingreso en el SIMAPRO adaptado de Boone et al

### BALANCE ENERGÉTICO:

El balance energético se construyó por etapas convirtiendo el empleo de insumos en su equivalente energético de acuerdo a bases de datos y modelos reconocidos a nivel mundial. La etapa agrícola tuvo en cuenta el consumo directo de combustibles y lubricantes, así como los demás insumos con su correspondiente equivalencia energética para producirlos. Se exponen en este caso los resultados obtenidos para el ejercicio 2016

Tabla 21 Calculo de la Energía invertida en la etapa agrícola de producción de maíz

<b>Etapa Agrícola - Producción (tMV):</b>		<b>19.398</b>	<b>Total (Gj)</b>	<b>6.503</b>
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad (Lts o Kgs)</b>	<b>Contenido Energetico (Kcal/Lt o kg) - Mj/kg</b>		<b>Energia Gj</b>
Consumo Gasoil (Laboreos)	10.176	8.619		367
Comnsumo Lubricantes (Laboreos)	1.221	8.503		43
Consumo Gasoil (Bateas)	4.274	8.619		154
Consumo Gasoil (Aplicación Bio)	381	8.619		14
Comnsumo Lubricantes (Aplicación Bio)	46	8.503		2
Consumo Gasoil (Transporte Bio)	2.246	8.619		81
Produccion de combustibles (Laboreos) (Energia Fossil Produccion)	-			64
Produccion de semilla	29.159	-		-
N aplicado (Kg N) (Energia Fossil Produccion)	61.951	49		3.035
P2O5 aplicado (Kg P2O5) (Energia Fossil Produccion)	8.322	15		127
K2O aplicado (Kg K2O) (Energia Fossil Produccion)	-	10		-
K2O aplicado (Kg CaO) (Energia Fossil Produccion)	-	2		-
S aplicado (Kg S) (Energia Fossil Produccion)	3.133			-
N Bio aplicado (Kg N) (No utiliza Energia Fossil)	25.799	-		-
P2O5 Bio aplicado (Kg P2O5) (No utiliza Energia Fossil)	298	-		-
K2O Bio aplicado (Kg K2O) (No utiliza Energia Fossil)	2.619	-		-
S Bio aplicado (Kg CaO) (No utiliza Energia Fossil)	4.829	-		-
S Bio aplicado (Kg S) (No utiliza Energia Fossil)	-	-		-
Agroquimicos (todos) (Energia Fossil Produccion)	9.748	268		2.616

La etapa de fletes consideró sobre la base de las declaraciones de transportes y kilómetros recorridos la inversión total realizada para proveer a la empresa.

**Tabla 22 Calculo de la inversión energética en transporte**

<b>Transporte Silaje de Maíz + Efluentes de alimentación</b>		<b>Total (Gj)</b>	<b>1.137</b>
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad (Lts o Kgs)</b>	<b>Contenido Energetico (Kcal/Lt o kg) - Mj/kg</b>	
			<b>Energia (Gj)</b>
Consumo Gasoil (Transporte a planta de silo picado)	11.935	8.619	431
Produccion de combustibles (Transporte a planta) (Energia Fossil Produccion)			42
Consumo Gasoil (Transpote establecimientos agropecuarios a Bioelectrica)	16.808	8.619	607
Produccion de combustibles (Transpote establecimientos agropecuarios a Bioelectrica)			58

La etapa industrial se calculó de acuerdo con la información suministrada por la empresa entre las diferentes etapas y la energía eléctrica. De acuerdo a los datos de referencia se convirtieron los consumos energéticos en su equivalencia ente los diferentes combustibles empleados.

**Tabla 23 Analisis de la etapa de procesamiento y producción de biogas.**

<b>Planta BIOELECTRICA</b>		<b>Total (Gj)</b>	<b>658</b>
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad (Lts o Kgs)</b>	<b>Contenido</b>	
		<b>Energetico (Kcal/Lt o kg) - Mj/kg</b>	<b>Energia (Gj)</b>
Consumo Gasoil	13.745	8.619	496
Consumo Lubricantes	2.920	8.503	104
Produccion de combustibles (Energia Fosil Produccion)			58

Con la totalidad de la información se construyó una tabla resumen donde se incluyeron los consumos totales invertidos en energía en cada una de las etapas.

**Tabla 24 Tabla integradora de consumos energéticos**

<b>Resumen</b>	<b>Energia (Gj)</b>	<b>%</b>
Etapa Agrícola	6.503	78%
Transporte Silaje de Maíz + Efluentes de alimentación	1.137	14%
Planta Bioeléctrica	658	8%
<b>Total</b>	<b>8.298</b>	

<sup>(1)</sup> Incluye Transporte de insumos a la planta

<sup>(2)</sup> Incluye Transporte de descartes

Del análisis participativo surge una muy importante participación de los fertilizantes nitrogenados, un adecuado manejo de los biofertilizantes podría reducir significativamente estos consumos mejorando el EROI global de la planta en el futuro.

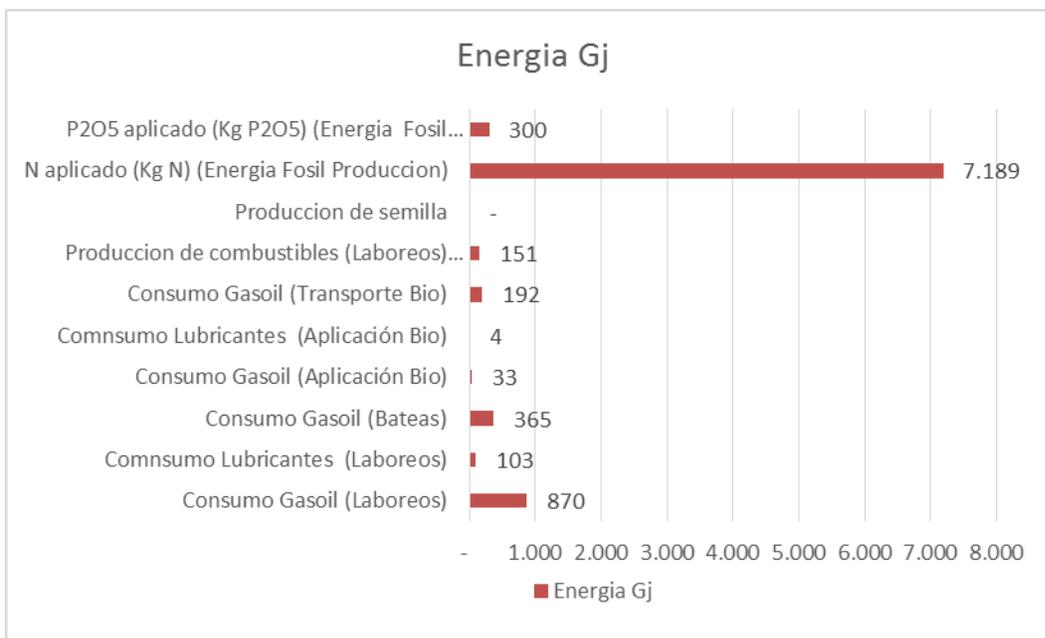


Figura 24 Participación energética de cada uno de los componentes analizados.

Finalmente se asignó la energía de acuerdo a los procesos involucrados en cada uno de los productos separando los exclusivos y distribuyendo los comunes en cada una de las etapas involucradas

Tabla 25 Resultados del balance energético

Energía eléctrica vendida a la red (Gj)	<b>28.067</b>
Energía térmica vendida a BioIV (Gj)	<b>21.333</b>
<b>Total energía "vendida" (Gj)</b>	<b>49.400</b>
<b>Tasa de retorno energético (EROEI)</b>	<b>5,95</b>

Si solo se tuviera en cuenta la proporción de energía eléctrica sin aprovechamiento térmico los resultados empeorarían

**Si se toma solamente la energía eléctrica y todos los consumos la Tasa de retorno energético (EROEI) sería **3,38****

Se debe tener en cuenta que la planta bajo análisis puede incrementar el uso de energía térmica producida esto se desprende del potencial total energético del biogás generado. También es necesario aclarar que el uso térmico es fundamental en este tipo de plantas para llegar a números competitivos tanto en el nivel de reducción de emisiones como del retorno energético.

Si se considera el potencial anual de reducción de emisiones de anualizado teniendo en cuenta el PCI del biogás declarado por bioeléctrica se llega a un valor 2.899.407 kg de CO2 equivalente, este valor es menor al que la que se obtiene por la venta de la planta esto se debe a que el sistema de energía eléctrico en la argentina no utilizan la energía térmica

## CALCULO DE HUELLA HIDRICA

Las huella verde azul y gris de los cultivos se estimaron siguiendo el marco referencial de Hoekstra et al. (2009). Los cálculos de evapotranspiración y rendimientos requeridos para las estimaciones de la huella verde y azul se realizaron tomando en cuenta los supuestos y metodologías propuestos por Allen et al. (1998) para las condiciones de crecimiento de cultivo subóptimas. La grilla de base dinámica de requerimientos de agua toma en cuenta el balance dinámico de los suelos y calcula los requerimientos del cultivo (verde y azul) en función de los rendimientos. El modelo empleado tiene una resolución global de 5 minutos de arco (Mekonnen and Hoekstra, 2010).

La evapotranspiración real en mm/día depende de los parámetros climáticos de las características de los suelos y de la disponibilidad de agua. En esta primera modelización se tomó valores uniformes globales para la provincia de Córdoba. Teniendo en cuenta que la producción es de secano sin riego artificial se consideró casi nula la contribución del agua azul y el consumo total del agua verde se obtuvo sumando los requerimientos de evapotranspiración diarios del cultivo-

Los valores mensuales de precipitación y número de días con lluvia se tomaros de referencias estadísticas para el período 1996-2002 con una resolución espacial de 30 por 30 minutos de arco. CRU-TS-2.1 (Mitchell and Jones, 2005). Los valores promedio de fertilización nitrogenada se tomaron de Heffer (2009), FAO asumiendo una distribución espacial homogénea. Con una pérdida promedio del 10 %. Chapagain etal. (2006).

El promedio siguiendo esta metodología de huella de cultivo forrajeros para la provincia de Córdoba fue de 207 27 y 20 m3/tonelada para las huellas verde azul y gris respectivamente. Estos valores se correlacionaron con el total de energía entregada por el sistema. En la etapa de biodigestión no se consideró agua agregada ya que la misma proviene de los residuos animales que ingresan y se mezclan con el silaje de maíz

HUELLA HIDRICA CULTIVOS FORRAJEROS	
Huella verde	207
Huella azul	27
Huella gris	20
Huella total	254
<b>Biomasa utilizada</b>	
	10167,8
<b>Totalm3 de agua</b>	2582621,2

Tabla 26 Valores de referencia empleados en el cálculo general

Al igual que en el caso de la huella de carbono se realizaron cálculos en función de los diferentes tipos de energía producidos y entregados por la planta.

ANALISIS INTEGRAL DE HUELLA HIDRIVA		
kWh	13.722.095	TOTAL kWh totales e + t aprovechados
kWh	7.796.252	Kwh electricos vendidos a la red
Nm3	4085738,6	Nm3 Produccion anual de biogas
kWh	24.514.431,8	Kwh equivalentes producidos
kWh	5.925.843	Energía termina entregada a BIO4
kgCO2eq/KWh	0,105	m3 agua/kwh equivalentes total producidos
kgCO2eq/KWh	0,436	m3 agua/kwh termica entregada
kgCO2eq/KWh	0,331	m3 agua/kwh electricos producidos
kgCO2eq/KWh	0,188	m3 agua/kwh totales e + t aprovechados

Tabla 27 Resultados obtenidos por unidad de energía

## DISCUSIÓN:

La metodología general aplicada es la de un enfoque metodológico del ACV, no puede ser catalogada como atribucional o consecuencial. El estudio en su conjunto posee una perspectiva “multi-metodológica” que integra varias herramientas para hacer un análisis ambiental con enfoque producto (huellas carbono, agua y EROI). Se han identificado los diferentes procesos realizando una asignación de acuerdo a energía equivalente térmica y eléctrica. Uno de los factores variables claves está dado por la producción primaria donde la tecnología de cultivo y rindes tienen un impacto significativo en los resultados finales.

Deberá mejorarse en estudios futuros la información del sector primario buscando lograr una trazabilidad de información que permita tener caracterizada la producción de maíz para silaje.

Un enfoque alternativo puede realizarse aplicando el método de análisis de ciclo de vida consecuencial o de consecuencia que toma en cuenta todos los efectos directos e indirectos de la transformación y generación de los efluentes. Incorporando en los límites del sistema analizado las consecuencias de la utilización de los mismos en el mercado de fertilizantes. Para ello se basan en modelos econométricos a escala nacional y global. Este enfoque ha sido tomado por la EPA (2010) para fundamentar el desarrollo de los estándares de regulación de los biocombustibles de los Estados Unidos (RFS2). Para ello se emplearon los modelos FASOM para modelizar el mercado interno y el FAPRI para el global.

El método por desplazamiento toma en consideración el producto que ha sido substituido por el nuevo producto generado en la planta de transformación. Se calculan luego las emisiones evitadas al no producirse el producto que ha sido reemplazado, entrando como “crédito” en el balance de emisiones /cargas ambientales. En la Argentina las estadísticas del mercado de los fertilizantes permitiría modelar con cierto nivel de confianza los tipos de fertilizantes y volúmenes que han sido desplazados.

Con respecto a efectos diferenciales sobre los cultivos, las incertidumbres se magnifican en los casos de aplicación a campo ya que especialmente en las enmiendas orgánicas, las técnicas de incorporación de las mismas pueden hacer variar significativamente el aprovechamiento de los nutrientes incorporados al suelo.

Se plantea para la próxima campaña el ajuste de los modelos e inventarios introducidos en el programa SIMAPRO de manera de obtener una salida de resultados y una categorización de impactos que representen a la realidad de la empresa y sus productos en el contexto productivo evaluado.

El ajuste de estos modelos para la huella de carbono en primer lugar permitirá avanzar en otro tipo de determinaciones en huella hídrica de los diferentes productos.

## CONSIDERACIONES FINALES

- **La consolidación de los inventarios y modelos empleados en el programa SIMAPRO permitirá en el próximo ejercicio obtener un informe pormenorizado por categoría de impacto en cada uno de los productos producidos.**
- **Con la consolidación de la metodología y criterios empleados se podría avanzar en el desarrollo de reglas de categorías de producto y declaraciones ambientales de producto de manera de fijar los criterios a nivel internacional mediante el sistema PCR y EPD basados en la ISO 14025.**
- **Se plantea la continuación de los estudios a fin de ajustar la información de origen de materia prima avanzando sobre la trazabilidad del silo de maíz a campo y mediante diferentes medios integrando la misma en sistemas de información geográfica.**
- **Se debería evaluar diferentes formas de utilización del digestato y la reducción de fertilizantes químicos en el proceso de producción del maíz para silo.**
- **Se plantea la realización a análisis de sensibilidad al rendimiento en la provincia de Córdoba evaluando su impacto en los resultados finales obtenidos.**
- **Se plantea mejorar la trazabilidad de la información de base sobre la producción y conformación de los silos, así como incorporar posibles pérdidas de materia orgánica durante el período de almacenamiento**
- **Se plantea evaluar perdidas de metano del sistema de producción y almacenamiento temporario de efluentes.**
- **Incorporar una mayor cantidad de indicadores de impacto ambiental de la producción sobre agua aire y suelo.**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el compromiso y el trabajo realizado por todos los equipos gerenciales de la empresa sin cuyo aporte hubiese sido imposible arribar a un estudio de la profundidad y calidad logrado.

Agradecemos los aportes de un equipo multidisciplinario que involucro a técnicos de diferentes Institutos del INTA, consultores externos Sebastian Galbusera y Leila Schein de la Universidad de Lujan.

## BIBLIOGRAFÍA

A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (revised) Report I: Characterisation. Goedkoop, m.; Heijungs, r.; Huijbregts, m.; Schryver, a.; Struijs, j.; Zelm, r. 2013. ReCiPe 2008.

Agostini A, Battini F, Jacopo Giuntoli J, Tabaglio V, Padella M, Baxter D *et al.*, Environmentally sustainable biogás? The key role of manure co-digestion with energy crops. *Energies* **8**:523–5265 (2015).

AIPE, (1998) *EPS Ilpolistirene e l'impatto ambientale*, Ed. BE-MA, Milán, mayo

Arena, A.P. (1998) The allocation problem in Life cycle Assessment. Presentado en la "School of Environmental Science and Technology"(EdEA), Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires (Argentina), del 24 al 28 de agosto.

Bacenetti J and Fiala M, Carbon footprint of electricity from anaerobic digestion plants in Italy. *Environ Eng Manag J* **14**:1495–1502 (2015).

Bacenetti J, Sala C, Fusi A and Fiala M, Agricultural anaerobic digestion plants: What LCA studies pointed out and what can be done to make them more environmentally sustainable. *Appl Energy* **179**:669–686(2016).

Bare, J., Pennington, D., Udo de Haes, H. (1999). *Life Cycle Impact Assessment Sophistication*. International Workshop. Int. Journal of LCA, Vol 4, N° 5, pag. 299-306.

Bengtsson, G. (1995). *Working environment in LCA*. 2nd SETAC World Congress, Vancouver, November 5-9 1995. Molndal: IVF Swedish Institute of Production Engineering Research.

Bengtsson, G., Berglund, R. (1996). *Life Cycle Assessments including the Working environment. Summary of methods and case studies*. Molndal: IVF Swedish Institute of Production Engineering Research. (IVF Research Publication N° 95859). Boustead, J., Hancock, (1979). *Handbook of industrial analysis*.

Börjesson P, Prade T, Lantz M and Björnsson L, Energy crop based biogas as vehicle fuel—the impact of crop selection on energy efficiency and greenhouse gas performance. *Energies* **8**:6033–6058 (2015).

Chapman and Hall. Heijungs R., Guinée J.B., Huppes, G., Lankreijer R.M., Udo de Haes, H., Sleswijk A.; Ansems, A., Eggels, P., van Duin R., de Goede, H. (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of products. I. Guide. II. Backgrounds*. Leiden, CML.

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. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:es:PDF>

Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC), Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y Agencia Internacional de la Energía (AIE), 1997. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>

Dressler D, Loewen A and Nelles M, Life cycle assessment of the supply and use of bioenergy: impact of regional factors on biogas production. *Int J Life Cycle Assess* **17**:1104–1115 (2012).

European Union, Directive 2009/28/EC of European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion and the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Sustainability Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. European Union: Brussels, Belgium (2009).

Fabbri C, Garuti M, Soldano M and Piccinini S, Biogas, l'analisi del digestato svela l'efficienza dell'impianto. *L'Informatore Agrario* **4**:37–40 (2016).

Finnveden, G. (1996). *Part III: Resources and related impact categories*. In: Udo de Haes (ed). *Towards a methodology for life cycle impact assessment*. SETAC-Europe.Brussels.

Finnveden, G., Andersson-Skold, Y., Samuelsson, M-O, Zetterberg, L., Lindfors L-G (1992). *Classification (impact analysis) in connection with life cycle assessments – preliminary study*. In Product life cycle assessment – principles and methodology. Nord1992:9. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Fullana, P., Puig, R. (1997). *Análisis del ciclo de vida*. Rubes editorial, S.L. España.

Fundamentos de la Huella Hídrica en el sector agrícola en un contexto de Cambio Climático. EUROCLIMA – IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2016.

Fusi A, Bacenetti J, Fiala M and Azapagic A, Life cycle environmental impacts of electricity from biogas produced by anaerobic digestion. *Front Bioeng Biotechnol* DOI: 10.3389/fbioe.2016.00026 (2016)

Goedkoop, M. (1995). *Eco-Indicator 95, weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, Final report*. RIVM.

Guidelines on apportioning emissions from production processes between main product and co- and by-products (Version 01) - UNFCCC - EB 50 - CDM - Executive Board. [http://cdm.unfccc.int/EB/050/eb50\\_repan12.pdf](http://cdm.unfccc.int/EB/050/eb50_repan12.pdf)

Hauschild M., Wenzel, H. (1997). *Global warming as assessment criteria in the EDIPmethod*. In Hauschild M., Wenzel, H. (eds). *Environmental assessment of products*. Vol II: Scientific background. London:

Hertwich, E., Pease, W., Koshland, C. (1997). *Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods*. The science of the Total environment, Vol 196, (1997), pp. 13-29. Elsevier.

Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., & Effenberger, M. (2016). Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**, 1291-1300.

HuellaHídrica: Water Footprint Network. On line: [www.uvic.cat](http://www.uvic.cat). Jorda, J. 2015.

Huttunen, S., Manninen, K., & Leskinen, P. (2014). Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. *Journal of cleaner production*, **80**, 5-16.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. [Online]. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan (2006). Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> [January 5, 2017].

International Organization for Standardization, ISO 14040:Environmental Management – Life Cycle Assessment –Principles and Framework. ISO, Geneva, Switzerland (2006).12. International Organization for Standardization, ISO 14044:Environmental Management – Life Cycle Assessment –Requirements and Guidelines. ISO, Geneva, Switzerland (2006).

ISCC 205 GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit <http://www.iscc-system.org/uploads/media/ISCC205GHGEmissionCalculationMethodologyandGHGAudit.pdf>

Ishikawa, S., Hoshiya, S., Hinata, T., Hishinuma, T., & Morita, S. (2006, July). Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA). In *International Congress Series* (Vol. 1293, pp. 230-233). Elsevier.

ISO (1997) - *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework* - EN ISO 14040.

Jensen, A., Elkington, J., Christiansen, K., Hoffmann, L., Moller, B., Schmidt, A., van Dijk, F. (1997). *Life cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources. Final Report*. Report to the European Environment Agency, Copenhagen. Dk-TEKNIK Energy & Environment.

Krewitt, W., Mayerhofer, P., Trukenmüller, A., Friedrich, R. (1998). *Application fo the impact pathway analysis in the context of LCA. The long way from burden to impact*. Int. J.of LCA, Vol, 3, N° 2 (1998). Pp. 86-94. Ecomed publishers, Germany.

Maillard E and Angers DA, Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology* **20**:666–679 (2014).

Mantovi P, Baldoni G and Toderi G, Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Res* **39**:289–296 (2005).

Marvuglia, A., Benetto, E., Rege, S., & Jury, C. (2013). Modelling approaches for consequential life-cycle assessment (C-LCA) of bioenergy: critical review and proposed framework for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 768-781

Moeller K and Mueller T, Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng Life Sci* **12**:242–257 (2012).

Odum, Howard (1980). *Ambiente, energía y sociedad*. Editorial Blume, Barcelona 1980.

Powell, J., Pearce, D., Craighill, A. (1997). *Approaches to valuation in LCA impact assessment*. Int. J. LCA, Vol 2., N. 1 (11-15 )

Riva C, Orzi V, Carozzi M, Acutis M, Boccasile G, Lonati S *et al.*, Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Sci Total Environ* **547**:206–214 (2016).

Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible – Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación – 2010.

[http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Indicadores/file/publicaciones/2010\\_indicadores.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Indicadores/file/publicaciones/2010_indicadores.pdf)

Szerencsits, M., Weinberger, C., Kuderna, M., Feichtinger, F., Erhart, E., & Maier, S. (2016). Biogas from Cover Crops and Field Residues: Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 9(4), 413-416

Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático – Año 2015- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. <http://ambiente.gob.ar/tercera-comunicacion-nacional/>

Water footprints of nations. Chapagain, a. K.; Hoekstra, a. Y. 2004. Volume 1: MainReport. ResearchReport Series No. 16.

Weidema B (1999), System expansions to handle co-products of renewable materials. Pp 45-48 in Presentation Summaries of the 7th LCA Case Studies Symposium SETACEurope, 1999

Weidema B (2003), Market information in life cycle assessment. Environmental Project No. 863 2003. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema B P, A M Nielsen, K Christiansen, G Norris, P Notten, S Suh and J Madsen (2005a), Prioritisation within the Integrated Product Policy. Environmental Project No. 980 2005, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema B, Hauschild M and Jolliet O (2007), Stepwise 2006 – a new environmental impact assessment method. *International Journal of Life Cycle Assessment* (In prep.). Ecomed Publishers, Landsberg

Weidema B, N Frees, E H Petersen and H Ølgaard (2003), Reducing Uncertainty in LCI Developing a Data Collection Strategy. Environmental Project No. 862 2003. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema, B., Mortensen, B., Nielsen, P. (1996). *Characterization of resource depletion*. Section 3 en Elements of an impact assessment of wheat production. Lyngby: Institute for product development.

Wellinger A, Murphy J and Baxter D, *The Biogas Handbook. Science, Production and Application*. Woodhead Publishing, Oxford, UK (2013).

Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L.(1997). Environmental assessment of products. Vol 1: Methodology, tools, techniques and case studies in product development. Chapman & Hall. London.

Workshop on Land Use Impacts in Life Cycle Assessment (LCA). *International Journal of LCA* 11 (5) 363 – 368 (2006)