

LIBRO DE ACTAS

VIII ENCUENTRO ARGENTINO DE CICLO DE VIDA Y  
VII ENCUENTRO ARGENTINO DE HUELLA HÍDRICA  
ENARCIV 2019

**COMPILADORES:**

*Roxana Piastrellini*

*Germán Rodolfo Henderson*



**LIBRO DE ACTAS DEL  
VIII ENCUENTRO ARGENTINO DE CICLO DE VIDA Y  
VII ENCUENTRO ARGENTINO DE HUELLA HÍDRICA  
ENARCIV 2019**

**COMPILADORES**

*Roxana Piastrellini*

*Germán Rodolfo Henderson*





Avances en Análisis de Ciclo de Vida y Huellas Ambientales en Argentina:

Actas ENARCIV 2019 / Clarisa Alejandrino ... [et al.]; compilado por Germán Rodolfo Henderson ; Roxana Piastrellini ; editado por Roxana Piastrellini ; Alejandro Pablo Arena ; Bárbara María Civit. - 2a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-48-4

1. Impacto Ambiental. 2. Argentina. I. Alejandrino, Clarisa. II. Henderson, Germán Rodolfo, comp. III. Piastrellini, Roxana, comp. IV. Arena, Alejandro Pablo, ed. V. Civit, Bárbara María, ed. CDD 577.0982

**Fotografías de portada: Germán Rodolfo Henderson**

**Responsabilidades: El contenido y opiniones vertidas en los trabajos incluidos en este libro son responsabilidad de sus respectivos autores.**



## AUTORIDADES DE INSTITUCIONES ORGANIZADORAS

**Ing. Esp. José Balacco**

Decano Facultad Regional Mendoza - Universidad Tecnológica Nacional

**Dr. Ing. Alejandro Pablo Arena**

Director Grupo CLIOPE - Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable

## COMITÉ ORGANIZADOR

**Dr. Ing. Alejandro Pablo Arena**

**Dra. Ing. Bárbara Civit**

**Ing. Paula Daniela Rodríguez**

**Dra. Ing. Roxana Piastrellini**

**Mg. Ing. Silvia Curadelli**

**Ing. Fernando Arce Bastias**

## CEREMONIAL Y PROTOCOLO

**Tec. Sup. Silvana Scarpeta**



## **COMITÉ EVALUADOR**

**Alejandro Pablo Arena**

**Bárbara Civit**

**Emiliano Jozami**

**Fernando Mele**

**Jorge Hilbert**

**Leila Schein**

**Patricia Garolera**

**Paula Araujo**

**Paula Daniela Rodríguez**

**Rodolfo Bongiovanni**

**Roxana Piastrellini**

**Silvia Curadelli**

**Susana Feldman**

**Verónica Charlón**

## CONTENIDO

PRÓLOGO	8
OBJETIVOS DE ENARCIV 2019	9
TRABAJOS COMPLETOS	10
Estudio de la Sinergia Entre Plantas de Bioetanol y Biogás Integradas	11
Perfil Ambiental de la Producción de Bioetanol a Partir de Maíz en una Biorrefinería de la Provincia de Córdoba	15
Estudio Ambiental del Bioetanol de Sorgo Azucarado en Tucumán (Argentina)	19
ACV de la Utilización de Hidrógeno Renovable en Buses con Celdas de Hidrógeno en la Ciudad de Rosario, Argentina	26
Evaluación Ambiental Preliminar de la Agroindustria del Limón con Generación de Biogás	43
Huella Hídrica de Cítricos. Impacto Sobre la Disponibilidad de Agua en la Etapa de Producción Primaria de Naranjas ( <i>Citrus Sinensis</i> ) en la Provincia de Entre Ríos, Argentina	52
¿Puede la Huella de Agua Ser Una Herramienta de Planificación y Zonificación Agrícola en Tierras Secas? El Caso de la Viticultura en Argentina	62
Comparación de Tres Sistemas Productivos de Zapallo a Través del Análisis de Ciclo de Vida en el Valle del Río Colorado	74
Propuesta de Análisis de Ciclo de Vida Para Jamón Crudo	80
Análisis de Ciclo de Vida en la Producción Primaria Porcina. Práctica Aplicada en Curso de Capacitación	86
Huella de Carbono de Placas de Cáscaras de Maní y su Comparación con Placas Industrializadas MDF de los Estados Unidos	91
Análisis de Ciclo de Vida de Organizaciones (ACV-O): Aplicación a Reciclaje de Plásticos	102
Huella de Agua de Escasez en Propuesta de Mejora de Uso y Consumo de Agua en Urbanizaciones de Baja Densidad Edilicia	112
Evaluación del Impacto de Parámetros Claves en el Modelado Ambiental con Análisis de Ciclo de Vida de un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos	119
Análisis de Ciclo de Vida: Experiencia Educativa en la Universidad Nacional de Luján	127
Plataforma “Huellas Ambientales” del INTA	131
RESÚMENES	143
Inventarios de Ciclo de Vida de la Energía Eléctrica de un País. El Caso de Argentina	144
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a la Producción de Electricidad a Partir de <i>Spartina Argentinensis</i>	145
LCA de la producción de etanol y metano en una biorrefinería de limón	146
Huella de agua de la industria del limón en la provincia de Tucumán	147
Estimación de la Huella Hídrica de la Producción de Leche y Queso en un Tambo-Fábrica de Tandil	148
Uso del Agua en Sistemas de Producción de Leche de Argentina y Uruguay	149

Valorización Ambiental de Distintos Compost Obtenidos a Partir de Residuos de la Producción Porcina	150
Uso de los límites planetarios para el diseño de cadenas de suministro sustentables basadas en biomasa	151
Análisis Ciclo de Vida de un Revoque Fino Pre-Elaborado a Base de Arcilla de la Marca	152
Evaluando el Segundo Uso. Análisis de Ciclo de Vida de Dos Baldes Plásticos de Pintura	153
Análisis Ambiental y Social de Ciclo de Vida de la Producción de Ladrillos Artesanales en Mendoza, Argentina	154
Análisis de Ciclo de Vida de un Módulo Habitacional de Emergencia. Resultados Preliminares	155
Desempeño Ambiental de Viviendas Sociales en la Provincia de Mendoza (Programa AR-G1002)	156
La Huella Hídrica del Proceso de Obtención de Agua Embotellada: Hacia un Uso Eficiente del Recurso	157
Análisis de Ciclo de Vida de un Caso de Agua Potable de Red Filtrada en Domicilio	158
Sustentabilidad Ambiental en la Industria Vitivinícola Provincial	159
Huella Ambiental de Productos de la UE. Un Análisis Crítico en el Sector Vitivinícola	160
Extensión, Docencia E Investigación: La Huella Hídrica en la Producción de Leche y Quesos	161

## PRÓLOGO

Considerando que el 2019 ha sido declarado el “Año de la Exportación” por la Presidencia de la Nación, el tratamiento serio y profundo de las huellas ambientales de producto como medidas para posicionar de manera responsable la industria nacional, especialmente la agroindustria, mereció la atención de este encuentro anual.

Así mismo, se propuso un abordaje amplio de los polos agroindustriales argentinos desde el punto de vista del pensamiento de ciclo de vida considerando la economía circular, con el objeto de optimizar los recursos disponibles y minimizar los impactos asociados a la obtención de las materias primas, su procesamiento, logística de distribución, uso y fin de vida, incorporando no sólo a la academia en su estudio sino también a actores fundamentales de toda la cadena productiva y a los tomadores de decisiones.

El VIII Encuentro Argentino de Ciclo de Vida, junto con la VII Reunión de la Red Argentina de Huella Hídrica (ENARCIV 2019), pretendieron dar el marco adecuado para la exposición de avances metodológicos regionales que permitan sostener las prácticas profesionales en la temática, ofrecer un espacio para la discusión minuciosa sobre los aspectos que requieren mejoras y los puntos críticos sobre los que es necesario enfocarse. Además, ENARCIV 2019 procuró tratar los medios para lograr instalar el pensamiento de ciclo de vida en las esferas empresariales y gubernamentales que son quienes tienen la capacidad de crear políticas públicas que promuevan el consumo y la producción responsable.

## OBJETIVOS DE ENARCIV 2019

### GENERALES:

- Difundir las actividades que se realizan en el contexto nacional y fortalecer las capacidades existentes para la utilización de las herramientas concebidas con óptica de ciclo de vida, tales como las huellas de carbono e hídrica, el análisis de costo de ciclo de vida, el análisis social de ciclo de vida y el análisis ambiental de ciclo de vida.
- Contribuir al establecimiento de sinergias entre los individuos e instituciones participantes, promoviendo el establecimiento de proyectos de cooperación, dirección conjunta de trabajos de tesis de distinto nivel académico, intercambio de datos, etc.
- Avanzar en el establecimiento de criterios comunes para el desarrollo de inventarios de ciclo de vida, tendientes al desarrollo de una base de datos nacional.

### ESPECÍFICOS:

- Consolidar el desarrollo, difusión e implementación de metodologías de ciclo de vida en el ámbito del conocimiento científico.
- Discutir sobre los avances, ideas, teorías y herramientas disponibles que reflejan un enfoque de ciclo de vida.
- Promover espacios para el intercambio y la construcción del conocimiento entre científicos, profesionales y expertos.
- Dar a conocer y poner en valor los estudios e investigaciones que se desarrollan en el país.
- Crear y fortalecer iniciativas de construcción de capacidades en gestión de ciclo de vida.
- Incentivar el desarrollo de reglas de categorías de productos y Declaraciones ambientales de productos, para productos de fuerte arraigo en nuestro país.
- Avanzar en la consolidación de la Red Argentina de Ciclo de Vida y la Red Argentina de Huella Hídrica, a través de la discusión de sus objetivos, visión, misión, modalidades de participación y actividades.

## TRABAJOS COMPLETOS

# Estudio de la Sinergia Entre Plantas de Bioetanol y Biogás Integradas

---

**Jorge Hilbert**  
**Luciana Saporiti**  
**Jonatan Manosalva**

---

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Ingeniería Rural, Av. Pedro Díaz N° 1798  
(1686) Hurlingham Buenos Aires. Cel 1141434394  
hilbert.jorge@inta.gob.ar

## Introducción

La integración de actividades, la mejora en la eficiencia del uso de la energía y los recursos, así como la multiplicación y colocación de productos son los temas de mejora centrales en las biorefinerías para lograr productos con menor impacto ambiental. Dicha mejora es sustancial para lograr cumplir con exigencias incrementales de mercados de destino como el europeo respecto a emisiones comparadas con los combustibles fósiles. Mejorar estos valores tiene una incidencia positiva en la reducción de emisiones del transporte dentro del país.

El INTA viene llevando a cabo estudios de análisis de ciclo de vida sobre las biorefinerías de maíz emplazadas en la provincia de Córdoba a lo largo de los últimos cinco años en forma continua. Los estudios se centran en huella de carbono, hídrica y tasas de retorno energético abarcando la totalidad de los productos generados. A lo largo de los años se han ido perfeccionando los calculadores específicos desarrollados donde podemos mencionar asignación de cargas energéticas a cada producto, la incorporación de nuevos productos, aportes energéticos propios, estudios de cuencas de abastecimiento, variabilidad de rendimiento, paquetes tecnológicos en las cuencas específicas de abastecimiento y análisis de sensibilidad al rinde del maíz. Las empresas fueron introduciendo mejoras en los procesos, generación de nuevos productos así como integración energética dentro de las mismas plantas.

Durante el presente año se desarrolló un estudio preliminar para evaluar la incidencia de una integración total entre una planta de bioetanol y otra de biogás sobre la huella de carbono del biocombustible generado, con la finalidad de evaluar el cumplimiento de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) requerido por el mercado europeo.

## Materiales y métodos

El análisis fue realizado tomando como límites la producción de la materia prima y la entrega FOB en puerto de despacho en la Argentina. Se construyó un inventario sobre la base de dos meses de operación estable de las dos plantas funcionando conectadas. Se tomó como unidad funcional el litro de bioetanol producido efectuando la asignación entre productos generados por contenido energético, de masa y precio.

Ambas plantas se integran de manera que la de biogás toma como insumo los destilados livianos de la producción de bioetanol. Esta última recibe energía térmica y eléctrica, proveniente de la primera, que emplea en sus procesos. Los efluentes son empleados en ferti irrigación del maíz.

Como productos finales se tomaron el bioetanol, los destilados de maíz (burlanda o WGS) y la energía eléctrica entregada.

Para el cálculo de estimación de emisiones de GEIs se tomó como base la metodología de la Directiva Europea, la cual plantea en sus Anexos 1, los conceptos a incluir para estimar las emisiones del ciclo de vida y el cálculo de las reducciones logradas por los biocombustibles. A su vez, algunos conceptos no fueron incluidos debido a que no corresponden en función al ciclo de producción de la planta analizada.

La determinación de los paquetes tecnológicos a campo fueron obtenidos de encuestas por zonas representativas al igual que los rendimientos del cultivo de maíz.

En el caso de los fletes de maíz se empleó la información proveniente de originación de la planta, con las cartas de porte asociadas al periodo correspondiente a partir de las cuales se determinó una distancia recorrida de los campos a acopios y de acopios a planta. Esta distancia se duplicó para considerar el viaje de vuelta alcanzando un valor total de 981.664 km. La emisión para el transporte empleado fue de 1,03 kgCO<sub>2</sub>/km obteniéndose un valor final de 5,61 kgCO<sub>2</sub>eq por tonelada de maíz recibida en Rio IV.

En el complejo industrial se realizaron dos cálculos adicionales principales para considerar el efecto de la reducción de la concentración de jarabe, la contribución del calor de las plantas de biogas BG1 y BG2 y la electricidad suministrada por esas dos plantas. Para calcular la huella de carbono de BG1 se realizó un cálculo completo de emisiones por unidad de energía generada. La energía eléctrica de esas plantas se multiplicó por este factor.

Para el cálculo de la reducción de emisiones se tomaron los criterios de la directiva EU 2009/28/CE Art 17 que tiene un combustible de referencia de 83,8 gCO<sub>2</sub> eq/MJ. Para desarrollarlo se simuló una exportación por barco al puerto de Rotterdam desde Rosario para lo cual se sumaron las emisiones del transporte terrestre y marítimo a las emisiones de base calculadas. Se compararon estos resultados con los valores por defecto y típicos que contiene la normativa, así como el porcentaje de reducciones respecto al valor fijo de referencia. Adicionalmente se calculó el nivel de emisiones del etanol sin asignación por coproductos realizando también la determinación de la reducción total. Se realizaron por último las comparaciones de reducción porcentual con los tres niveles ascendientes estipulados en el EU RED actual, 2017 y 2018 indicando el cumplimiento o no con las metas según los diferentes criterios de asignación.

## Resultados

El bioetanol producido en el complejo alcanzó una emisión de 758 kgCO<sub>2</sub>/Tn o 27,77 gCO<sub>2</sub>eq/MJ. En la última medición realizada sobre la planta sin integración del biogás, se habían registrado valores de 897 y 32,8, respectivamente, lo cual indica una mejora sustantiva.

---

<sup>1</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

Tabla 1 Comparativa de reducción de emisiones

ANÁLISIS EXPORTACION ETANOL A LA UNION EUROPEA



RETORNO AL MENU INICIAL		Valores BIOIV - Abril/Mayo 2019				EU-RED		Observaciones
		x Masa	x Precio	x Energia	Sin Alocar	Valores Default	Valores Típicos	
e <sub>oc</sub>	A. Producción MMPP/B. Fletes MMPP	10	15	12	17	20	20	
e <sub>p</sub>	C. Planta	11	15	12	18	21	15	
e <sub>cd</sub>	D. Fletes PT	3	4	3	5	2	2	
E <sub>a</sub>	<b>Emisiones procedentes de la producción (g CO2eq/Mj)</b>	<b>24</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>37</b>	
E <sub>f</sub>	Emisiones	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	Directiva Europea - Anexo V - Art. 19
RED	<b>Reducción = (E<sub>f</sub> - E<sub>a</sub>) / E<sub>f</sub></b>	<b>71%</b>	<b>58%</b>	<b>66%</b>	<b>52%</b>	<b>49%</b>	<b>56%</b>	
	Limite hasta 31 de Diciembre de 2016	35%	35%	35%	35%	35%	35%	Directiva Europea de Biocombustibles - EU 2009/28/CE - Art. 17 - Párrafo 2
	Cumplimiento	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
	Limite hasta 31 de Diciembre de 2017	50%	50%	50%	50%	50%	50%	Directiva Europea de Biocombustibles - EU 2009/28/CE - Art. 17 - Párrafo 2
	Cumplimiento	Si	Si	Si	Si	No	Si	
	Limite despues del 1 de Enero de 2018	60%	60%	60%	60%	60%	60%	Directiva Europea de Biocombustibles - EU 2009/28/CE - Art. 17 - Párrafo 2
	Cumplimiento	Si	No	Si	No	No	No	

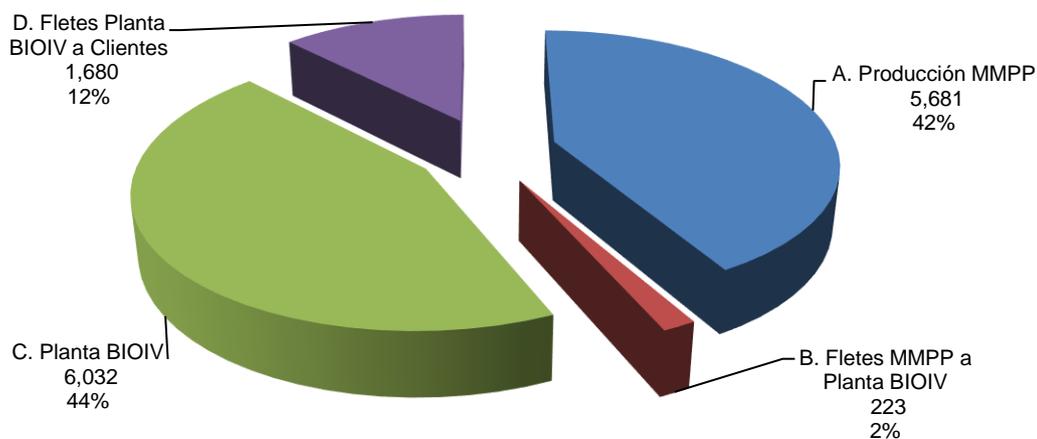
Var.	Concepto	Motivo
e <sub>1</sub>	Las emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio de uso del suelo.	No se considera cambio de uso del suelo.
e <sub>2</sub>	Las emisiones procedentes del combustible cuando se utiliza.	Anexo V - Párrafo 13 - e - se considerará nula para los biocarburantes y biolíquidos.
e <sub>3</sub>	La reducción de emisiones procedente de la acumulación de carbono en suelo mediante una mejora de la gestión.	No se considera aumento de stocks de carbono en suelo a pesar de realizarse Siembra Directa.
e <sub>4</sub>	La reducción de emisiones procedente de la captura y retención del carbono.	No Corresponde
e <sub>5</sub>	La reducción de emisiones procedente de la captura y sustitución del carbono.	No Corresponde
e <sub>6</sub>	La reducción de emisiones procedente de la electricidad excedentaria de la cogeneración.	No Corresponde dado que se compra energía de la red. (No hay superavit del sistema de generación)

La producción de campo de maíz en Córdoba tuvo como principal componente de emisión a los fertilizantes que entre producción y aplicación llegó al 53 % siguiendo en importancia los residuos de cosecha con el 29 % de emisiones, agroquímicos 9 % y combustibles el 7 % en planteos mayoritariamente de siembra directa.

La complementación entre las dos plantas logró una significativa mejora en el perfil del bioetanol. Para el caso de exportación se pasó de un 57 a un 67 % de reducción tomando como referencia el fijado por la Unión Europea. Tomando como referencia el valor de combustible Argentino de (77 gCO2eq/MJ) la reducción alcanzaría al 64 %.

En lo que respecta a la distribución de las emisiones, el 89 % corresponde a consumo de gas, 4 % de las emisiones de la electricidad producida por la planta de biogas y 7 % por los insumos. De las emisiones totales un 44 % correspondió a la planta de transformación y un 42 % a la producción de la materia prima a campo.

Figura 1 Emisiones totales base 2019



## Conclusiones y recomendaciones

La metodología seguida en este estudio fue la atribucional donde se han identificado los diferentes procesos realizando una asignación de acuerdo a los productos generados. 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.

Merece destacarse la mejora lograda mediante la integración de las dos plantas y el doble aprovechamiento de la fracción eléctrica y térmica en la planta de bioetanol permitiendo superar las exigencias de reducción de emisiones para entrar en el mercado europeo.

A estos beneficios en el futuro se deberán estudiar los impactos de la fertilización orgánica con los digeridos de la planta de biogás lo cual podría reducir significativamente el uso de fertilizantes, uno de los componentes principales de emisión de la producción a campo. A largo plazo, se debería también estudiar el uso continuo de esta fracción orgánica sobre el contenido de carbono en suelos.

## Bibliografía

*Análisis de Ciclo de vida (ACV) de la producción de Bioetanol (B100) en Argentina - Ing. Amb. Luis Panicheli – Año 2006.* <http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/panichelli2006.pdf>

*Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017 “Production of Bioetanol for use as fuel” - v.01.1 - UNFCCC - CDM Executive Board.* <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/WENY1VXSSZHD73WXG3RXX8KNAICCAT>

*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>

*Estudio Evolución anual de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la República Argentina en el período 1990 - 2005 - Fundación Bariloche - Año 2008* <http://www.endesacemsa.com/interactivo/descarga/Capitulo1.pdf>

*Improvements in Life Cycle Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions of Corn-Ethanol Adam J. Liska, Haishun S. Yang, Virgil R. Bremer, Terry J. Klopfenstein et al Journal of Industrial Ecology Volume 13, Issue 1, pages 58–74, February 2009* <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2008.00105.x/full>

*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/>

*IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.* <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

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

# Perfil Ambiental de la Producción de Bioetanol a Partir de Maíz en una Biorrefinería de la Provincia de Córdoba

Jonatan Manosalva<sup>1</sup>  
Luciana Saporiti<sup>2</sup>  
Jorge Hilbert<sup>1</sup>

1 Instituto de Ingeniería Rural – CIA – INTA (CC 25, 1712, Castelar, Buenos Aires  
Te: 11 4621 1177 int. 8846  
manosalva.jonatan@inta.gob.ar  
2 Consultora Privada

## Resumen

*En Argentina la producción de bioetanol alcanzó en el año 2018 el mayor volumen histórico registrado, aportando la provincia de Córdoba un 39%, siendo la mayor productora a nivel nacional (Secretaría de Energía). Obteniéndose a partir del grano de maíz, principal insumo de esta industria. El INTA viene trabajando con estas biorrefinerías, evaluando la performance ambiental de las mismas. En esta línea, se pretende obtener el perfil ambiental de la producción de bioetanol y los coproductos generados (granos destilados húmedos y secos, aceite vegetal y CO<sub>2</sub>) a través del análisis de ciclo de vida en una planta específica ubicada en la localidad de Villa María. El estudio contempló tres etapas, la producción agrícola del grano de maíz, el transporte a planta de esta materia prima y el proceso industrial. El sistema se modeló para la unidad funcional de 1 kg de bioetanol deshidratado, producido en el ciclo anual 2018 – 2019 de la empresa. El ciclo de vida de la producción agrícola de maíz se obtuvo sobre la base de información ReTAA (relevamiento de tecnología agrícola aplicada) de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, para la provincia de Córdoba, previamente elaborado por los autores para el caso de estudio; las etapas de transporte y procesado industrial, mediante la información brindada por la empresa bajo estudio. Se utilizó el software Simapro 8.3 con base de datos ecoinvent 3.3 y se aplicó el método de evaluación de impacto Recipe midpoint (H). Resultados preliminares, contemplando una asignación por masa de 48% bioetanol anhidro, 24,5% destilados húmedos de maíz (WDGS), 16,5% destilados secos (DDGS), 9,9% CO<sub>2</sub> y 1,1% aceite vegetal, mostraron que el transporte de los granos de maíz a la planta tuvo el mayor porcentaje de contribución en la mayoría de las categorías de impacto evaluadas. Debido a la contabilización de los kilómetros recorridos de la materia prima desde los campos de originación hacia la empresa y desde el acopio a la empresa, siendo el total de 42.385 km. Por otro lado, la producción agrícola del cultivo de maíz tuvo altas contribuciones en los indicadores de ecotoxicidad terrestre y ecotoxicidad de agua dulce. Para una mejor interpretación de los resultados y conclusiones, se deberá ajustar el modelo de transporte empleado.*

**Palabras claves:** bioetanol, maíz, ACV, Córdoba.

## Introducción

En Argentina la producción de bioetanol alcanzó en el año 2018 el mayor volumen histórico registrado, aportando la provincia de Córdoba el 39% de la producción nacional total a partir de almidón de maíz, constituyéndose en la mayor productora a nivel nacional (Secretaría de Energía).

El INTA ha desarrollado diversos estudios evaluando la performance ambiental de estas biorrefinerías (Hilbert et al 2016; Hilbert et al. 2017; Hilbert et al. 2018 y Schein et al. 2017). En esta línea, se pretende a través del análisis de ciclo de vida, obtener el perfil ambiental de la producción de bioetanol y los coproductos generados (granos destilados húmedos y secos, aceite vegetal y CO<sub>2</sub>) en una planta específica ubicada en la localidad de Villa María, Córdoba.

## Materiales y métodos

El estudio contempló tres etapas, la producción agrícola del grano de maíz, el transporte a planta de esta materia prima y el proceso industrial, estableciendo el límite del sistema en la puerta de la industria del

producto y coproductos. El sistema se modeló para la unidad funcional de 1000 kg de bioetanol deshidratado en concordancia con la recomendación de la Regla de Categoría de Producto de químicos orgánicos básicos (Basic organic chemicals, Product category classification: UN CPC 341) del EPD System, producido en el ciclo anual julio 2018 a junio 2019 de la empresa, sobre un total de 135.368 tn de alcohol etílico anhidro. Contemplando una asignación por masa de 48% bioetanol anhidro, 24,5% destilados húmedos de maíz (WDGS), 16,5% destilados secos (DDGS), 9,9% CO<sub>2</sub> y 1,1% aceite vegetal, según las toneladas producidas de cada producto.

El ciclo de vida de la producción agrícola de maíz se obtuvo sobre la base de información ReTAA (relevamiento de tecnología agrícola aplicada) de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, para la provincia de Córdoba, previamente elaborado por los autores para el caso de estudio. Mientras que, las etapas de transporte y proceso industrial, fueron modeladas mediante la información brindada por la empresa bajo estudio.

Para la confección del inventario se modelaron los insumos del proceso industrial: consumo de agua de pozo, ácido sulfúrico 98%, enzimas alfa amilasa y glucoamilasa, agua amoniacal 32%, soda cáustica 50%, levadura y urea sólida. No fue posible la inclusión de cuatro insumos por no contar con el detalle de su composición y/o un ajustado modelo en ecoinvent, igualmente estos representaron el 1,8% en masa de la totalidad de insumos de proceso.

Además se incluyeron los consumos energéticos, como el gas natural proveniente de la red, utilizado para la cogeneración (76%) de electricidad y energía térmica, y para la generación de vapor para secado (24%).

Se utilizó el software Simapro 8.3 con base de datos Ecoinvent 3.3 y se aplicó el método de evaluación de impacto CML-IA baseline v3.04; reportando las categorías de impacto potenciales que se mencionan la Regla de Categoría de Producto (Product Category Rules – Basic organic chemicals) con excepción de water scarcity potential:

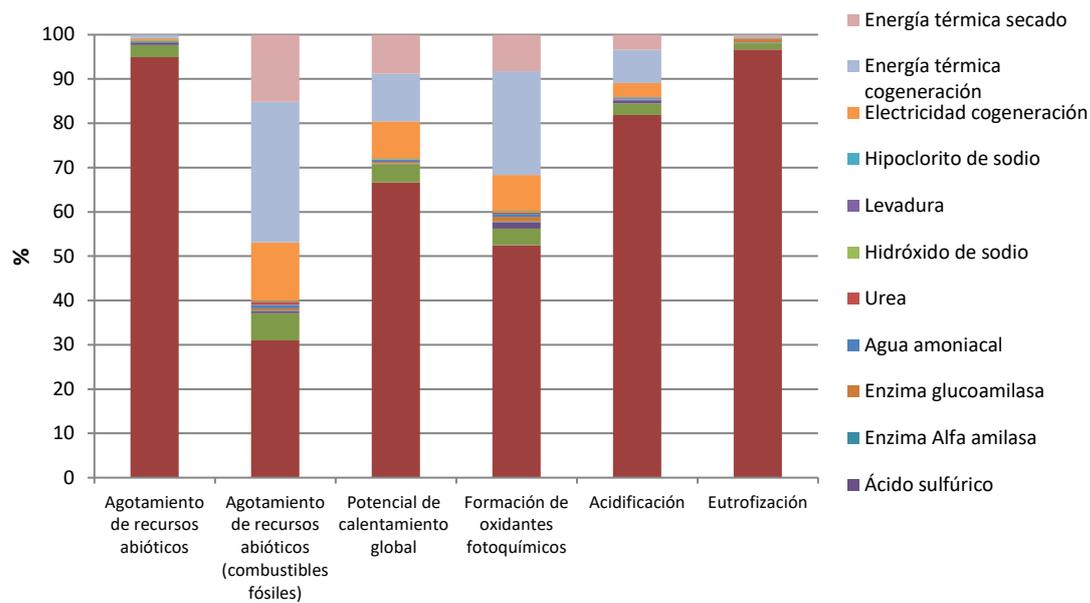
- Potencial de calentamiento global, expresado en emisiones de dióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub>eq).
- Potencial de acidificación, expresado en dióxido de azufre equivalentes (SO<sub>2</sub>eq).
- Potencial de eutrofización, expresado en fosfato equivalente (PO<sub>4</sub>3-).
- Formación de oxidantes fotoquímicos, expresado como la suma del potencial de creación de ozono (POCP), en etileno equivalentes (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).
- Agotamiento de recursos abióticos – incluyendo todos los recursos no renovables, en Sb equivalentes.
- Agotamiento de recursos abióticos – incluyendo todos los recursos fósiles, en MJ.

## Resultados

El cultivo de maíz tuvo la mayor contribución en las categorías de impacto eutrofización, agotamiento de recursos abióticos y acidificación, con 97, 95 y 82%, respectivamente.

Figura 1: Perfil ambiental de 1000 kg de bioetanol anhidro de biorrefinería en Córdoba. Método: CML-IA baseline

V3.04 / Caracterización / Excluyendo emisiones a largo plazo



Mientras que el proceso industrial tuvo la mayor contribución en la categoría de impacto agotamiento de recursos abióticos (combustibles fósiles) con un 63%, específicamente debido al consumo gas natural que realiza la empresa utilizado en la cogeneración, siendo la generación de energía térmica responsable en un 32%, el vapor para secado un 15% y la generación de electricidad en un 13%; el restante 3% se debe a los insumos de procesos. En esta categoría de impacto el cultivo de maíz contribuyó en un 31% y el transporte del mismo a la planta un 6%.

La categoría formación de oxidantes fotoquímicos tuvo una contribución del 52% de la etapa agrícola, 44% de la industria y un 4% del transporte.

Y por último, el potencial de calentamiento global, mostró la mayor contribución el cultivo de maíz, con un 67%, siguiendo la industria con un 29%, dentro de la cual el mayor porcentaje se debió a la generación de energía térmica (11%), siguiendo la energía de vapor utilizada en el secado (9%) y la generación de electricidad (8%); la suma del resto de los insumos de procesos contribuyeron en un 8%; y el transporte de maíz a planta en un 4%.

Una alta contribución de la producción de maíz en la mayoría de las categorías de impacto, también fueron reportados en perfiles ambientales de la producción de bioetanol en la provincia de Santa Fe (Pieragostini et al., 2014), evaluados con distintos métodos de impacto. Valores de 69% en acidificación y eutrofización aplicando el método Eco-indicador 99; y 94% en eutrofización y 60% en acidificación cuando se evaluó mediante Recipe.

El suministro de calor y la quema de gas natural, también fueron otros procesos con importante contribución en las categorías de impacto (Pieragostini et al., 2014).

## Conclusiones

Se ha logrado ampliar el campo de análisis ambiental en los estudios sobre las biorrefinerías de maíz en el marco de un protocolo establecido internacionalmente como el International EPD System.

El seguimiento de la PCR marca un camino a continuar en el desarrollo de EPD específicas para el bioetanol producido a partir de diferentes materias primas en la Argentina.

En estudios posteriores, se recomienda profundizar el modelado de la planta de cogeneración y realizar un estudio comparativo entre los resultados obtenidos en la categoría de impacto Potencial de calentamiento global del presente estudio, y el resultado de la Huella de Carbono calculada mediante la metodología establecida en la Directiva 2009/28/CE del Parlamento europeo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

## Bibliografía

Hilbert, J.; S. Carballo; L. Schein; J. Manosalva; N. Michard y S. Galbusera. 2016. "Modelización de la producción de maíz como insumo de una biorrefinería de la provincia de Córdoba" en "Avances y estado de situación en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en la Argentina". ENARCIV 2016. ISBN 978-987-521-810-9. [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta-avances\\_y\\_estado\\_de\\_situacion\\_en\\_analisis\\_de\\_ciclo\\_de\\_vida\\_y\\_huellas\\_ambientales\\_en\\_la\\_argentina-enarciv\\_2016.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta-avances_y_estado_de_situacion_en_analisis_de_ciclo_de_vida_y_huellas_ambientales_en_la_argentina-enarciv_2016.pdf)

Hilbert, J.A.; S. Carballo; S. Galbusera; L. Schein; A. Dantur; M.J. Galvan, J. Manosalva y N. Michard. 2017. "Influencia de la territorialidad y la temporalidad en el análisis de ciclo de vida de una biorrefinería de maíz". Las huellas ambientales de la generación de valor - VI Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y V Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica (ENARCIV 2017). Págs 52-60. Disponible en: [https://docs.wixstatic.com/ugd/4e323e\\_5163c99cbc57464f98f3a57f83ba65d3.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/4e323e_5163c99cbc57464f98f3a57f83ba65d3.pdf)

Hilbert, J.A; J.A. Manosalva, S. Galbusera, S. Carballo y L. Schein. 2018. "Determinación del nivel de emisiones, balance energético y huella hídrica para la producción de bioetanol en la provincia de Córdoba". XI Congreso Nacional de maíz. [http://www.congresodemaiz.com.ar/admin/doc\\_confirmados/12676020-CO-Hilbert.pdf](http://www.congresodemaiz.com.ar/admin/doc_confirmados/12676020-CO-Hilbert.pdf)

Pieragostini, C.; P. Aguirre and M.C. Mussati. 2014. Life cycle assessment of corn-based ethanol production in Argentina. *Science of the Total Environment* 472. Pp 212-225. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713012862>

Product Category Rules according to ISO 14025. Basic organic chemicals Product Category Classification: UN CPC 341. 2011:17 version 2.11 <https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=5974>

Relavamiento de Tecnología Agrícola Aplicada de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires. <http://www.bolsadecereales.com/retaa#>

Schein, L.; J. Hilbert; S. Carballo; J. Manosalva y N. Michard. 2017. "Modelización de la producción de bioetanol de maíz en una biorrefinería de la provincia de Córdoba". Las huellas ambientales de la generación de valor - VI Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y V Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica (ENARCIV 2017). Págs. 15-17. [https://docs.wixstatic.com/ugd/4e323e\\_5163c99cbc57464f98f3a57f83ba65d3.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/4e323e_5163c99cbc57464f98f3a57f83ba65d3.pdf)

Schein, L.; J.A. Hilbert; S. Galbusera; S. Carballo; A. Dantur; M.J. Galban; J. Manosalva y N. Michard. 2017. "Análisis de cargas ambientales netas por valorización del subproducto de CO2 en una biorrefinería de maíz". IV Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables. ISBN: 978-987-1930-35-7. Pp 588-595. Disponible en: <http://cayer.unvm.edu.ar/descargas/IV-CAYER.pdf>

Web de la Secretaría de Energía. <http://datos.minem.gov.ar/dataset/estadisticas-de-biodiesel-y-bioetanol>

# Estudio Ambiental del Bioetanol de Sorgo Azucarado en Tucumán (Argentina)

L. Patricia Garolera De Nucci<sup>1</sup>

M. Javier Tonatto<sup>1</sup>

G. De Boeck<sup>1</sup>

Fernando Daniel Mele<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Av. William Cross 3150, (T4101XAC) Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, pgarolera@eeaoc.org.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, Av. Independencia 1800, (T4002BLR) San Miguel de Tucumán, Tucumán, 0381-4364093.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## Resumen

*Este estudio presenta un primer análisis ambiental de la producción de bioetanol de sorgo azucarado en la provincia de Tucumán. El bioetanol se produce en Tucumán a partir de caña de azúcar y se mezcla en las proporciones establecidas por ley con nafta para utilizarse en el sector transporte. El sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es un cultivo energético apto para industrializarse en los ingenios azucareros del Noroeste Argentino (NOA) e integrarse a la cadena agroindustrial de la caña de azúcar ya consolidada en la región. Esta evaluación es un avance sobre estudios previos en los que sólo se analizaba la etapa de campo y permitirá complementar la información existente acerca del impacto de la actividad alcoholera de caña de azúcar en la región NOA.*

*El estudio se realizó empleando como herramienta el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El sistema evaluado comprende desde el cultivo de sorgo, su transporte al ingenio azucarero hasta la obtención del alcohol anhidro. Para el inventario, se utilizaron principalmente datos aportados por experiencias realizadas en el campo/industria, publicaciones especializadas y la base de datos Ecoinvent v3. Se trabajó con una herramienta informática de soporte SimaPro® v9, usando como método de evaluación de impacto el modelo ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.02. Los resultados mostraron que la mayor contribución al impacto ambiental fue debida principalmente al uso de agroquímicos y combustible fósil durante el crecimiento del cultivo y emisiones de NO en la quema de biomasa que se utiliza como combustible. Este análisis permitirá realizar ajustes tanto en el manejo agronómico del cultivo de sorgo azucarado como en su industrialización.*

**Palabras claves:** *impacto ambiental, Análisis de Ciclo de Vida, industria sucroalcoholera, sustentabilidad, biocombustibles.*

## Introducción

Con el objetivo de diversificar la matriz energética argentina y disminuir el impacto ambiental, existe interés a nivel nacional y regional en la producción de combustibles derivados de cultivos agrícolas. Con esto se busca, además, atender la creciente demanda de energía y reducir el uso de derivados del petróleo. El bioetanol es una opción muy importante para complementar o suplantar el consumo de naftas y así bajar el consumo de recursos no renovables.

En la Argentina, la entrada en vigencia de la ley 26.093 —en 2010— que proporciona el marco para la inversión, producción y comercialización de biocombustibles; y su complementaria, la ley 26.334, permitieron sumar la producción de bioetanol a la cadena productiva de la caña de azúcar y suplementar las naftas con un contenido mínimo de bioetanol del 5%. Actualmente dicho porcentaje es del 12% y se espera que continúe en aumento.

La industria sucroalcoholera (producción simultánea de azúcar y etanol de caña de azúcar) argentina se concentra en las regiones Noroeste (NOA), principalmente en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy, y Nordeste (NEA), donde el clima subtropical con lluvias concentradas en primavera y verano, es adecuado

para la producción de cultivos energéticos. En el NOA, la actividad sucroalcoholera la desarrollan 20 ingenios azucareros cuya producción anual es de 2,2 a 2,5 millones de toneladas de azúcar, 690 millones de litros de etanol —destinados al Plan Nacional de Biocombustibles— y 100 MWh de electricidad cogenerada (Centro Azucarero Argentino, 2018).

En Tucumán, el bioetanol se produce a partir de la caña de azúcar, en destilerías anexas a ingenios azucareros que utilizan distintas materias azucaradas del proceso de fabricación de azúcar (mieles y jugos) como materia prima. Todos estos ingenios producen electricidad a partir del bagazo (fracción celulósica de la caña de azúcar) para su propio consumo y algunos venden el excedente a la red eléctrica.

El sorgo azucarado<sup>2</sup> (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es un cultivo energético de alta eficiencia fotosintética y productividad, cuyo cultivo para la producción de bioetanol es viable en Tucumán. Se trata de una especie apta para integrarse a la actividad sucroalcoholera del NOA, para usarse como cultivo de rotación de la soja y en áreas donde la caña de azúcar presenta limitaciones hídricas o suelos de alto contenido salino. De esta manera, se generaría un mayor abastecimiento de materia prima en las destilerías de bioetanol preexistentes, sobre todo en los meses previos al inicio de la zafra azucarera (Romero et al, 2012). A fin de propiciar un desarrollo agroindustrial sustentable, la producción integrada de bioetanol de caña y sorgo debe estudiarse y evaluarse en términos de impacto ambiental.

A nivel mundial, existen algunas contribuciones referidas al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de bioetanol de sorgo dulce. Olukoya et al. (2015) concluyen que la mayoría de los impactos ambientales en la producción del bioetanol de este sorgo en EE.UU se deben a emisiones provenientes de la etapa de cultivo y el transporte de sorgo desde el campo hasta la planta de producción del biocombustible. De la misma manera, los resultados del estudio realizado por Aguilar-Sánchez et al. (2018) en México, muestran que la etapa de cultivo es la responsable de las mayores emisiones, principalmente debido a la producción y uso de fertilizantes y herbicidas.

Presentado este contexto, el propósito de este trabajo es obtener el perfil ambiental de la producción de bioetanol de sorgo dulce en la provincia de Tucumán, utilizando el enfoque de ciclo de vida. Esta evaluación permitirá complementar la información existente acerca del impacto de la actividad alcoholera de caña de azúcar en la región, lo que en conjunto constituye la huella ambiental del bioetanol de la región.

## Metodología

El estudio se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta por la norma ISO 14040 de ACV.

### *Fase 1. Definición del objetivo y alcance del estudio.*

Se definió como objetivo del estudio estimar el impacto ambiental de la producción de bioetanol de sorgo azucarero en Tucumán. Los límites del sistema se muestran en la Figura 1 y comprenden el cultivo de sorgo, su transporte a la planta de molienda (ingenio azucarero) y la obtención del alcohol anhidro (bioetanol), a lo cual se suma la consideración de la producción y transporte de todos los insumos utilizados.

---

<sup>2</sup>En estetrabajo se utilizan las denominaciones de sorgo “azucarado”, “azucarero”, “dulce” o “sacarino”, indistintamente.

El alcance geográfico y los datos son representativos de Tucumán (Argentina). El alcance temporal es de un año y como unidad funcional se ha tomado 1 t de bioetanol.

El sistema global analizado se ha dividido en dos subsistemas.

El subsistema CAMPO se inspiró en una explotación de sorgo azucarero (híbrido Argensil 165 Bio) existente en una localidad del SE de la provincia de Tucumán. Comprendió las labores de siembra directa, aplicación de herbicidas pre emergentes (aplicado sobre el suelo antes de la emergencia de malezas) y post emergentes (sobre malezas ya emergidas), control de plagas (insecticidas), sin la aplicación de fertilizantes y de agua de riego, y finalmente la cosecha integral en verde. Luego de la cosecha, se obtiene —como en el caso de la caña—materia verde residual o RAC (residuo agrícola de cosecha). Una fracción de este residuo puede usarse como cobertura en el campo y el resto ser quemado en calderas de biomasa en el mismo ingenio para generar calor y electricidad. Esta situación no se tiene en cuenta en el presente estudio; se considera al RAC como un subproducto. Tampoco se consideran las tareas asociadas a la producción de semilla de sorgo, ya que son despreciables si se comparan con otras operaciones del campo. Para las labores agrícolas se considera el consumo de diésel y la fabricación de maquinaria (sembradora, tractor, pulverizadora autopropulsada y cosechadora mecánica integral con todo el equipamiento necesario para el apoyo de estas tareas). Los agroquímicos utilizados fueron 2,4 D, atrazina, metolaclor, entre otros. El ciclo de este cultivo estival es de 120 días y posee un rendimiento cultural estimado en 29,6 t /ha (tallo molible). La siembra tiene lugar entre los meses de diciembre y enero y la cosecha entre abril y mayo (período 2016/2017). Concluida la cosecha, los tallos de sorgo se deberán transportar hasta el ingenio azucarero (planta industrial) ubicado a 30 km de distancia.

El subsistema INDUSTRIA (industrialización del sorgo) comprende la producción del etanol anhidro (99°GL) a partir de melado. Se consideraron las etapas del proceso de molienda, clarificación, concentración por evaporación del jugo, fermentación alcohólica del mosto, destilación y deshidratación usando ciclohexano como agente deshidratante. El bagazo obtenido de la etapa de extracción de jugo se evaluó como materia prima de caldera de biomasa para la generación de vapor y energía eléctrica para autoabastecimiento del ingenio. Las cenizas de la combustión del bagazo y la cachaza (residuo del proceso de clarificación, rico en materia orgánica e inorgánica) se disponen en el campo. La fermentación es de tipo batch en cubas abiertas. Para la etapa de destilación se utilizan dos columnas: destiladora y rectificadora, siendo todo el alcohol producido destinado para combustible. La vinaza, residuo de este proceso productivo, se dispone en el campo como fuente de nutrientes y mejorador de las condiciones del suelo. La industrialización tiene lugar entre los meses de abril y mayo, durante 45 días, con una molienda de 8000 t /d de sorgo.

### ***Fase 2. Análisis de inventario de ciclo de vida.***

En la fase de inventario se priorizan los datos recolectados directamente del campo, el ingenio azucarero y la destilería, a través de entrevistas con expertos, experiencias realizadas y publicaciones especializadas. En caso de falta de información, se resolvieron balances de materia y energía, o se adoptaron procesos similares a los locales, de bases de datos internacionales (ej.: Ecoinvent v3).

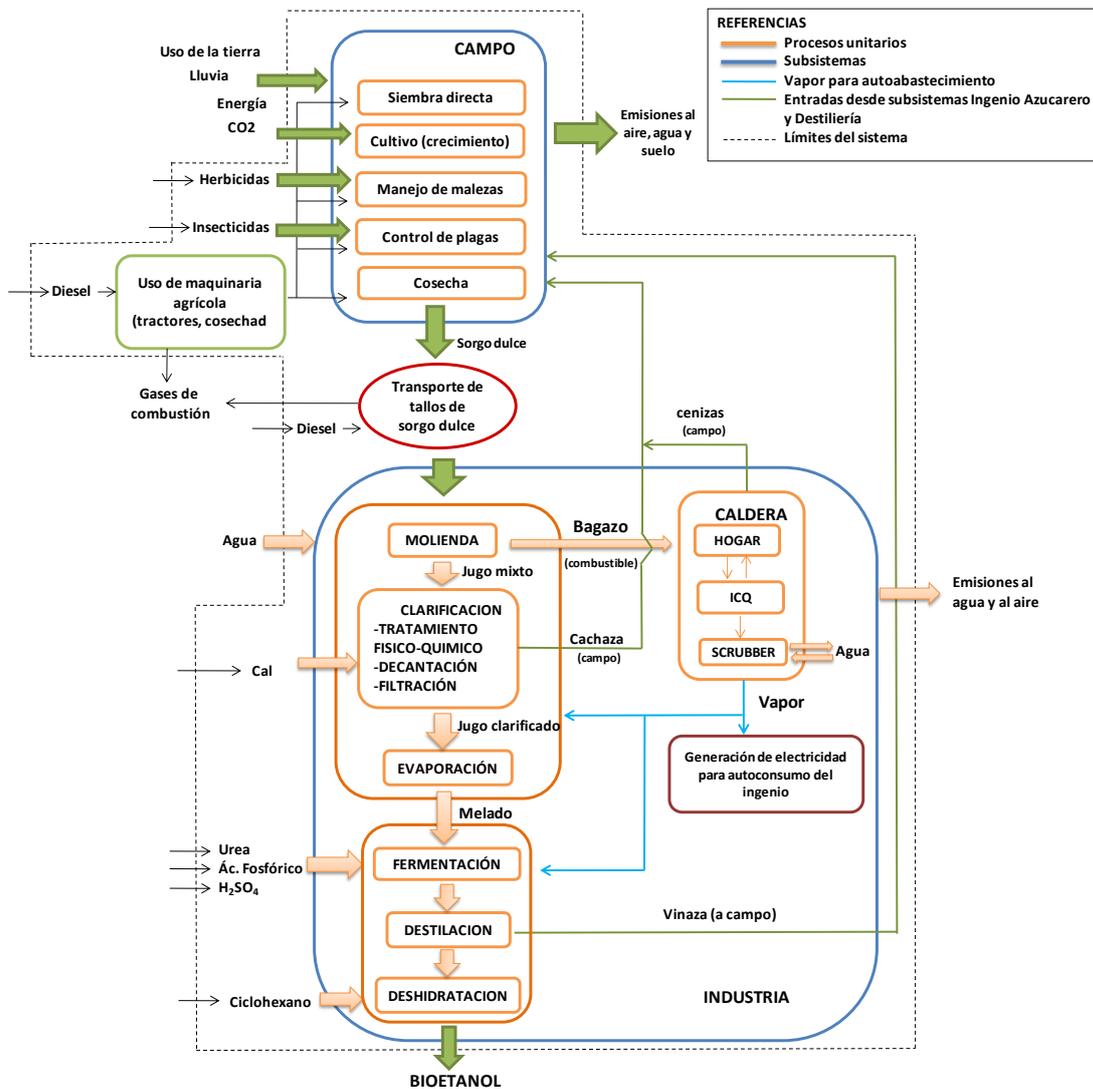
### Fase 3. Evaluación de impacto del ciclo de vida

Como método de evaluación de impacto se ha elegido el modelo ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03 / World (2010) H, a través del programa SimaPro® v9.0 (Pre Consultants, 2019).

### Fase 4. Interpretación

Los resultados obtenidos como parte de esta fase se analizan en la siguiente sección.

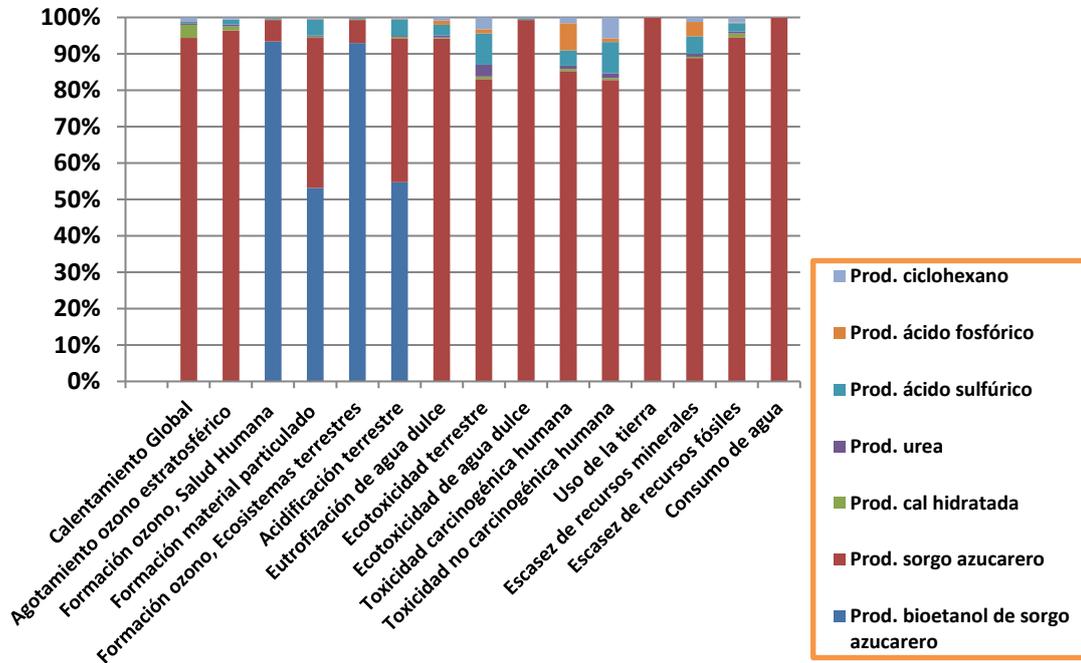
Figura 1. Límites del sistema de producción de bioetanol a partir de sorgo azucarado.



## Resultados

La Figura 2 muestra cómo se compone el impacto ambiental asociado a la producción de 1 t de bioetanol de sorgo azucarado en la provincia de Tucumán. En abscisas se muestran quince categorías de impacto seleccionadas de la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03y en ordenadas, la contribución de los procesos intervinientes, en cada categoría, expresada en porcentaje.

Figura 2. Perfil ambiental del bioetanol de sorgo azucarado en Tucumán, estimado para 1 t del biocombustible (caracterización).



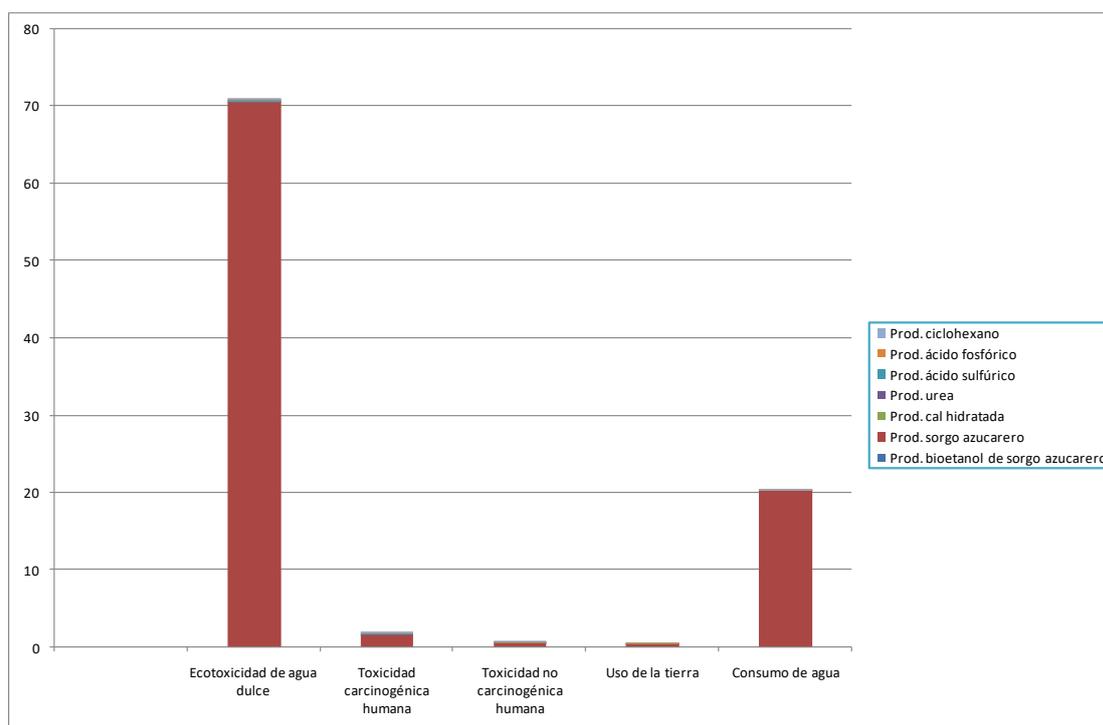
En todas las categorías predomina la contribución ambiental de la producción del sorgo en campo (rojo) debida principalmente al uso de agroquímicos y combustible fósil durante el crecimiento del cultivo.

El impacto propio de la producción de bioetanol de sorgo (azul) es evidente en la categoría “formación de ozono” (salud y ecosistemas), “formación de material particulado” y “acidificación terrestre”, debido principalmente a emisiones de NO provenientes de la combustión del bagazo en calderas. Dado que los impactos son muy sensibles a la emisión de NO, ésta debe medirse con certeza.

Otros procesos que contribuyen al impacto ambiental en menor medida son la producción de cal apagada (hidróxido de calcio), ácido sulfúrico, ácido fosfórico y ciclohexano, todos necesarios en la etapa de industrialización, lo cual se observa principalmente en las categorías “calentamiento global”, “ecotoxicidad terrestre” y “toxicidad carcinogénica humana”, entre otras.

La figura 3 muestra resultados de normalización de los impactos. Se observa que la mayor puntuación del impacto ambiental corresponde a la categoría “ecotoxicidad de agua dulce”. Se pudo rastrear que en esta categoría contribuye la producción de sorgo por la aplicación de herbicidas (atrazina y metolaclor) y el uso de clorpirifos, insecticida organofosforado de amplio uso en agricultura. También se observa que la etapa de producción de sorgo afecta a la categoría “consumo de agua”. Este último resultado no se analizará en profundidad ya que la realización de balances exhaustivos de agua en todo el sistema queda como objetivo de un trabajo futuro.

Figura 3. Normalización del perfil ambiental del bioetanol de sorgo azucarado.



## Conclusiones

Este trabajo ofrece una contribución importante en un área de investigación en desarrollo. Los resultados mostraron que la mayor contribución al impacto ambiental fue debida principalmente al uso de agroquímicos y el consumo de agua durante el crecimiento del cultivo.

Dada la gran influencia del uso de herbicidas e insecticidas, los resultados permitirán realizar ajustes en el manejo agronómico del cultivo de sorgo azucarado

El análisis proporciona una base de datos para continuar con estudios de sustentabilidad integrando el cultivo de sorgo dulce a la cadena productiva del bioetanol de caña de azúcar, como también realizar comparaciones con otros sistemas bioenergéticos.

La incorporación de la molienda de sorgo dulce ayudaría a las fábricas sucroalcoholeras a disminuir sus costos fijos de producción y reducir el consumo de combustibles no renovables derivados del petróleo.

Estas iniciativas de investigación servirán al sector productivo tucumano para diversificarse y concretar objetivos claros para obtener una mejor disponibilidad de energía renovable.

## Bibliografía

Aguilar-Sánchez, P.; Navarro-Pineda, F.; Sacramento-Rivero, J.; Barahona-Pérez, L. F. 2018. *Life-cycle assessment of bioethanol production from sweet sorghum stalks cultivated in the state of Yucatan, Mexico. Clean Technologies and Environmental Policy*. 20:1685-1696.

Centro Azucarero Argentino. 2018. Consultado el 14 de febrero de 2018. Disponible en <http://centroazucarero.com.ar/azucar/>

*Olukoya, I. A.; D. Bellmer; J. R. Whiteley; C. P. Aichele. 2015. Evaluation of the environmental impacts of ethanol production from sweet sorghum. EnergyforSustainableDevelopment 24: 1–8.*

*PRéConsultants. SimaPro® v8. 2018. Disponible en [www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software](http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software)*

*Romero, E. R.; G. J. Cárdenas; M. Ruiz; S. Casen; P. Fernández González; A. Sánchez Ducca; B. S. Zossi; G. De Boeck; C. Gusils; J. Tonatto; M. Medina; R. Caro y J. Scandaliaris. 2012. Integración del sorgo azucarado a la cadena de aprovechamiento bioenergético de la caña de azúcar en Tucumán, R. Argentina. Avance Agroindustrial. Vol. 33, n° 1, pp:13-17.*

# ACV de la Utilización de Hidrógeno Renovable en Buses con Celdas de Hidrógeno en la Ciudad de Rosario, Argentina

Leonardo Iannuzzi<sup>1</sup>  
Jorge Antonio Hilbert<sup>2</sup>  
Electo Silva Lora<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing Civil, Esp. Ing Amb, Tit Mg en EERR en trámite. Alvear 592, Martínez-Provincia de Buenos Aires, Teléfono: +54-911-5175-4965. Mail: [leoianuzzi@hotmail.com](mailto:leoianuzzi@hotmail.com)

<sup>2</sup> INTA-Instituto de Ingeniería Rural-Profesional Asesor de Nivel Internacional en Gestión de Actividades de Innovación-Argentina, Dirección Postal: CC 25 1712 Castelar, Prov. de Buenos Aires ARGENTINA, Teléfonos: +54 11 4621-1177(rotativo) interno 8817, Cel: +54 9 11 4143 4394- E mail: [hilbert.jorge@inta.gob.ar](mailto:hilbert.jorge@inta.gob.ar); [jorgeantoniohilbert@gmail.com](mailto:jorgeantoniohilbert@gmail.com)

<sup>3</sup> Núcleo de Excelencia en Generación Termoelectrónica y Distribuida Instituto de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá-Brasil, Av. BPS 1303, CP 50, Itajubá, 37500-183, Brasil, Tel: +55-35-36291321-Mail: [silva.electo52@gmail.com](mailto:silva.electo52@gmail.com)

## Resumen

*El propósito del estudio es realizar un análisis de ciclo de vida ambiental y energético de alternativas tecnológicas y algunas de sus variantes, comparando la situación actual en la ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina, de autobuses de motor de combustión interna frente a autobuses con motor eléctrico alimentado por celdas de combustible tipo PEM, cuyo combustible es gas hidrógeno comprimido. El ACV abarca desde la obtención de la materia prima hasta el uso de los combustibles en los buses. En el caso de la producción de hidrógeno, se analizan diferentes procesos productivos derivados de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes renovables para producción de hidrógeno son cultivos energéticos de álamo densificado de rápido corte, desechos industriales de pallets de madera y silaje de maíz.*

*El ACV es limitado a 4 grupos de impactos ambientales y considera los requisitos de la Norma Internacional ISO 14040. Consumo de combustible del autobús con un 90% de fósil de gasóleo y un 10% de biodiesel es de 44 litros de gas oil/100 km. Consumo del motor eléctrico con celda de combustible de hidrógeno tipo PEM: 9 kg H<sub>2</sub> /100 km. Indicadores de ACV seleccionados: Kg de CO<sub>2</sub>eq /100 km, agua consumida en litros /100 km, suelo utilizado en m<sup>2</sup>/100 km y energía total consumida en GJ/100 km. Se determina la huella de carbono del combustible en el mismo ACV en gCO<sub>2</sub> eq/MJ y el índice de retorno energético del mismo ACV. Se asigna a la producción de hidrógeno el 100% de las cargas ambientales y energéticas de su proceso de producción y del 0% al resto de los coproductos. Factor de emisión para la red eléctrica argentina en el punto de consumo: 0,4 kg CO<sub>2</sub>eq/KWh.*

*Se determinó por primera vez la huella de carbono del gas oil fósil de Argentina que hasta ahora no estaba disponible. Con el factor de emisión de la red eléctrica argentina y una carga energética y ambiental del 100% para la producción de hidrógeno derivado de cultivos energéticos, las emisiones de CO<sub>2</sub>eq fueron significativamente más bajas, en el orden del 70% para un autobús alimentado a hidrógeno respecto de uno que consume el 90% de gas oil y 10% de biodiesel.*

**Palabras clave:** ACV, Cultivos Energéticos, Hidrógeno Renovable, Transporte Sustentable, Movilidad Sustentable, Bioeconomía

## Introducción

### *La búsqueda de una movilidad urbana más sustentable.*

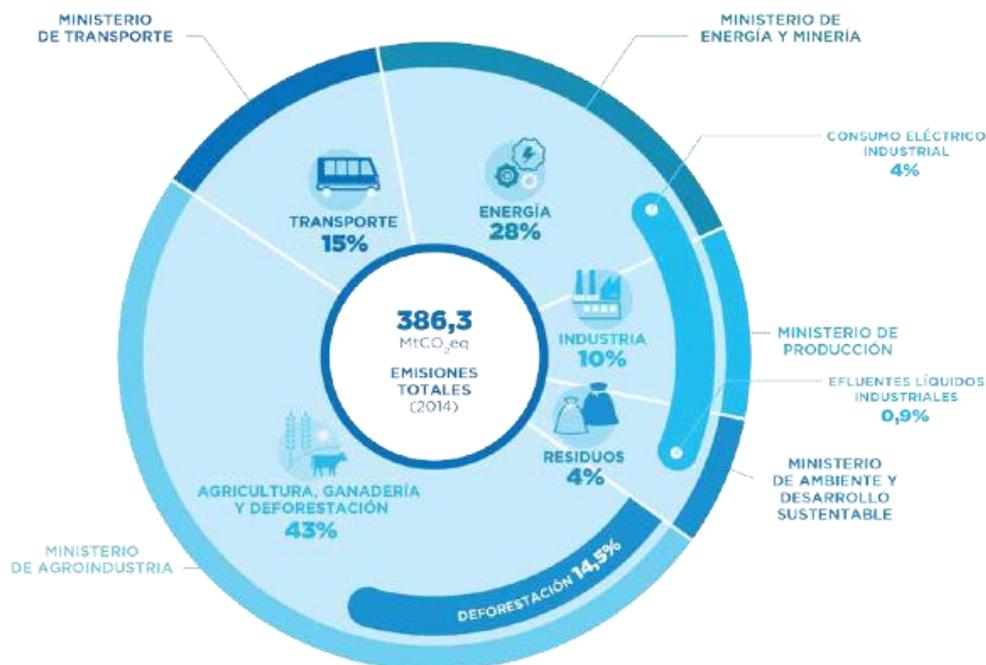
El uso de vehículos públicos de pasajeros del tipo urbano denominado localmente en Argentina como “colectivos” o más universalmente denominados “buses”, utilizan actualmente combustible gasoil fósil (90%) mezclado con un corte obligatorio de biodiesel (10%).

Los impactos ambientales directos más habituales provocados en el entorno urbano por el uso de ese tipo de combustibles fósiles son la contaminación atmosférica y sonora a nivel local, y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a escala global debido a la emisión, principalmente de dióxido de carbono, uno de

los gases emitidos por la actividad humana que provocan gran parte del denominado Calentamiento Global y su correspondiente aceleración del fenómeno de Cambio Climático.

Como puede apreciarse en la siguiente Figura 1 y según lo publicado en el año 2017 en el Reporte Anual de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Argentina con datos de 2014, las emisiones GEI de fuentes móviles vinculadas al transporte terrestre de cargas, transporte público de pasajeros y vehículos particulares, representa el 15,5% del total de emisiones GEI con 56,15 Mt CO<sub>2</sub> eq de un total de 386,3 Mt CO<sub>2</sub> eq declaradas.

*Figura 1: Inventario Anual de Emisiones por sectores y actividades industriales de Argentina*



*Fuente: Tomado del Informe Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Argentina, Año 2017.*

Una solución propuesta de camino intermedio a algunos de los problemas ambientales locales en las ciudades de Argentina y globales en otras ciudades del Mundo provocadas por el consumo de combustibles fósiles, es el reemplazo total de los combustibles fósiles por biocombustibles o la mezcla de ambos en diversas proporciones, tal es el caso del biodiesel mezclado con gas oil y el bioetanol mezclado con las naftas o gasolinas, el cual no implica cambios significativos en la tecnología de los vehículos y sus motores de combustión interna.

Si bien en el proceso de combustión o uso de los biocombustibles, no se logra una reducción significativa de las emisiones contaminantes y de los GEI propias de las salidas de un escape de los motores de combustión interna, el uso de biocombustibles genera una reducción neta cada vez más importante a lo largo del ciclo de vida de los procesos de su obtención hasta, e inclusive su consumo, dado que la fuente de generación de dichos combustibles son cultivos energéticos, en cuyo ciclo de vida de producción y uso, poseen menos nivel de emisión neta de GEI que el ciclo de vida similar de un combustible fósil (Hilbert et al).

### Otra alternativa al transporte: El hidrógeno

Existen antecedentes recientes a escala piloto en 12 ciudades europeas del uso del hidrógeno comprimido como fuente de energía limpia aplicado a buses eléctricos alimentados por celdas de combustible tipo PEM (Protonic Exchange Membrane) como es el caso del proyecto CHIC denominado Clean Hydrogen in European Cities, cuyo objetivo es lograr una movilidad urbana de “Cero Emisiones” en el proceso de transporte público de pasajeros. Las 12 ciudades elegidas se muestran en el mapa de la Figura 2 siguiente.

Figura 2: Distribución geográfica de las 12 ciudades que participan del Proyecto de Clean Hydrogen Cities.



Fuente: Tomado de *New Bus Refuelling for European Hydrogen Bus Depots*.

Con base a dicha iniciativa, se pretende analizar la viabilidad en Argentina de un proyecto similar y la sostenibilidad ambiental para la producción de hidrógeno derivado de cultivos energéticos y su consumo en buses alimentados eléctricamente por celdas de combustible versus el consumo de gas oil mezcla en buses de motor de combustión interna, para la Ciudad de Rosario.

Las preguntas en consideración que se discuten son las siguientes:

¿El cambio tecnológico propuesto para el transporte urbano puede realmente ser mejor que el sistema de transporte existente y a la vez brindar soluciones ambientales sustentables?

¿De ser así, qué condiciones y en qué marco o escenario debiera darse dicho cambio tecnológico, si se decidiera avanzar en algún momento con el mismo?

## Desarrollo

El presente estudio desarrolla un análisis de ciclo de vida (ACV) ambiental y energético de ocho alternativas tecnológicas y algunas de sus variantes, comparando la situación vigente en la Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina entre el consumo del combustible líquido gas oil mezcla con 90% fósil y 10% biodiesel utilizado en buses de motores de combustión interna versus el consumo hipotético en la misma ciudad en buses con motor eléctrico alimentado con celdas de combustible del tipo membranas de intercambio protónico o de sus siglas en inglés PEM (protonic exchange membrane), cuyo combustible es hidrógeno gas comprimido.

Los alcances de los análisis del ciclo de vida considerados abarcan desde la obtención de la materia prima hasta el consumo del combustible en buses teniendo en cuenta seis etapas:

- Etapa 1: Obtención de la materia prima
- Etapa 2: Transporte y adecuación de la materia prima
- Etapa 3: Transformación de la materia prima, obtención del combustible y adecuación del combustible para su uso en buses
- Etapa 4: Transporte del combustible
- Etapa 5: Suministro del combustible
- Etapa 6: Consumo del combustible por el bus

Las características de las ocho tecnologías a comparar y sus principales procesos industriales considerados en el ACV, se presentan en la siguiente Tabla.

*Tabla 1. Descripción general de las alternativas tecnológicas comparadas y sus procesos*

TEC	Descripción general de las tecnologías de comparación y sus procesos
T1	Buses alimentados a Gas Oil Mezcla 90% fósil y 10% biodiesel. El proceso de mezcla se realiza en el sitio de despacho de una refinería. Biodiesel derivado de aceite de soja. Gas oil fósil derivado de petróleo crudo. Despacho del gas oil mezcla desde refinería a estación de servicio.
T21	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante gasificación de biomasa sólida. Fuente de Materia Prima: Cultivo energético de rápido corte derivado de álamo densificado. El hidrógeno se comprime y licúa criogenizado en la planta. Se despacha en camiones, se regasifica y se carga a 350 bar de presión en los tanques de hidrógeno del bus.
T22	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante gasificación de biomasa sólida. Fuente de Materia Prima: residuo industrial de madera de pallets reciclado. El hidrógeno se comprime y licúa criogenizado en la planta. Se despacha en camiones, se regasifica y se carga a 350 bar de presión en los tanques de hidrógeno del bus.
T31	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de biogás y reformado de biogás para obtención de hidrógeno. El hidrógeno se comprime y licúa criogenizado en la planta. Se despacha en camiones, se regasifica y se carga a 350 bar de presión en los tanques de hidrógeno del bus.
T4A	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua en una única planta industrial. El hidrógeno se comprime y licúa criogenizado en la planta. Se despacha en camiones, se regasifica y se

	carga a 350 bar de presión en los tanques de hidrógeno del bus.
T4B	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua en la misma estación de servicio de dispensado del hidrógeno. El hidrógeno se carga comprimido en el bus a 350 bar.
T5A	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante reformado del gas natural en una única planta industrial. El hidrógeno se comprime y licúa criogenizado en la planta. Se despacha en camiones, se regasifica y se carga a 350 bar de presión en los tanques de hidrógeno del bus.
T5B	Bus alimentado a hidrógeno comprimido. Producción de hidrógeno mediante reformado de gas natural en la misma estación de servicio de dispensado del hidrógeno. El hidrógeno se carga comprimido en el bus a 350 bar.

En la siguiente Figura 3 se presenta un esquema fotográfico y conceptual de las tres fuentes de biomasa utilizada para la producción de hidrógeno de fuentes renovables de energía y su comparación con el origen del gas oil y del biodiesel.

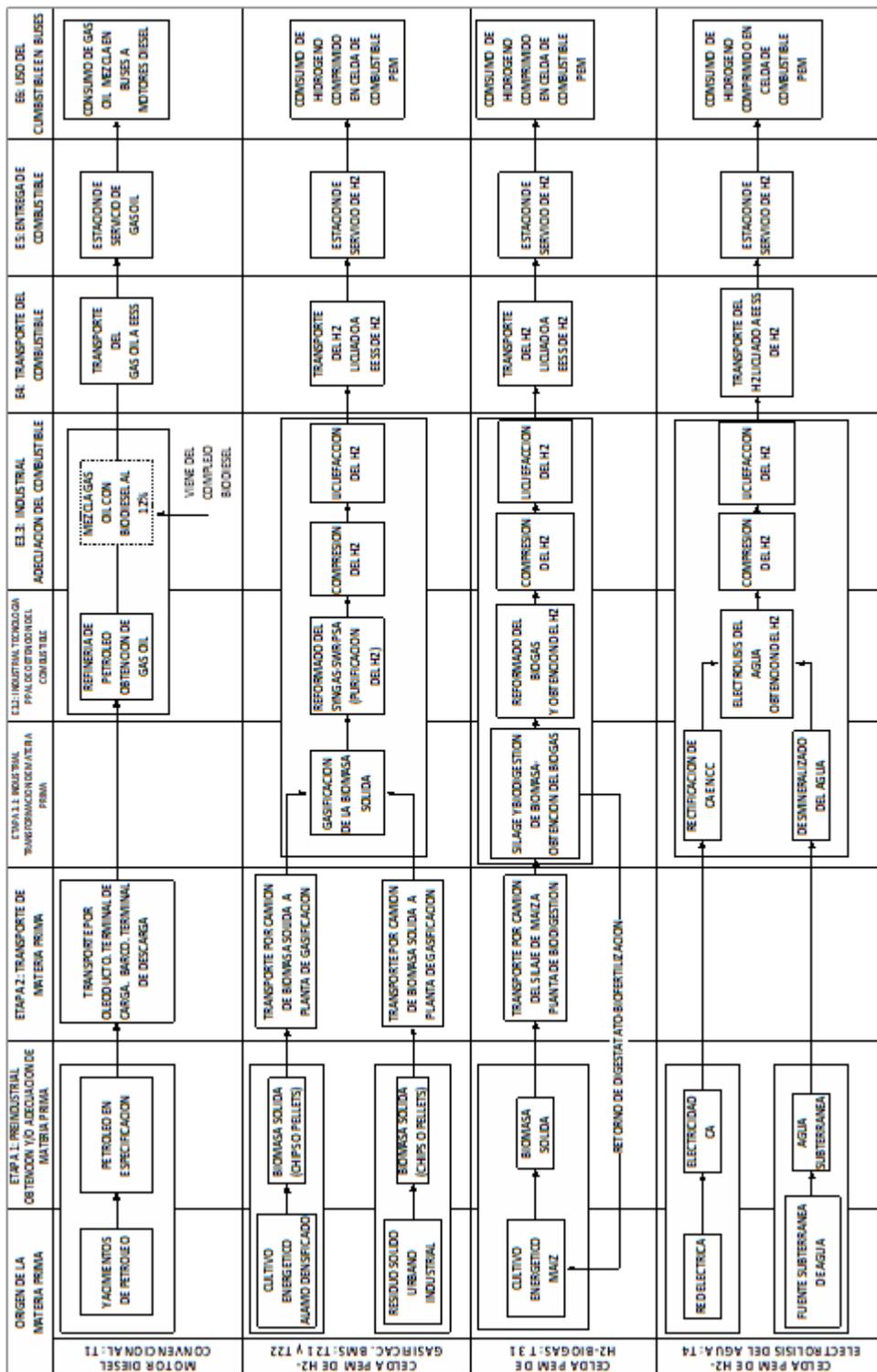
**Figura 3: Origen de biomasa utilizada para la producción de hidrógeno de fuentes renovables de energía y su comparación con el hidrógeno producido a partir del gas oil y del biodiesel.**

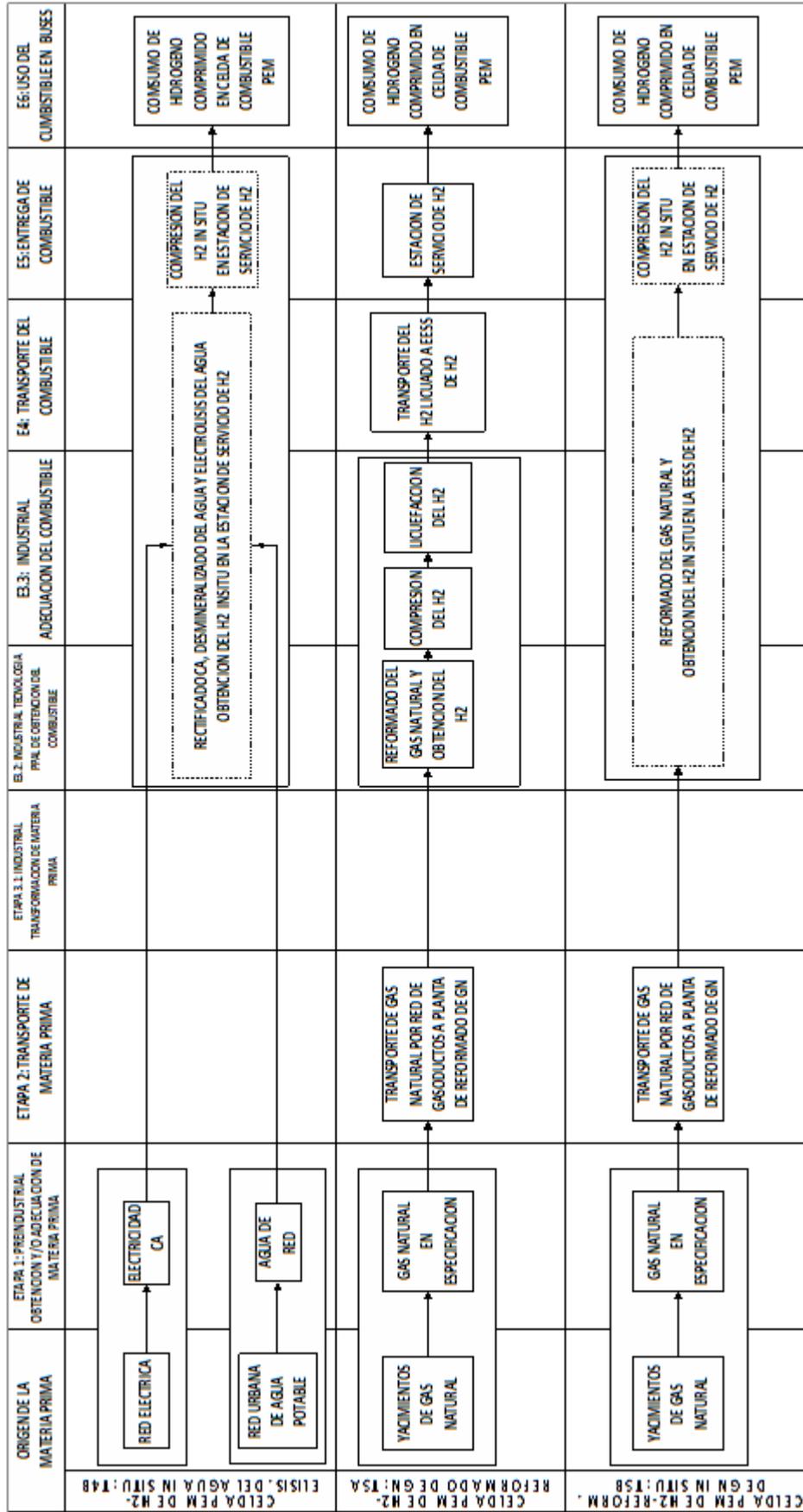
Etapa	Tecnologías	Bus a GOM MCI	Bus CC Tipo PEM a H <sub>2</sub> -Cultivos Energét.
1	Origen, obtención y adecuación de la materia prima		
2	Transporte de materia prima		
3	Obtención del combustible		
4	Transporte de combustible		
5	Suministro de combustible		
6	Consumo de combustible		

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se detalla la secuencia de las 6 Etapas de 8 Sistemas de Producción y Uso de combustibles considerados en el ACV de cada uno de ellos.

Figura 4: Etapas consideradas en el ciclo de vida de diferentes alternativas tecnológicas para la movilidad de buses.





Para la producción de hidrógeno se analizaron a su vez diversos procesos productivos derivados de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes renovables de energía fueron cultivos energéticos de álamo densificado de rápido corte, cultivo y silaje de maíz y una fuente de biomasa derivada de residuos industriales de chips de pallets de madera reciclados.

El ACV considera la metodología y los requisitos establecidos en las normas ISO 14040 e ISO 14044. Todo el proceso de análisis y cálculo de las alternativas de ACV a comparar e indicadores ambientales surgen de información de la Ciudad de Rosario basados en la demanda de combustible y los kilómetros recorridos por 742 buses a motor diésel con datos del año 2013; así como de estimaciones extrapoladas de otros estudios internacionales para la producción de hidrógeno y datos reales de visita a campo de consumo de hidrógeno obtenidos en Abril de 2018 del proyecto CHIC de la Unión Europea desarrollado por el Instituto de Innovación Tecnológica (IIT) ubicado en la Ciudad de Bolzano, Italia.

- Para el cálculo de las huellas ambientales del Gas Oil de Argentina, se utilizó información real de campo, suministrada por la empresa YPF S.A. durante consultas efectuadas en el año 2018, sobre la base de datos interna denominada APA.
- Para los ACV considerados, los principales criterios y datos de demanda fueron:
- La Unidad Funcional (UF) de comparación entre tecnologías corresponde a 100 km recorridos por los buses.
- El consumo específico de combustible para la unidad funcional del bus:
- Motor de Combustión interna alimentado con 90% Diésel oil Fósil y 10% de biodiesel: 44 litros de diésel oil/100 km. PCI 42,7 MJ/kg
- Motor eléctrico con Celda de Combustible de Hidrógeno tipo PEM: 9 kg H<sub>2</sub>/100 km. PCI 120 MJ/Kg

Se eligieron y determinaron los siguientes indicadores del ACV a partir de la unidad funcional: UF=100 kilómetros recorridos por el bus:

- Kg de CO<sub>2</sub> Equivalente GEI como una medida del Cambio Climático /100 km
- Agua consumida en Litros/100 km
- Suelo utilizado en m<sup>2</sup>/100 km
- Energía Total consumida en GJ/100 km

Se determinó también la huella de carbono del combustible en el mismo ACV como g CO<sub>2</sub> eq/MJ y g CO<sub>2</sub>/kg de combustible.

Se asignó a la producción del hidrógeno el 100% de las cargas ambientales y energéticas de su proceso de obtención, es decir factor de asignación o coeficiente de asignación igual a 1 y cero al resto de los coproductos. Es de anotar, que dependiendo de la tecnología analizada se generan coproductos industriales principales: dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno o solamente oxígeno.

Se calculó el EROI o Índice de Retorno Energético del ACV entre la energía entregada por el combustible obtenido y la energía necesaria para su obtención.

Se analizaron varios escenarios del Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina (FE REA) en el punto de consumo, consolidando resultados en el factor de emisión actual de 0,4 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh y en el hipotético de 0,1 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh.

Adicionalmente, se generaron gráficos de la huella de carbono de los combustibles utilizados y las emisiones evitadas dentro del ACV con FE REA 0,4 y 0,1 kg CO<sub>2</sub> eq/KWh. Las emisiones evitadas derivadas de fuentes de biomasa para producción de hidrógeno corresponden fundamentalmente al CO<sub>2</sub> biogénico capturado por los cultivos energéticos.

El presente estudio permitió considerar escenarios de ACV no sólo para la producción de hidrógeno derivado de biomasa o de cultivos energéticos, sino vislumbrar la potencial producción de coproductos; particularmente gases de uso industrial tales como el dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno también derivados de la biomasa. Lo anterior, abre la posibilidad de expandir el análisis de viabilidad y la frontera de la bioeconomía derivada de cultivos energéticos basados en procesos biogénicos de captura de dióxido de carbono y en consecuencia de baja emisión de gases de efecto invernadero en análisis de ACV simples o consecuenciales.

Los resultados permiten demostrar que el uso de la Metodología de Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta fundamental para la toma de decisiones sobre la viabilidad ambiental de propuestas de cambios tecnológicos, especialmente para la introducción de fuentes de energías renovables.

Se encontró que, independizados los procesos unitarios, la conveniencia ambiental y energética de producción de hidrógeno para buses derivado de biomasa depende fuertemente del escenario considerado en términos de factor de emisión de la red eléctrica, del criterio de alocaación utilizado, del coeficiente de alocaación propio de dicho criterio de alocaación y de la productividad de biomasa de los cultivos energéticos.

Asimismo, se pudo establecer que en un escenario actual del factor de red eléctrica argentina (0,4 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh) y una carga energética y ambiental o factor de alocaación del 100% para el hidrógeno, los buses cuyo combustible sería hidrógeno renovable producido en las cercanías de la Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina, cumplen con el criterio de la Directiva Europea 28/2009 de sustentabilidad mediante una significativa reducción neta de gases efecto invernadero, respecto de un combustible fósil a reemplazar igual o mayor a 70% de reducción.

Los procesos industriales de producción de hidrógeno y adecuación del mismo apto para consumo en buses representan aproximadamente el 97% de la carga energética total del ACV para procesos derivados de biomasa y 92% para el resto de los procesos (electrólisis del agua y reformado de gas natural).

## **Resultados**

### ***Resultados de Comparación de los 8 ACV analizados***

A continuación, se exponen los resultados de los indicadores ambientales y energéticos comparativos de las tecnologías consideradas en dos escenarios consolidados: Escenario 1, real, del ACV con Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina de 0,4 kg CO<sub>2</sub> eq/KWh (promedio actual años 2013 al 2017) y el Escenario 2, hipotético, con el Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina de 0,1 kg CO<sub>2</sub> eq/KWh.

Como análisis complementario se caracterizan energéticamente las Etapas de cada tecnología para producción de H<sub>2</sub>.

Escenario 1: Comparación de resultados de ACV con Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina de 0,4 kg CO<sub>2</sub> eq/kwh (Actual). 100% Carga energética y ambiental otorgada al H<sub>2</sub>.

Figura 1. Emisión Neta Kg CO<sub>2</sub>eq/100 Km recorridos

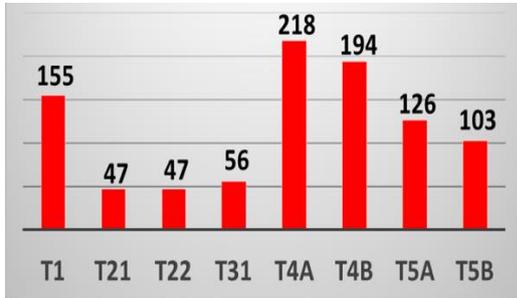


Figura 2. gCO<sub>2</sub>eq/MJ del Combustible

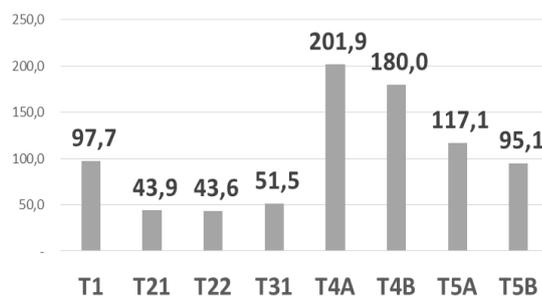


Figura 3. Emisión neta de CO<sub>2</sub>eq Totales de todo el ACV en toneladas

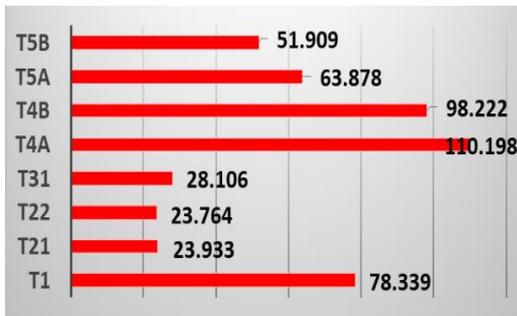


Figura 4. Emisiones de CO<sub>2</sub>eq Evitadas en todo el ACV en toneladas

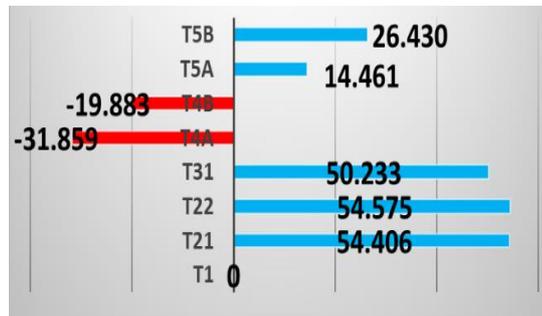


Figura 5. Agua consumida en Litros/ Km recorridos

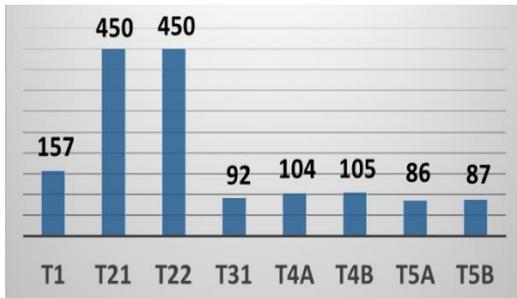


Figura 6. Suelo utilizado en m<sup>2</sup>/100 Km recorridos

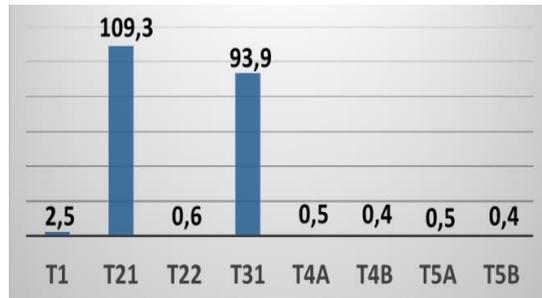


Figura 7. Energía Consumida en GJ/100Km recorridos

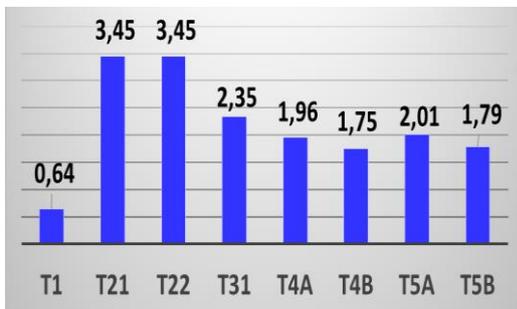
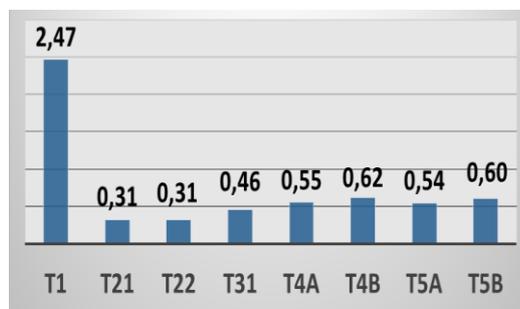


Figura 8. Índice de retorno energético EROI



Escenario 2: Comparación de resultados de ACV con Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina de 0,1 kg CO<sub>2</sub> eq/kwh (Hipotética). 100% Carga energética y ambiental asumida por el H<sub>2</sub>.

Los gráficos asociados a emisiones de gases de efecto invernadero, son los que se modifican respecto del Escenario 1. Los otros indicadores: Agua, Suelo, Energía, EROI del Escenario 2, permanecen invariables respecto del Escenario 1.

Figura 9. Emisión neta Kg CO<sub>2</sub>eq/100 Km

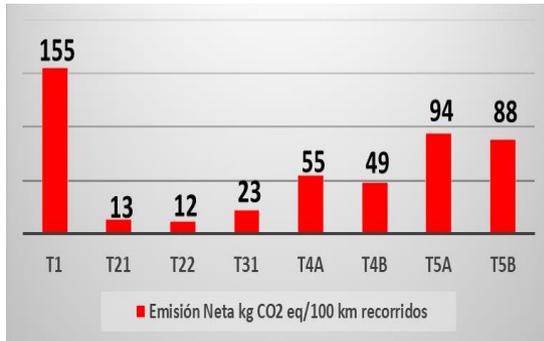


Figura 10. gCO<sub>2</sub>eq/MJ del Combustible

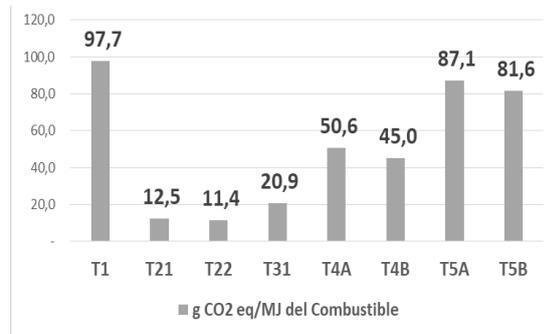


Figura 11. Emisión neta de CO<sub>2</sub>eq Totales de todo el ACV en Toneladas

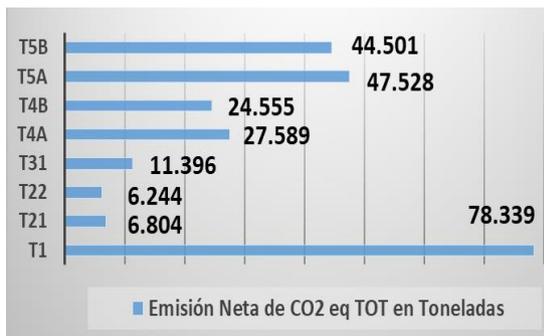
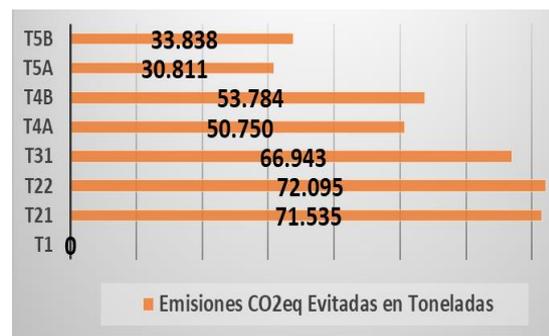


Figura 12. Emisiones Netas de CO<sub>2</sub>eq Evitadas en todo el ACV en Toneladas



### Caracterización energética por Etapas de los 7 ACV de producción de H<sub>2</sub>

Se presenta a continuación para cada tecnología de producción de hidrógeno y sus ACV analizados, las componentes de consumo energético por cada Kg de Hidrógeno; separados a su vez en términos de consumo de energía eléctrica y térmica (calor y combustible gas oil), a lo largo de las 5 etapas previas al consumo del combustible (desde la materia prima, su transformación y el suministro desde la estación de servicio):

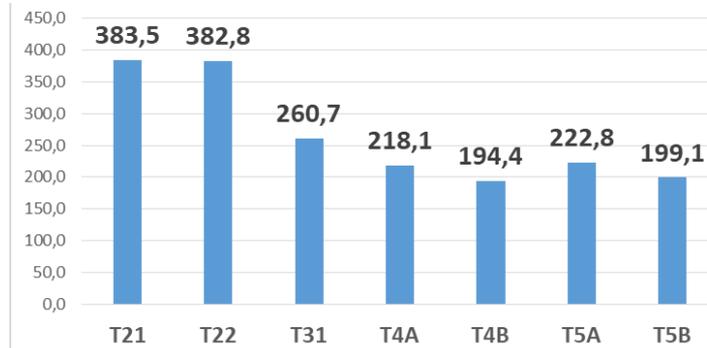
**Tabla 2 Balance Energético: Comparación de Tecnologías de producción de Hidrógeno. Energías consumidas por Kg de H2 y en porcentaje producido hasta la etapa considerada, independientemente del Escenario analizado.**

x Kg H2	T21	T22	T31	T4A	T4B	T5A	T5B
UNIDAD	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
CONSUMO ENERGETICO HASTA LAS 5 ETAPAS	383,5	382,8	260,7	218,1	194,4	222,8	199,1
CONSUMO ENERGETICO EE HASTA LAS 5 ETAPAS	45,2	46,2	44,1	218,0	194,4	43,4	19,8
CONSUMO ENERGETICO TERMICO+TTE HASTA LAS 5 ETAPAS	338,3	336,6	216,6	0,1	0,0	179,4	179,3
ETAPA 3 COMPLETA (PRODUCCION+ADECUCION DEL H2)	377,2	377,2	254,5	214,4	194,4	205,9	185,9
ETAPA 3 COMPLETA MATERIA PRIMA	335,6	335,6	214,0	0,0	0,0	166,3	166,3
ETAPA 3 COMPLETA ENERGIA ELECTRICA	41,6	41,6	40,5	214,4	194,4	39,5	19,5
ETAPA 3.1 COMPLETA	342,79	342,8	220,1	180,0	180,0	171,5	171,5
ETAPA 3.1 EE	7,2	7,2	6,1	180,0	180,0	5,1	5,1
ETAPA 3.1 MATERIA PRIMA	335,59	335,6	214,0	0,0	0,0	166,3	166,3

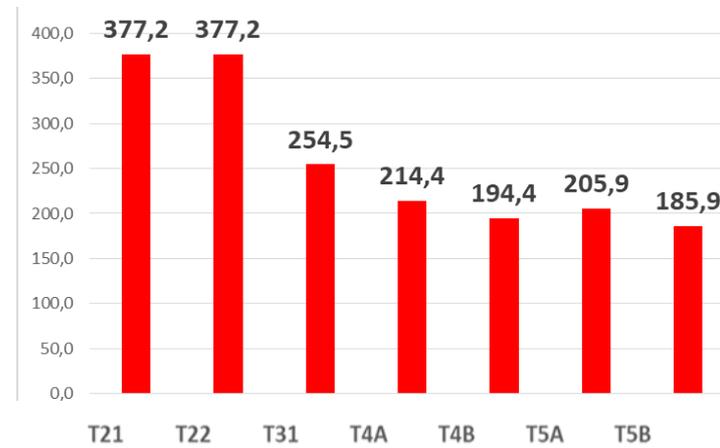
%	T21	T22	T31	T4A	T4B	T5A	T5B
CONSUMO ENERGETICO HASTA LAS 5 ETAPAS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
CONSUMO ENERGETICO EE HASTA LAS 5 ETAPAS	11,8%	12,1%	16,9%	99,9%	100,0%	19,5%	10,0%
CONSUMO ENERGETICO TERMICO+TTE HASTA LAS 5 ETAPAS	88,2%	87,9%	83,1%	0,1%	0,0%	80,5%	90,0%
ETAPA 3 COMPLETA (PRODUCCION+ADECUCION DEL H2)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
ETAPA 3 COMPLETA MATERIA PRIMA	89,0%	89,0%	84,1%	0,0%	0,0%	80,8%	89,5%
ETAPA 3 COMPLETA ENERGIA ELECTRICA	11,0%	11,0%	15,9%	100,0%	100,0%	19,2%	10,5%
ETAPA 3.1 COMPLETA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
ETAPA 3.1 EE	2,1%	2,1%	2,8%	100,0%	100,0%	3,0%	3,0%
ETAPA 3.1 MATERIA PRIMA	97,9%	97,9%	97,2%	0,0%	0,0%	97,0%	97,0%

A continuación en los Gráficos 13, 14 y 15, puede apreciarse la demanda de energía hasta la etapa considerada en cada tecnología analizada.

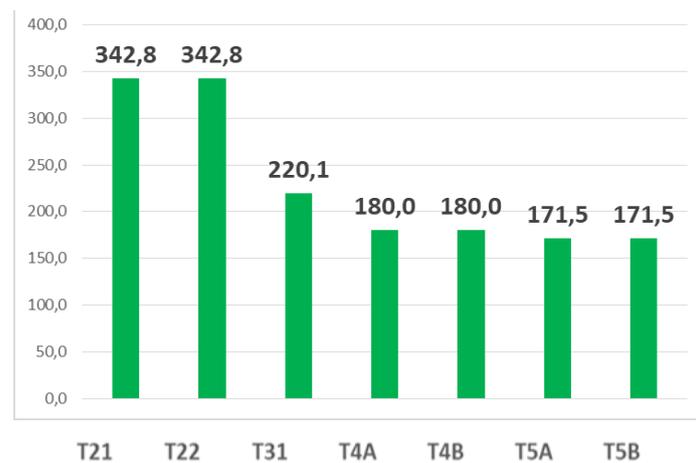
**Figura 13. Consumo Energético de las 5 Etapas del ACV para el suministro del H<sub>2</sub> en la estación de servicio. MJ/KgH<sub>2</sub>**



**Figura 14. Consumo Energético de la Etapa 3 (Producción+adecuación del H<sub>2</sub>) MJ/KgH<sub>2</sub>**



**Figura 15. Consumo Energético Etapa 3.1 Sólo Producción del H<sub>2</sub> en MJ/KgH<sub>2</sub>**



## Conclusiones y Discusión

### *Conclusiones*

- Se obtuvieron por primera vez en Argentina datos preliminares para un ACV del tipo simple o lineal (no consecucional) para la producción y uso del hidrógeno en buses, de fuentes renovables y no renovables.
- Se generó con motivo del presente estudio de ACV información de la huella de carbono preliminar de gran parte de la producción de diésel oil de Argentina, que hasta el momento no estaba disponible y del uso del hidrógeno renovable para buses.
- La conveniencia ambiental y energética de producción de hidrógeno para buses derivado de biomasa depende fuertemente del escenario considerado en términos del factor de emisión de la red eléctrica argentina y del criterio de alocaión utilizado.
- En un escenario actual del factor de red eléctrica argentina (0,4 Kg CO<sub>2</sub> eq/kwh) y una carga energética y ambiental o factor de alocaión del 100% para el hidrógeno, los buses cuyo combustible sería hidrógeno renovable producido en las cercanías de la Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina, cumplen con el criterio de la Directiva Europea 28/2009 de sustentabilidad mediante una significativa reducción neta de gases efecto invernadero, respecto de un combustible fósil a reemplazar igual o mayor a 70% de reducción.
- Los procesos industriales de producción de hidrógeno y los procesos de adecuación para el suministro y consumo, representan entre el 92% al 98% de la carga energética total del ACV según la tecnología de hidrógeno analizada; con lo cual son relevantes los resultados de la otra Unidad Funcional resultante: MJ/kgH<sub>2</sub> y gCO<sub>2</sub>eq/Kg H<sub>2</sub> del hidrógeno suministrado en el punto de consumo. En todos los casos analizados, la logística de materia prima y del transporte de hidrógeno en un radio de influencia del orden de 50 km del consumo del mismo no es tan relevante energéticamente y en términos de emisiones GEI generadas.
- Relacionado con la conclusión anterior, para el caso de los balances energéticos e independientemente del Escenario estudiado, en los ACV de todas las tecnologías analizadas para el suministro de hidrógeno apto para consumo en las estaciones de servicio, la etapa de producción de hidrógeno es la más demandante en términos energéticos: entre el 80% al 90% del total de la energía demandada de cada ACV dependiendo de la tecnología considerada y la configuración de su suministro en las estaciones de servicio.
- Para el caso de los balances energéticos e independientemente del Escenario estudiado, en todas las tecnologías analizadas de ACV para el suministro de hidrógeno apto para consumo en las estaciones de servicio, la etapa de adecuación representa entre el 9% al 11% del total de la demanda energética para su suministro.
- Entre las tecnologías renovables, la tecnología de reformado del biogás es menos demandante energéticamente que las de gasificación de la biomasa sólida en un 47%.

## *Discusión*

Se somete a discusión todas las implicancias técnicas, económicas y sociales sobre qué podría pasar si Argentina cambiara todo su parque automotor de buses, camiones y vehículos livianos basados en motores de combustión interna a motores eléctricos de celdas de combustible alimentados a hidrógeno renovable. Se hace a continuación una extrapolación con los resultados obtenidos respecto de la reducción de emisiones, la demanda de materia prima y de suelo.

Estas estimaciones están calculadas sobre la componente transporte, del total de emisiones GEI declaradas por Argentina ante Naciones Unidas en el Reporte de Emisiones del Año 2017 (el cual es referido a cálculos del año 2014).

Todo lo expuesto a continuación es para el período de un año

Total de emisiones GEI reportadas por Argentina (2014): 368 Millones de T CO<sub>2</sub> eq

Total de emisiones GEI reportadas por Argentina referidas al transporte: 55,2 Millones de T CO<sub>2</sub> eq

Estas emisiones corresponden aproximadamente a 13 Millones de vehículos para el mismo año 2014 (Incluye: Buses, vehículos livianos y camiones)

Total de emisiones GEI equivalentes evitadas por el uso de Hidrógeno renovable derivado de biomasa: 38,64 Millones de T CO<sub>2</sub> eq (70% de ahorro).

Gas Oil fósil equivalente ahorrado/evitado: 13,2 Millones de toneladas (Aproximadamente 10 años de producción de GO Fósil equivalente de toda Argentina referidos al nivel de producción de 2017).

Demanda de Hidrógeno producido por la Gasificación de Biomasa proveniente de álamo densificado de rápido corte

Estimaciones derivadas de una Red Eléctrica con FE 0,4 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh

Total de hidrógeno renovable requerido: 3,2 Millones de toneladas

Total de Biomasa Seca (BMS) requerida para la producción de hidrógeno: 58,6 Millones de Toneladas de BMS

Total de suelo necesario ocupar para la producción de hidrógeno renovable: 3,2 Millones de hectáreas. (En procesos circulares de 3 grupos anuales de 1,07 Millones de Ha)

Demanda de Hidrógeno producido mediante el Reformado de Gas Natural

Estimaciones derivadas de una Red Eléctrica con FE 0,4 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh

Total de hidrógeno (no renovable) requerido: 12,15 Millones de toneladas

Total de Gas Natural (GN) requerido para la producción de hidrógeno: 40,6 Millones de toneladas. 58 Millones de Nm<sup>3</sup> de GN

Demanda de Hidrógeno producido mediante la Electrólisis del Agua

Estimaciones derivadas de una Red Eléctrica hipotético de FE 0,1 Kg CO<sub>2</sub> eq/KWh

Total de hidrógeno renovable requerido: 3,5 Millones de toneladas

Total de Energía Eléctrica requerida para la producción de hidrógeno: 173.111 GWh

Potencia instalada aproximada: 25.000 MW. (Factor de planta: 0,8 con un total de 8760 horas anuales de operación).

## Bibliografía

Prabir Basu, Dalhousie University and Greenfield Research Incorporated-Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction. Second Edition. Practical Design and theory p (2013). Academic Press is an imprint of Elsevier 32 Jamestown Road, London NW1 7BY, UK, 525 B Street, Suite 1800, San Diego, CA 92101-4495, USA

M. Laborde y F. Rubiera. *La energía del hidrógeno*. Buenos Aires 2010, 191 páginas. ISBN 978-987-26261-0-5, CYTED

M. Laborde, E. Lombardo, F. Bellot Noronha, J. Soares Boaventura Filho, J.L. García Fierro, M.P. González Marcos. *Potencialidades del hidrógeno como vector de energía en Iberoamérica*. Buenos Aires 2010, 90 páginas. ISBN: 978-987-26261-1-2, CYTED.

*Evolución de la reducción de emisiones producida por el corte obligatorio y la exportación de biodiesel argentino*. Ing. Agr. Jorge Antonio Hilbert, Ing. Ind. Sebastián Galbusera. INTA Informes Técnicos Bioenergía Año 3 N° 6. ISSN 2250-8481. Año 2014.

Jamie Ally (2015) *Tesis for the degree of Doctor of Philosophy of Engineering Murdoch University Perth, Research Supervisor: Dr. Trevor Pryor, Murdoch, Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Hydrogen Fuel Cell, Natural Gas, and Diesel Bus Transportation Systems in Western Australia, University, Western Australia, November, 2015.*

Stella Carballo (SIG), Jonatan Manosalva (SIMAPRO), Nicole Michard (Huella hídrica), *Estudios técnicos especiales, Dirección del estudio Jorge A. Hilbert.*

Consultor Sebastian Galbusera (calculadores), Leila Schein Universidad de Lujan, Coordinación del proyecto: Victor Castro, Corina Yacobelli, Colaboración personal técnico empresas. Cargill · Juan Pablo Pane, · Juan Font, COFCO: Montenegro María Gabriela, LDC · Santiago Sanguinetti, Veronica Vicco, Corina Yacobelli, Vicentin: Carolina Zürcher. T6: Guillermo Garcia. *Calculo de la reducción de emisiones del biodiesel Argentino. Estudio realizado por INTA para CARBIO. En el presente documento se resume el análisis de la cadena productiva de biodiesel y subproductos a partir de soja por CARBIO. Equipo INTA: Equipo CARBIO: Julio 2018.*

Pamela L. Spath, Margaret K. Mann, *Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming, National Renewable Energy Laboratory, Revised February 2001 . NREL/TP-570-27637*

Ana Susmozas, Diego Iribarren, Javier Dufour 2013, *Life-cycle performance of indirect biomass gasification as a green alternative to steam methane reforming for hydrogen production. a Systems Analysis Unit, Instituto IMDEA Energía, 28935 e Mo´stoles, Spain b Department of Chemical and Energy Technology, ESCET, Rey Juan Carlos University, 28933 e Mo´stoles, Spain. International Journal of Hydrogen Energy*

*The Future of Hydrogen Economy Bright or Blick, Abril 2003. Ulf Bossel et al. www.efcf.com/reports, Fuel Cell Seminar.*

<http://www.fch.europa.eu/project/new-bus-refuelling-european-hydrogen-bus-depots>

<http://www.fuelcellbuses.eu/Proyecto de la Unión Europea para la producción de Hidrógeno a gran escala para alimentación de buses con celdas de hidrógeno>

Cerrillo, T.; Facciotto, G.; Bergante, S. 2008. *Biomass production of different willow's combinations - preliminary results. In: Proceedings of the '16° Eu ropean Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets'. Valencia, Spain 2-6 June 2008. 567-569*

FAO-ONU Comisión del Alamo. *Manual del Alamo y el Sauce. http://www.fao.org/forestry*

*Komlenovic, N; Krstinic, A; Kajba, D and I. Bach. 1996. Selection of arborescent willow clones suitable for biomass production in Croatia- Environmental and social issues in poplar and willow cultivation and utilization. Proceedings - International Poplar Commission, Sess.20. Budapest (Hungary), 1-4 Oct 1996.*

*Producción de biomasa de diferentes combinaciones de especies de sauces. Primeras evaluaciones en Italia y en Argentina aplicables a Cultivos de Corta Rotación (CCR). Gianni Facciotto<sup>1</sup>, Teresa Cerrillo<sup>2</sup>, Lorenzo Vietto<sup>1</sup>, Sara Bergante<sup>1</sup>, Laura Rosso<sup>1</sup> 1 Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose Fuori Foresta, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (Research Unit for Intensive Wood Production) C.R.A. – PLF. St. Frassineto Po 35 – 15033 Casale Monferrato (AL) – Italia E-mail gianni.facciotto@entecra.it; lorenzo.vietto@entecra.it; plf@entecra.it 2 EEA Delta del Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Paraná de las Palmas y Canal Laurentino Comas, Campana, Buenos Aires, Argentina. E-mail: tcerrillo@correo.inta.gov.ar*

*Smart, L; T.A. Volk, T; Lin, J; Kopp, R.F.; I.S. Phillips, I.S.; Cameron,L.; White E.H. and L.P. Abrahamson. 2005. Genetic improvement of shrub willow (Salix spp.) crops for bioenergy, bioproducts, and environmental applications. Unasylva. 56:51-55.*

*Short Rotation Crops, <http://www.shortrotationcrops.org/>*

*Sistema APA de Colección de datos de insumos, materia prima, energía y productos y coproductos. YPF S.A. Oficinas Centrales de CABA. Abril 2017 a Abril de 2018.*

# Evaluación Ambiental Preliminar de la Agroindustria del Limón con Generación de Biogás

María Emilia Iñigo Martínez<sup>1,2</sup>

Patricia Garolera De Nucci<sup>2</sup>

Walter Daniel Machado<sup>2</sup>

Alejandro Pablo Arena<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET, Argentina.

<sup>2</sup> Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán, Argentina

minigo@eeaoc.org.ar (+54) 3815180743

pgarolera@eeaoc.org.ar

daniel.machado@eeaoc.org.ar

<sup>3</sup> Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Argentina

aparena@gmail.com

## Resumen

*El consumo actual de energía a partir de combustibles fósiles y el consiguiente aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) previstas para los próximos años, acrecientan las preocupaciones referidas al calentamiento global, causado en gran parte por los países en desarrollo que no pueden prescindir de un mayor consumo de energía. En este contexto, el biogás se ha convertido en una estrategia importante como fuente de energía renovable, debido a que involucra tratamiento de residuos y recuperación de energía. En la provincia de Tucumán, la industrialización del limón para la obtención de productos como: jugos concentrados, cáscara deshidratada y aceites esenciales, genera diferentes tipos de residuos y efluentes, a partir de los cuales se puede realizar una separación, tratamiento y posterior aprovechamiento energético mediante la digestión anaeróbica y la producción de biogás.*

*El objetivo de este estudio, fue realizar una evaluación ambiental de la industrialización del limón con sistemas de generación de biogás a partir de residuos cítricos, en la provincia de Tucumán, como etapa preliminar para el estudio integral del gas combustible.*

*La evaluación ambiental se realizó aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) del sistema, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14040. Los datos utilizados fueron aportados por una citrícola de Tucumán, por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), publicaciones específicas y bases de datos internacionales (Ecoinvent v3) para la confección preliminar de un inventario de ciclo de vida. Como unidad funcional se tomó 1 t de jugo concentrado, siendo el producto final más abundante y un enfoque “de la cuna a la puerta”. Se trabajó con la herramienta informática, SimaPro® v8.5.0.0., utilizando como método de evaluación de impacto el modelo ReCiPe Midpoint V1.12.*

*Se obtuvo como resultado el perfil ambiental de la producción de jugo concentrado de limón. La producción de jugo participa en las categorías de calentamiento global y consumo de agua, mientras que la producción de limones impacta en todas las categorías, debido principalmente a la producción y aplicación de agroquímicos y al uso de combustibles fósiles, en las fincas.*

*Se prevé mejorar el inventario de datos y analizar el sistema considerando diferentes criterios de asignación. Además, evaluar la producción de biogás como potencial mitigador de impactos en la industria citrícola, realizando una comparación ambiental, basada en el ACV, con un sistema agroindustrial sin generación de biogás.*

**Palabras Clave:** análisis de ciclo de vida, residuos cítricos, biogás.

## Introducción

Alrededor del 85% del consumo actual de energía se basa en combustibles fósiles, aumentando significativamente, los niveles de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>. Además, en vista de que los países en desarrollo no pueden prescindir de un mayor consumo de energía y que el crecimiento de la demanda energética mundial debería crecer alrededor del 36% entre 2008 y 2035, se acrecientan las preocupaciones por la problemática del calentamiento global. (Valenti et al, 2017)

Uno de los principales contribuyentes al uso de energía es el sector alimentario que suele representar el 20% del consumo total en los países desarrollados. En este sentido, la intensificación de las prácticas agrícolas aumenta sustancialmente el consumo de agua y fertilizantes, siendo la producción de estos últimos los que contribuyen significativamente al calentamiento global, esencialmente a partir de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y emisiones de N<sub>2</sub>O. Además, impactan a través del agotamiento de los recursos, la degradación de la tierra, las emisiones al aire y la generación de desechos (Beccali et al, 2009)

La toma de conciencia sobre la importancia de una producción y consumo más sostenibles ha impulsado el desarrollo de estándares voluntarios de sostenibilidad, como lo es la huella ambiental que pretenden ayudar a los consumidores a identificar productos fabricados de manera sostenible y guiar a los productores en la elección de prácticas sostenibles.

### ***Sector Citricultura en Argentina***

Actualmente, el sector de los cítricos se caracteriza por una creciente demanda mundial y un aumento progresivo en el número de países productores.

La agroindustria citrícola, en especial la producción de limón, fue seleccionada entre los cinco principales agroexportadores de Argentina, definiéndose entre los criterios de selección, la pertenencia a una economía regional, con generación de mano de obra, incorporación de valor agregado e insumo integrante de otras cadenas de suministro.

En el año 2016 se produjeron 92098000 T de frutas cítricas frescas a nivel mundial, el 3,56% corresponde a la producción en Argentina, que se encuentra en el octavo puesto de los principales países productores de cítricos luego de China, Brasil, Estados Unidos, Méjico, España, Egipto y Turquía. En Argentina la producción de limón fue de 1.676.000 toneladas, que representan el 19% del total a nivel mundial. Mientras que las 280.000 T de limones exportados por nuestro país en dicho año, alcanzan el 11,69% de las exportaciones mundiales, consagrándose como el primer exportador de limón, seguido de España y Estados Unidos. (FEDERCITRUS, 2018).

La industrialización de cítricos en Argentina, ha concentrado la mayor producción de productos derivados del limón, siendo el principal país exportador de productos y subproductos del mismo. En el período 2016/2017 se industrializaron 1.279.000 T de cítricos en Argentina, su participación en el mercado mundial fue del 56,18% y en el hemisferio sur 90,63%. (FEDERCITRUS, 2018).

Más del 70% de la producción de cítricos de la Argentina se destina a la industria, para la elaboración de derivados como jugo concentrado, cáscara deshidratada y aceite esencial.

El proceso de industrialización del limón consta de tres etapas principales:

- Extracción de aceite de fruta fresca
- Extracción de jugo de fruta fresca
- Lavado y secado de cáscara

### ***Generación de residuos***

Los residuos generados de la industrialización del limón son de diversa naturaleza, la mayoría de ellos de tipo orgánico. De los cuales, aquellos que se generan en mayor cantidad son los formados por tejidos y

constituyentes originales del limón, arrastrados por las aguas del procesamiento industrial. (Machado et al, 2012). Estos desechos incluyen efluentes sólidos, líquidos y de destilería, cuya eliminación directa sin un previo procesamiento adecuado, causa problemas ambientales. Por lo tanto, es importante tratarlos de manera sistemática en las industrias alimentarias y otras áreas. (Sharma et al, 2016)

Los residuos de fruta son un grupo muy heterogéneo, que requieren diferentes métodos de extracción y maquinaria para satisfacer estándares de calidad, bajo ciertas condiciones que se han convertido en restricciones del sistema. Sin embargo, la revalorización de estos residuos, implican nuevas oportunidades de negocio y líneas de producción. (Ramírez Hernández et al, 2010)

Entre los métodos más comunes de gestión de residuos cítricos se encuentran el compostaje, la digestión anaerobia, la incineración, la termólisis y la gasificación (Sharma et al, 2016)

La alternativa para el tratamiento de los residuos semisólidos de biodigestión anaeróbica, mediante la acción de microorganismos, es uno de los procesos actualmente aplicado a escala industrial en empresas citrícolas de Tucumán.

Por otro lado, entre las fuentes de energía renovables, la producción de biogás a partir de biomasa por digestión anaeróbica se ha desarrollado significativamente en los últimos veinte años y ha captado una gran atención debido a sus capacidades de tratamiento de residuos y recuperación de energía. (Valenti et al, 2018)

Entre los años 2005 y 2018 las investigaciones en fruticultura han estado en constante crecimiento, muchas de ellas se han referido a la aplicación del ACV en la producción de cítricos y derivados (Beccali et al., 2009; De Luca et al., 2014; Ribal et al., 2016). A su vez, se desarrollaron también estudios sobre la aplicación del ACV a la producción de biogás a partir de sustratos de residuos citrícolas (Capelli et al, 2015; Cerutto et al, 2016; Comparetti et al, 2017)

El objetivo de este estudio, fue realizar una evaluación ambiental de la industrialización del limón con sistemas de generación de biogás a partir de residuos cítricos, para una citrícola de Tucumán, como una etapa preliminar para el estudio integral del gas combustible.

## **Materiales y métodos**

La evaluación ambiental se realizó aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) del sistema, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14040 (ISO 14040 2006; ISO 14044 2006).

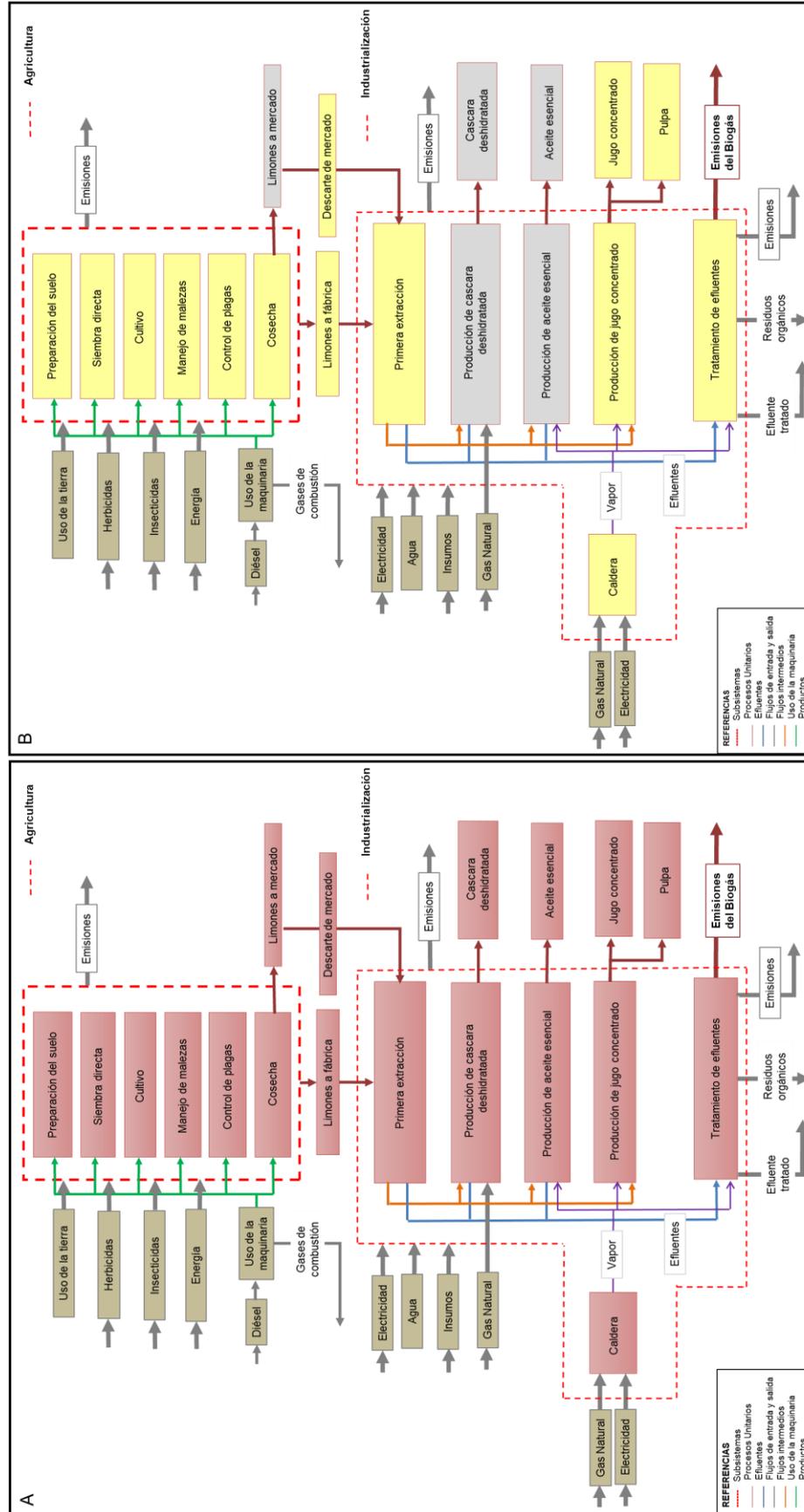
El principal objetivo fue obtener el perfil ambiental de la agroindustria citrícola, en particular de la producción de jugo concentrado de limón, con producción de biogás a partir de residuos cítricos, como potencial mitigador de impactos.

El sistema estudiado consta de dos sectores principales (Fig. 1):

- **Agricultura:** Se consideró una finca productora de limones perteneciente al sur de la provincia de Tucumán, teniendo en cuenta un plan de manejo de agroquímicos para plantas mayores a diez años, sin riego. Las labores comprendidas fueron preparación del suelo, siembra directa, cultivo, manejo de malezas, control de plagas y cosecha. Además, se considera producción y transporte de agroquímicos y transporte de limones a la fábrica.
- **Industrialización:** En la fábrica, Se tuvieron en cuenta las diferentes etapas de producción: Primera extracción, en donde la fruta es seleccionada y lavada para luego pasar por máquinas extractoras en donde se obtiene el jugo crudo, emulsión de aceite y cascara. Seguidamente,

estos productos pasan por las líneas de procesamiento de aceite esencial, procesamiento de cascara y procesamiento de jugo, para la obtención de los productos finales (cascara deshidratada, jugo concentrado, pulpa y aceite esencial). Estas líneas operativas además incluyen, los procesos externos de generación de vapor y tratamiento de efluentes, lo que determina 6 subsistemas dentro del sector. En este trabajo solo se analizó la producción de jugo concentrado, teniendo en cuenta los procesos que involucra, debido a un interés de la empresa en donde se realizó el estudio.

Figura 1. A) Producción de limón y líneas de producción de derivados. B) Línea de producción de jugo concentrado (en amarillo).



### ***Unidad funcional***

Se definieron como unidad funcional 1 t de cada producto final de los sectores analizados:

- Agricultura: 1 t de “limones a fábrica” y 1 t de “limones a mercado”.
- Industrialización (Producción de jugo concentrado): 1t de jugo concentrado y 1t de pulpa.

### ***Límites del sistema***

Se tuvo en cuenta un enfoque de la “cuna a la puerta”, con datos representativos de las últimas tres campañas de cosechas anuales.

### ***Datos recolectados***

La información necesaria para llevar a cabo este trabajo se encuentra dispersa o, en muchos casos, es inexistente, por lo que algunos cálculos debieron realizarse a partir de supuestos y estimaciones.

Los datos utilizados fueron aportados por una empresa citrícola de Tucumán, por la EEAO, publicaciones específicas y bases de datos internacionales (Ecoinvent v3) para la confección preliminar de un inventario de ciclo de vida.

Se trabajó con la herramienta informática de soporte, SimaPro® v9.0.0., utilizando como método de evaluación de impacto el modelo ReCiPe Midpoint V1.12.

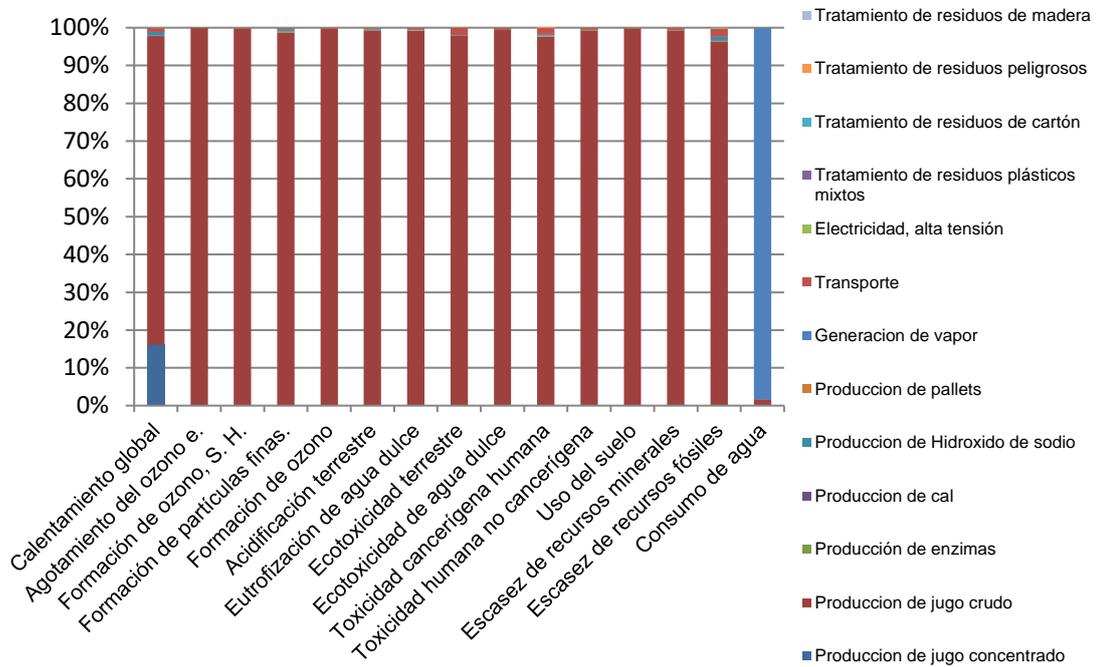
### ***Asignación***

El sistema bajo estudio diferentes salidas funcionales, por lo cual es necesario realizar un proceso de asignación de la carga ambiental. En este caso se consideró un criterio de asignación másico, para la producción de jugo concentrado y los procesos involucrados.

## **Resultados**

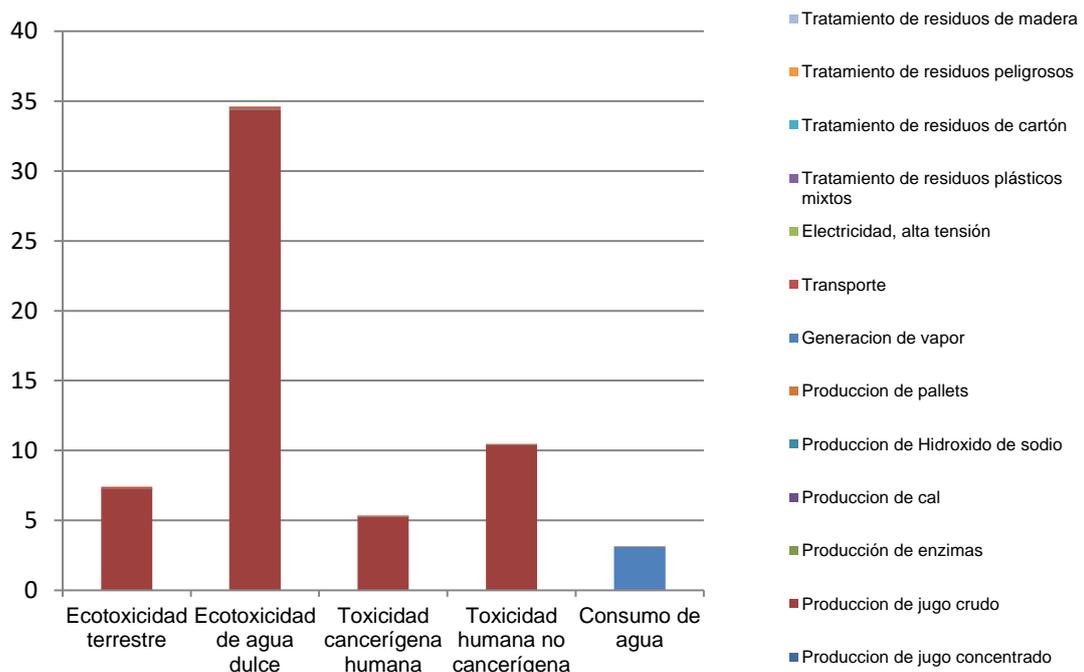
Se obtiene como resultado el perfil ambiental de 1 t de jugo concentrado de limón en Tucumán (Fig. 2), en diferentes categorías de impacto. En todas las categorías existe una contribución de la producción de jugo crudo, inherente al sector agricultura, en donde participan la producción y aplicación de agroquímicos y el uso de combustibles fósiles, en la finca. Además, se observa el aporte de la producción de jugo concentrado en la categoría de calentamiento global y de la generación de vapor en consumo de agua.

Figura 2. Perfil ambiental de la producción de jugo concentrado, etapa de caracterización. Asignación másica



Por otro lado, se advierte la importancia de la contribución en el impacto de la categoría de Ecotoxicidad de agua dulce (Fig. 3) frente al resto, en la etapa de normalización.

Figura 3. Perfil ambiental del jugo concentrado, etapa de normalización. Asignación másica.



## Conclusiones

En conclusión, se obtiene el perfil ambiental de la producción de jugo concentrado para una empresa citrícola de Tucumán, con un enfoque de ciclo de vida, en donde se observa que la producción y aplicación de agroquímicos y el uso de combustibles fósiles, en el manejo de la finca son algunos aspectos a tener en cuenta para crear un manejo más sostenible.

A partir de los resultados obtenidos, se prevé mejorar el inventario de datos y evaluar todos los productos del sector de industrialización, combinando criterios de asignación másico y económico. Además, evaluar la producción de biogás como potencial mitigador de impactos, dentro de la industria citrícola, mediante la comparación ambiental con un sistema base sin generación de biogás.

## Bibliografía

BECCALI, M.; CELLURA, M.; LUDICELLO, M.; MISTRETTA, M. *Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. Journal of Environmental Management*, 2010. Vol. 91. (pp. 1415-1428).

CAPELLI, A.; GIGLI, E.; ROMAGNOLI, F.; SIMONI, S.; BLUMBERGA, D.; PALERNO, M.; GUERRIERO, E. *Co-digestion of macroalgae for biogas production: an LCA-based environmental evaluation. Energy Procedia*, 2015. Vol. 72, (pp. 3-10)

CERRUTO, E.; SELVAGGI, R.; PAPA, R. *Potential biogas production from by-products of citrus industry in Sicily. Quality – Access to Success*, 2016. Vol 17, (pp. 251-)

COMPARETTI, A.; FEBO, P.; GRECO, C.; MAMMANO, M.M.; ORLANDO S. *Sicilian potential biogas production from Citrus industry by-product. En actas de 11th International AIIA Conference: July 5-8, 2016 Bari – Italy “Biosystems Engineering addressing the human challenges of the 21st century”, 2017.*

DE LUCA A.I., G. FALCONE, T. STILLITANO, A. STRANO, AND G. GULISANO. *‘Sustainability assessment of quality-oriented citrus growing systems in Mediterranean area’, Quality – Access to Success*, 2014. Vol. 15(141), (pp. 103-108).

FEDERCITRUS (2018) *La Actividad Citrícola Argentina Mayo 2018. [En línea] Disponible en: <http://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2018/05/Actividad-Citricola-2018.pdf>* (Consultado 2 Julio 2019)

ISO 14040 (2006a). *Environmental management - Life cycle assessment: principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.*

ISO 14044 (2006b) *Environmental management - Life cycle assessment: requirements and guidelines. International Organization for Standardizations, Geneva, Switzerland.*

MACHADO, W. D.; VERA VAN GELDEREN, E. M.; ALONSO, M. A.; URUEÑA, M. R. *Biodigestión anaeróbica a escala piloto industrial de residuos semisólidos generados en la industrialización del limón. En Actas de VII Congreso de Medio Ambiente /AUGM, 2012. La Plata, Argentina.*

RAMÍREZ HERNÁNDEZ, V; SUÁREZ MORENO, O. E.; *Revalorización de residuos en la cadena de valor de las industrias frutícolas en Manizales. Vector*, 2016. ISSN 1909 – 7891. Vol. 5, (pp. 93-102).

RIBAL, J., SANJUAN, N., CLEMENTE, G., LORETO FENOLLOSA, M. *Medición de la ecoeficiencia en procesos productivos en el sector agrario. Caso de estudio sobre producción de cítricos. Economía Agraria y Recursos Naturales*, 2009. ISSN: 1578-0732. Vol. 9, 1, (pp. 125-148).

SHARMA, K., MAHATO, N., HWAN CHO, M., ROK LEE, Y. *Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. Nutrition, 2017. Vol 34, (pp. 29-46).*

VALENTI, F.; PORTOA, S.; CHINNICI, G.; SELVAGGI, R.; CASCONI, G.; ARCIDIACONO, C.; PECORINO, B. *Use of citrus pulp for biogas production: A GIS analysis of citrus-growing areas and processing industries in South Italy. Land Use Policy, 2016. Vol. 66, (pp. 151-161).*

VALENTI, F.; ZHONG, Y.; SUN, M.; PORTO, S.; TOSCANO, A.; DALE, B.; SIBILLA, F.; LIAO, W. *Anaerobic co-digestion of multiple agricultural residues to enhance biogas production in southern Italy. Waste Management, 2018. Vol 78,*

# Huella Hídrica de Cítricos. Impacto Sobre la Disponibilidad de Agua en la Etapa de Producción Primaria de Naranjas (*Citrus Sinensis*) en la Provincia de Entre Ríos, Argentina

Verónica Lourdes Gutiérrez

Ing. en Recursos Naturales Renovables  
Email: verolourdes14@hotmail.com  
Cel: 261 5441561

## Resumen

*En los últimos años se ha intensificado el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para conseguir mayor productividad en los cultivos, se han tenido como consecuencia algunos aspectos nocivos sobre el entorno, en especial sobre el recurso hídrico, ya sea por su agotamiento o por la calidad final una vez que ha sido usado. En este contexto, en el trabajo de investigación, se evaluó la disponibilidad de agua utilizando la herramienta metodológica de la huella hídrica, definida por Hoekstra en 2002, que permitió cuantificar los volúmenes de agua verde y azul, involucrados en la producción primaria de naranjas dulces (*Citrus sinensis*) para la variedad Valencia en la Provincia de Entre Ríos. Se estableció como objetivo contribuir a la generación de conocimiento soporte para la toma de decisiones sustentables en el uso de agua y la gestión del recurso hídrico, para ello se consideraron dos escenarios: en secano y regadío, para el cultivo de naranjas, en el periodo de un año comprendido entre la fecha de inicio del ciclo y cosecha. Los resultados obtenidos fueron: para huella hídrica verde promedio sin riego de 422 m<sup>3</sup>/t, huellas hídricas promedios verde y azul con riego de 193 m<sup>3</sup>/t y de 18 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. Los valores del indicador de sustentabilidad ambiental de la huella hídrica verde y azul, no superaron el valor de 1 demostrando que es sustentable la producción de naranjas en esa región. Esto pone de manifiesto, desde el aspecto ambiental, que la incorporación de riego al cultivo reduce la huella hídrica total por un incremento en los rendimientos del cultivo. Esto conlleva a una disminución del agua virtual asociada a la producción de las naranjas, siendo necesario emplear sistemas de riego que optimicen el uso del recurso agua a campo. También permite contribuir a establecer políticas ambientales, de certificación como el ecoetiquetado y poder concientizar a los productores y consumidores sobre la importancia de ser responsables con el uso y consumo del recurso hídrico.*

## 1. Introducción

Desde el comienzo de la agricultura -hace más de 12.000 años- como una práctica sistemática para la provisión de alimentos a las poblaciones establecidas en distintos rincones del planeta se ha intensificado el uso y aprovechamiento de recursos naturales para conseguir mayor productividad en los cultivos. Fue en el siglo pasado que la sustitución de abonos naturales por fertilizantes sintéticos, la modificación genética de los organismos y el reemplazo de la mano de obra especializada por maquinaria agrícola tuvo lugar, permitiendo alcanzar niveles de producción mucho más elevado que en tiempos anteriores.

Sin embargo, estos avances tan significativos en el plano productivo, han tenido como consecuencia algunos aspectos nocivos sobre el entorno, especialmente sobre el recurso suelo y los recursos hídricos, ya sea por su agotamiento o por la calidad final una vez que se ha usado. En décadas recientes, los gobiernos, productores y otros tomadores de decisión de los países productores, pero también de los países compradores de productos agrícolas, se han hecho eco de esta situación y han apostado por conseguir mantener los niveles de producción que aseguren la provisión de alimentos a la población mundial, pero de manera sustentable y respetuosa con el medio en donde se producen. El uso del agua, se ha vuelto prioridad en todas las decisiones que se tomen en torno a la producción agrícola mundial (FAO, 2003).

Teniendo en cuenta este último aspecto, la agricultura y la ganadería conforman el sector que mayor volumen de agua involucra en el desarrollo de sus actividades, en todas las escalas geográficas y de producción. En términos generales, más del 84% de los recursos hídricos globales, están destinados a suplir las necesidades del sector agropecuario. Esta situación se verifica también en la escala regional y nacional (FAO, 2003).

Por lo expuesto, se evidencia la imperiosa necesidad de contar con información sobre el uso de los recursos hídricos asociados a la producción de los diversos cultivos en las diferentes regiones del planeta, y con herramientas metodológicas que permitan cuantificar los volúmenes de agua involucrados en tal producción, pero también sobre los impactos en el entorno ambiental, social y económico que ese uso y consumo tiene aparejado.

Argentina tiene un enorme potencial agrícola y grandes ventajas naturales para la producción de muchos productos agrícolas. En 2004 el sector aportó un 58% de las exportaciones totales de bienes, de las cuales el 39% corresponden a productos primarios y 61% a manufacturas de origen agrícolas. La agricultura generó el 9% del Producto Bruto Interno y el 22% del valor agregado del sector de bienes. Los cultivos representaron el aporte más grande con 63% del total y seguidos de la ganadería con 31% (Banco Mundial, 2006). El cultivo de cítricos, entre ellos el cultivo de naranjas, requiere de ciertas condiciones climáticas, de suelo y de agua que se conjugan de manera óptima en la región central y centro este de nuestro país. Entre Ríos es la provincia de mayor producción en naranjas y mandarinas del país y en la región. A nivel internacional, Argentina ocupa el octavo lugar como productor mundial de estas frutas (Federcitrus, 2015).

Esta investigación aborda el uso y consumo de agua evaluándose dos condiciones en secano y regadío para la producción de naranjas, siendo uno de los cultivos representativos del sector agrícola nacional, se presenta la aplicación de una metodología de cuantificación del uso de recursos hídricos que podría ser de gran ayuda a la hora de la toma de decisiones en el manejo de los cultivos y los recursos naturales.

### ***Estado de conocimiento actualizado del tema***

Si bien no se han encontrado antecedentes publicados sobre estudios de huella hídrica en producción primaria de cítricos en Argentina, existen algunos datos sobre la aplicación de este indicador de uso de agua en otros cultivos regionales, como vid (*Vitis vinifera*) (Civit y col. 2012), (Morabito, 2012), soja (*Glycine max*) (Piastrellini y col. 2014, Piastrellini y col, 2015), colza (*Brassica napus*) (Civit y col, 2011) y maíz (*Zea mays*) (Morabito, 2015), entre otros. Por otra parte, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Silvicultura de la Nación, en el marco del Programa “Agricultura Inteligente. Huella de Carbono y Huella Hídrica” (AIHCHI) ha sentado las bases para el estudio de la huella hídrica de los productos argentinos agroexportables emblemáticos, entre los que se encuentran los cítricos (limones y naranjas). Asimismo, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en el marco de su programa sobre Agroeconomía de los productos regionales, también ha iniciado una línea de investigación relacionada con el uso sustentable del agua, tendiente a estudiar el indicador de huella hídrica en la producción nacional. Estos trabajos previos, constituyen el bagaje de conocimiento sobre la temática abordada en el plano nacional y regional, que serán la referencia y punto de partida para la realización de este trabajo de tesis de grado. El número de aplicaciones del concepto de huella hídrica está aumentando rápidamente, la mayoría de los estudios han sido publicados a partir de 2007 y se han llevado a cabo hasta el momento: estudios globales, nacionales, y regionales, de

cuenca fluvial, estudios generales del producto y de las compañías. Pocos estudios abordan todas las fases de evaluación de la huella hídrica, la mayoría tienen un fuerte enfoque sobre la contabilidad de la huella hídrica.

### ***Hipótesis***

La hipótesis que motoriza este trabajo de investigación se fundamenta en los posibles efectos nocivos sobre la producción nacional de cítricos que puedan derivarse del cambio climático global, entre ellos se encuentra la disponibilidad de agua y la calidad de la misma, y se enuncia como “La determinación de la huella hídrica verde y azul asociada a la producción de naranjas en Argentina, permite tomar decisiones respecto de la asignación sustentable del recurso hídrico y poder recomendar posibles estrategias de manejo”. Con la finalidad de demostrar la hipótesis enunciada se proponen los siguientes objetivos.

### ***Objetivo General***

Contribuir a la generación de conocimiento soporte para la toma de decisiones sustentables en el uso del agua y la gestión del recurso hídrico asociado a la producción de naranjas en secano y regadío, mediante la determinación de la huella hídrica verde y azul. Para ello se considera como caso de estudio la producción primaria de naranjas en Entre Ríos, Argentina.

### ***Objetivos particulares***

- Caracterizar el cultivo en estudio y la región de producción.
- Determinar el agua verde y azul durante la etapa del cultivo de naranjas.
- Identificar los impactos ambientales derivados del uso del agua en la región de estudio por la producción de naranjas: huella hídrica verde y azul.
- Establecer recomendaciones para el uso sustentable del agua en el sector citrícola.

### ***Materiales y Métodos***

Esta investigación se enmarca en la metodología de la Huella Hídrica, definida por Hoekstra en 2002, y desde ese momento hasta esta parte, desarrollada y actualizada constantemente por los investigadores y profesionales que conforman la Water Footprint Network (<http://waterfootprint.org/en/>).

La huella hídrica de un producto es un indicador empírico de la cantidad de agua consumida y contaminada, cuándo y dónde, medida a lo largo de toda la cadena de suministro del producto. Es un indicador multidimensional, mostrando volúmenes, también hace explícito el tipo de uso del agua (uso consuntivo de agua de lluvia, aguas superficiales o subterráneas, o la contaminación del agua), la ubicación y el tiempo de uso del agua. La huella hídrica muestra apropiación humana de los recursos limitados de agua dulce, por lo tanto, proporciona una base para la discusión de la asignación del agua y cuestiones que se relacionan con el uso sustentable, equitativo y eficiente del agua. Además, constituye una base para evaluar los impactos de los productos, servicios de las cuencas hidrográficas y la formulación de estrategias para reducir esos impactos.

Este concepto establece una diferenciación de los recursos hídricos consumidos según sea su origen y objetivo:

- Huella hídrica verde: relacionado con el consumo de agua de lluvia que satisface la evapotranspiración del cultivo.
- Huella hídrica azul: se refiere al consumo de agua, asociado a una extracción de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Cuantifica la pérdida de agua de una superficie o masa de agua subterránea en una cuenca que pueda evaporarse, transferirse a otra cuenca, regresar al mar o se incorpore a un producto.
- Huella hídrica gris: se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes por parte de un cuerpo receptor, tomando como referencia las normas de calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una calidad buena para el ambiente y para las personas.

Una evaluación completa de la huella hídrica consiste en cuatro fases distintas: I) establecer objetivos y alcance; II) contabilidad de la huella hídrica; III) evaluación de la sustentabilidad de la huella hídrica; y IV) formulación de respuesta a la huella hídrica. No todas estas fases son obligatorias. En este estudio, se considera hasta la etapa de evaluación de sustentabilidad siguiendo el criterio ambiental de la huella hídrica.

### ***Determinación de la Huella Hídrica***

#### ***Establecer metas y alcances***

En este estudio sobre huella hídrica de cítricos, se quiere determinar el impacto sobre la disponibilidad de agua en el cultivo de naranjas para la etapa de producción primaria en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Se establece como objetivo contribuir a la generación de conocimiento soporte para la toma de decisiones sustentables en el uso de agua y la gestión del recurso hídrico, para ello se han considerado dos escenarios en secano y regadío, para la determinación de la huella hídrica verde y azul.

La unidad de análisis o de contabilización es de 1 tonelada (t) de naranja fresca cosechada, variedad Valencia, y el alcance del sistema de la actividad cítrica, no considera el agua asociada a los fertilizantes, al combustible, a la electricidad, sólo la necesaria para que el cultivo se desarrolle. Los datos meteorológicos se obtuvieron de CLIMWAT 2.0 for CROPWAT que cubre un periodo de 1971- 2000 y para el cultivo se tomó el periodo de 1 año productivo comprendido desde el 28/07 al 27/07, correspondiente a la fecha de siembra y cosecha.

#### ***Contabilidad de la Huella Hídrica***

El requerimiento de agua de los cultivos se ha calculado mediante el software CROPWAT 8.0, de la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO) (FAO, 2010), tal como lo recomienda Hoekstra y col. (2011).

Los parámetros climáticos han sido tomados de CLIMWAT 2.0 for CROPWAT 8.0 (FAO, 2013), de tres estaciones meteorológicas ubicadas en el sitio de estudio: Estación Concordia, Estación Gualaguaychú y Estación Gualaguay.

Por otra parte, CROPWAT 8.0, necesita también inputs de características del cultivo bajo estudio y del suelo donde ese cultivo se desarrolla. Los datos de coeficiente de cultivo  $K_c$  y otros referidos al cultivo, se tomaron de (FAO, 2006), como son las duraciones de las etapas de crecimiento del cultivo y las variaciones

del coeficiente del cultivo  $K_c$  a lo largo del crecimiento del cultivo, correspondientes a la etapa inicial ( $K_{cini}$ ), la etapa de mediados de temporada ( $K_{cmed}$ ) y la etapa final ( $K_{cfin}$ ), siendo los valores de los coeficientes de 0,70; 0,65 y 0,70 respectivamente, para una fracción de suelo con un 70% de cubierta vegetativa.

El requerimiento de agua del cultivo de naranjas para la Estación Concordia se estima en un valor de evapotranspiración del cultivo de 760,4 mm/dec. El requerimiento de agua de las plantas cítricas es de 1.000 a 1.200 mm por año. En esta región es cubierto sin mayores problemas, dado que el promedio anual de los últimos diez años es de 1.263 mm. La distribución de las precipitaciones es muy variable. Es posible observar períodos de sequía en los meses de diciembre, enero o febrero, no por ausencia de lluvias sino debido a la alta evaporación del suelo y a la elevada transpiración de las plantas (Anderson y col, 1996).

Para las otras estaciones se realiza el mismo procedimiento en donde arroja valores de evapotranspiración del cultivo siendo para la Estación Gualeguay de 860,2 mm/dec y de la Estación Gualeguaychú de 844,2 mm/dec. Esto significa que las dos últimas estaciones la evapotranspiración del cultivo es mayor con respecto a la estación Concordia, esto se corresponde a que el periodo de precipitaciones en esas regiones es menor, y va a requerir de reposición de agua el cultivo.

En una segunda instancia, se ha optado por los resultados que arroja la opción “programación de riego” porque permite contar con el valor discriminado de agua verde y agua azul según la precipitación efectiva del sitio considerado.

Para la Estación Concordia el valor de precipitación efectiva corresponde a la evapotranspiración verde del cultivo ( $ET_{green}$ ) que es de 759,4 mm/año, el uso real de agua del cultivo corresponde a la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) de 759,4 mm/año y el requerimiento real de riego corresponde a la evapotranspiración azul del cultivo ( $ET_{blue}$ ) de 0,0 mm/año. Este último valor indica que no se estaría efectuando riego en la plantación de naranjas porque las precipitaciones satisfacen la evapotranspiración del cultivo, debido a que en esta región las precipitaciones son mayores del orden de 1.355,4 mm anuales.

Para la estación Gualeguay, la información obtenida es para la evapotranspiración verde del cultivo ( $ET_{green}$ ) de 785,1 mm/año, evapotranspiración azul del cultivo ( $ET_{blue}$ ) de 73,9 mm/año y  $ET_c$  de 859,0 mm/año. En la Estación Gualeguaychú, los valores son  $ET_{green}$  de 771,6 mm/año,  $ET_{blue}$  de 71,5 mm/año y  $ET_c$  de 843,1 mm/año. Teniendo en cuenta estos valores, la Estación Gualeguay presenta mayor valor para la evapotranspiración verde del cultivo esto se debe a una mayor evapotranspiración del cultivo que no se satisface con las precipitaciones por lo que debe suplementarse con riego, debido al ser un cultivo con un ciclo relativamente largo y con las etapas más intensas de crecimiento y desarrollo en los meses de alta demanda evaporativa.

Lo mismo sucede con la Estación Gualeguaychú, a diferencia de lo que sucede en la Estación Concordia anteriormente explicado. Se conoce el rendimiento del cultivo de naranjas, de las variedades Valencia del departamento de Monte Caseros perteneciente a la provincia de Corrientes, de 18,30 t/ha (Lombardo, 2009).

### ***Evaluación de Sustentabilidad de la Huella Hídrica***

El análisis de sustentabilidad desde el punto de vista ambiental es efectuado para la Huella Hídrica Verde y Azul. La huella hídrica es un indicador geográfico explícito, mostrando no sólo los volúmenes de agua del consumo y la contaminación, sino también los lugares, esto significa que la huella hídrica se produce en un lugar específico durante un tiempo específico. Para ser sustentable con el medio ambiente, el uso del

agua no debe exceder los límites máximos sustentables de un recurso de agua dulce. Así mismo los impactos ambientales se han contabilizado en la evaluación de sustentabilidad de la huella hídrica, identificando impactos primarios en términos de flujos de agua modificados en comparación con las condiciones naturales, y sin trastornos humanos.

Para evaluar la sustentabilidad ambiental de la huella hídrica verde (WSgreen) en una cuenca en un determinado período, se define como el cociente entre el total de las huellas hídricas verde a la disponibilidad de agua verde (WAgreen), este último se define como la evapotranspiración total de agua de lluvia de la tierra (ETgreen), menos la evapotranspiración de la tierra reservada para la vegetación natural (ETenv) y menos la evapotranspiración de la tierra improductiva (ETumprod).

Definido de esta manera, el indicador de sustentabilidad de agua verde, indica la fracción de apropiación de los recursos hídricos verdes disponibles. Si la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no existe o no es significativo. Cuanto mayor sea a 1, la situación es no sustentable.

Para evaluar la sustentabilidad ambiental de la huella hídrica azul (WSblue) en una cuenca en un determinado período, uno debe comparar el caudal consumido (la huella hídrica azul) con el caudal disponible (WAbblue), este último corresponde a la escorrentía natural (Rnat) menos el requerimiento de flujo ambiental (EFR). Al indicador de sustentabilidad de agua azul de 1 significa que el agua azul disponible ha sido totalmente consumida. El indicador de agua azul más allá de 1 no es sustentable.

### ***Resultados del cálculo de la Huella Hídrica***

Los resultados han sido obtenidos para el periodo de 1 año comprendido entre la siembra y la cosecha para el cultivo de naranjas, variedad Valencia. Para el escenario, sin aplicación de riego, con un rendimiento promedio de 18,30 t/ha, el requerimiento hídrico verde promedio es de 7.720,33 m<sup>3</sup>/ha y la huella hídrica verde promedio es de 421,85 m<sup>3</sup>/t (Tabla 1).

***Tabla 1: Cálculo de la Huella Hídrica Verde, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia sin riego.***

	ET verde (mm/año)	CWU verde (m <sup>3</sup> /ha)	Y (t/ha)	WF verde (m <sup>3</sup> /t)
Estación Concordia	759.40	7 594.00	18.30	414.95
Estación Gualaguay	785.10	7 851.00	18.30	428.99
Estación Gualaguaychú	771.60	7 716.00	18.30	421.62
Total		23 161.00		1 265.56
Promedios		7 720.33		421.85

Con aplicación de riego, el requerimiento hídrico verde y azul para el cultivo de naranjas es de 7.720,33 m<sup>3</sup>/ha y de 727,00 m<sup>3</sup>/ha respectivamente.

Estos datos se encuentran dentro de los valores establecidos en la demanda anual del cultivo que corresponde entre los 6.000 a 7.000 m<sup>3</sup>/ha. La huella hídrica verde y azul para las variedades Valencia, utilizando el rendimiento promedio de 40 t/ha, es de 193,01 m<sup>3</sup>/t y de 18,18 m<sup>3</sup>/t, respectivamente (Tabla 2).

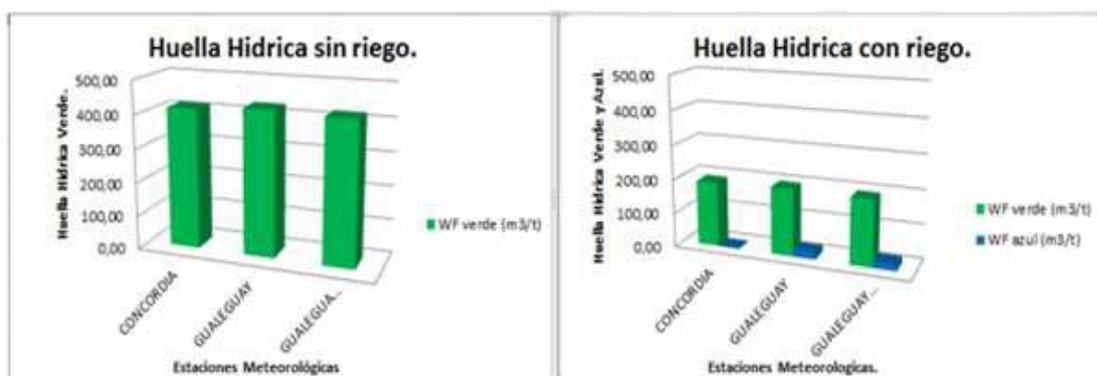
**Tabla 2: Cálculo de la Huella Hídrica Verde y Azul, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia con riego.**

	ET verde (mm/año)	ET azul (mm/año)	CWU verde (m <sup>3</sup> /ha)	CWU azul (m <sup>3</sup> /ha)	Y (t/ha)	WF verde (m <sup>3</sup> /t)	WF azul (m <sup>3</sup> /t)
Estación Concordia	759.40	–	7 594.00	–	40.00	189.85	–
Estación Guaaleguay	785.10	73.90	7 851.00	739.00	40.00	196.28	18.48
Estación Guaaleguaychú	771.60	73.50	7 716.00	715.00	40.00	192.90	17.88
Total			23 161.00	1 454.00		579.03	36.35
Promedios			7 720.33	727.00		193.01	18.18
						WFtotal=211.18 m <sup>3</sup> /t	

Los valores obtenidos para la huella hídrica total en secano son de 421,85 m<sup>3</sup>/t y en regadío es de 211,18 m<sup>3</sup>/t, lo que permite inferir que la huella hídrica se ha reducido a la mitad con aplicación de riego, por un aumento en los rendimientos del cultivo de naranjas.

Se puede observar en los siguientes gráficos la comparación de los valores obtenidos de huella hídrica verde y azul para la producción de naranjas, en secano y regadío para las estaciones Concordia, Guaaleguay y Guaaleguaychú, observándose que la huella hídrica verde sin aplicación de riego para las 3 estaciones es mayor con respecto a la huella hídrica verde con riego, debido a este último por un aumento en los rendimientos. En cuanto a la huella hídrica azul en secano no existe y en regadío es baja con valores de 18,48 m<sup>3</sup>/t y 17,88 m<sup>3</sup>/t para las estaciones Guaaleguay y Guaaleguaychú respectivamente, y para la estación Concordia la huella hídrica azul es cero, porque las precipitaciones satisfacen la demanda de evapotranspiración del cultivo (Figura 1).

**Figura 1: Comparación de la huella hídrica verde y azul, sin riego y con riego, para las estaciones meteorológicas.**



Fuente: Elaboración propia.

### **Evaluación de la Sustentabilidad de la Huella Hídrica**

Desde el punto de vista ambiental, los valores del indicador de escasez de agua verde sin riego, obtenidos para las estaciones meteorológicas de Concordia, Guaaleguay y Guaaleguaychú son 0,69, 0,97 y 0,96 respectivamente. Esto significa que no superan el valor de 1 demostrando que la huella hídrica verde para la producción de naranjas en la región de Entre Ríos es sustentable. Estos valores del indicador podrían ser aún

más bajos y más sustentables si se considerara la evapotranspiración de la tierra reservada para la vegetación natural y la evapotranspiración de la tierra improductiva por no encontrarse bibliografía al respecto.

En relación con los valores del indicador de escasez de agua verde con riego, para las estaciones meteorológicas, arrojan los mismos resultados que los anteriores porque la huella hídrica verde está relacionada con el consumo de agua de lluvia que satisface la evapotranspiración del cultivo y no responde a la aplicación de riego y por lo tanto el indicador también es sustentable.

Los datos sobre disponibilidad de agua azul para efectuar la sustentabilidad de la huella hídrica azul, han sido tomados del reporte 53 de Hoekstra y Mekonnen, 2011, en este caso en particular se ha realizado a nivel de cuenca, utilizando para el cálculo los datos de escorrentía natural y requerimiento de flujo ambiental para el Río Paraná. Siendo el valor del indicador de sustentabilidad de huella hídrica azul obtenido de 0,88.

El valor del indicador de escasez de agua azul, con incorporación de riego, es de 0,88, esto significa que el indicador de agua azul es bajo ( $< 1$ ), la huella hídrica azul es inferior al 20% de la escorrentía natural y no supera la disponibilidad de agua azul, la escorrentía de los ríos no es modificada o es ligeramente modificada y el requerimiento de caudal ambiental no es violado, y por lo tanto se considera sustentable para la producción de naranjas en la región de Entre Ríos.

## Conclusiones y recomendaciones

En el desarrollo de esta investigación, se ha podido corroborar la hipótesis que fue el hilo conductor del trabajo. Se puede entonces vislumbrar que, conocer los valores de la huella hídrica verde y azul asociada a la producción de naranjas en la provincia de Entre Ríos, Argentina, puede ser una herramienta de suma ayuda en la toma de decisiones respecto de la asignación sustentable del recurso hídrico. Pero también en la recomendación de posibles estrategias de manejo, de comunicación y de educación que colaboren a asegurar una producción sustentable desde el punto de vista del recurso agua.

Si bien la actividad cítrica en Entre Ríos se desarrolla habitualmente en secano porque la demanda de evapotranspiración del cultivo de naranjas se satisface con las precipitaciones del lugar, la evaluación de la contabilidad de la huella hídrica verde y azul considerando secano y regadío, permitió observar que la incorporación de riego al cultivo reduce la huella hídrica total por un incremento en los rendimientos del cultivo. Esto conlleva a una disminución del agua virtual asociada a la producción de las naranjas. Sin embargo, la aplicación de riego no debe comprometer el abastecimiento de agua para otros sectores, como el doméstico e industrial. Por ello, es necesario emplear sistemas de riego que optimicen el uso del recurso agua a campo. En Entre Ríos, una práctica que se está implementando con mayor frecuencia en el cultivo de cítricos, es el riego localizado por goteo (FE.CI.ER, 2014). Sin embargo, los métodos de riego localizado que propician el uso eficiente del agua, requieren energía eléctrica para su funcionamiento, por tanto, se producen emisiones de gases de efecto invernadero asociadas que sería conveniente considerar a la hora de tomar una decisión integral, entre otras cuestiones.

Existen otras prácticas que permiten alcanzar una máxima productividad del agua para el cultivo de naranjas como las técnicas de riego deficitario y riego suplementario (Hoekstra y col., 2011). En el caso del riego deficitario, se aplica agua durante las etapas del crecimiento del cultivo sensible a sequía. Fuera de estos períodos, el riego es limitado o incluso innecesario si la lluvia proporciona un suministro mínimo de agua. La otra alternativa, el riego suplementario, pequeñas cantidades de agua se añaden a cultivos básicamente de

secano en momentos en que las precipitaciones no proporcionan suficiente humedad para el crecimiento normal de la planta, con el fin de mejorar y estabilizar los rendimientos.

Por otra parte, el resultado de esta contabilización también cobra relevancia cuando se considera a las naranjas materia prima de productos industrializados como el jugo de naranjas envasado, aceites esenciales o confituras de naranja. Contar con información de base local o regional del agua involucrada en la producción de una materia prima, permite comenzar a construir los inventarios nacionales, tan necesarios, que sean inputs para calcular la huella hídrica de un producto final a lo largo de toda su cadena de suministro. Esto es fundamental cuando las industrias quieren llevar adelante planes de sustentabilidad internos, cuando se quiere controlar y manejar el uso de recursos naturales en la industria, cuando se quiere competir en mercados internacionales que imponen condiciones ambientales para el ingreso de productos o bien, cuando se quiere comunicar a los consumidores, que están cada vez más informados y prefieren elegir productos que hacen un cuidado del ambiente, un uso sustentable de recursos y tienen planes de responsabilidad empresarial. Algunas de estas cuestiones pueden apoyarse con certificados (etiquetado ambiental, por ejemplo) que avalen los volúmenes determinados y los compromisos de reducción de uso y consumo de agua si fuera necesario.

En síntesis, conocer la huella hídrica verde y azul del cultivo de naranjas regional permite contribuir a establecer políticas ambientales con respecto del uso del agua en actividades cítricas, y al ser un producto de exportación, tener un mayor control del recurso hídrico que se exporta de manera virtual. Es posible también identificar oportunidades de mejora del desempeño ambiental del producto, en la comunicación al consumidor a través de etiquetados, en la toma de decisiones estratégicas. Pero el gran desafío es poder concientizar a los productores y consumidores sobre la importancia de ser responsables con el uso y consumo del recurso hídrico, aún en regiones de nuestro país donde el agua no es un recurso escaso como lo es en las tierras secas que ocupan una gran porción del territorio nacional.

## Bibliografía

ANDERSON C.; BANFI G.; BEÑATENA H.; CASAFUSC.; COSTA N.; DANOS E.; FABIANI A.; GARRAN S.; LARocca L.; MARCO G.; MESSINA M.; MIKA R.; MOUSQUES J.; PLATA M.; RAGONE M.; RIVAS R.; VACCARO N. y VAZQUEZ D. 1996. *Los Cítricos. Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Diversificación Productiva. Estación Experimental Agropecuaria Concordia. Argentina. [en línea]. [http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productoresde-naranja-y-mandarina-de-la-region-del-rio-uruguay/].*

ARENA P.; CIVIT B. y PIASTRELLINI R., 2011. *Water footprint of soybean production in Argentina LCM 2011, Berlín, Alemania.*

BANCO MUNDIAL, 2006. *Agricultura y Desarrollo Rural en Argentina. Reporte N° 32763-AR. Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay, Región de América Latina y El Caribe, 1818 H Street, N.W., Washington, D.C. 20433, U.S.A.*

CIVIT B.; ARENA A.P.; PIASTRELLINI R.; CURADELLI S. y SILVA COLOMER J., 2011. *Comparación entre la huella hídrica de biodiesel obtenido a partir de aceite de colza y aceite de soja. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0329-5184.*

CIVIT B.; ARENA A.P.; CURADELLI S. y PIASTRELLINI R. 2012. *Indicadores de sostenibilidad. Huella de carbono y huella hídrica de un viñedo considerando distintos sistemas de riego en Mendoza, Argentina. Revista ENOVITICULTURA, Ed Editorial Técnica Quatrebcn, S.L.L, N° 14 enero/febrero, ISSN 2013-6099.*

- FAO, 2003. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores.* [en línea]. [[https://www.ipcc.ch/pdf/technicalpapers/ccw/ccw%20sp/chapter\\_4\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/technicalpapers/ccw/ccw%20sp/chapter_4_sp.pdf)].
- FAO, 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Reporte de Riego y Drenaje N° 56.* Roma, Italia.
- FAO, 2010. “CROPWAT 8.0 model”, FAO, Rome, [en línea]. [[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)].
- FAO, 2013. “CLIMWAT 2.0 database”, FAO, Rome, [en línea]. [[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)].
- FE.CI.ER, 2014. *Federación del Citrus de Entre Ríos. Informe de la Provincia de Entre Ríos 2014.* [en línea]. [[file:///C:/Users/Sol/Downloads/Informe\\_Citricola\\_Entre\\_Rios2014%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Sol/Downloads/Informe_Citricola_Entre_Rios2014%20(3).pdf)].
- FEDERCITRUS, 2015. *La actividad cítrica Argentina.* [en línea]. [[http://www.federcitrus.org/noticias/upload/informes/La\\_Actividad\\_Citricola\\_2015.pdf](http://www.federcitrus.org/noticias/upload/informes/La_Actividad_Citricola_2015.pdf)].
- HOEKSTRA A.; and HUNG P.Q., 2002. *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series N° 11, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands,* [en línea]. [<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>].
- HOEKSTRA A.; CHAPAGAIN A.; MAITE M. ALDAYA and MESFIN M. MEKONNEN, 2011. *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard.*
- MORABITO J., 2012. *La Huella Hídrica una aproximación a su conocimiento en vid. Comparación con la eficiencia de uso del agua según distintos métodos de riego en Mendoza. SRIIRU. Foro de Economía Verde y Agua. Mendoza, Argentina.* [en línea]. [<http://www.uncuyo.edu.ar/relacionesinternacionales/upload/02-fceuncuyo2012-morabito.pdf>].
- MORABITO J., 2015. *Huellas hídricas verdes y azul del cultivo de maíz en provincias del centro y noreste argentino. Primer Foro Latinoamericano de Responsabilidad Hídrica. Desarrollo Hídrico Inteligente y Sustentable. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.*
- HOEKSTRA A.; MEKONNEN M., 2011. *Global Water Scarcity: The Monthly Blue Water Footprint Compared to Blue Water Availability for the World's Major River Basins. Value of Water Research Report Series N° 53. UNESCOIHE, Delft, Netherlands.* [en línea]. [<http://waterfootprint.org/media/downloads/Report53-GlobalBlueWaterScarcity.pdf>].
- INTA. *Programa Agroeconomía de productos regionales.* [en línea]. [<http://www.inta.gob.ar>]. Programa “Agricultura Inteligente. Huella de Carbono y Huella Hídrica” (AIHCHI), 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Silvicultura de la Nación. [en línea]. [<http://www.iica.int>].
- LOMBARDO E., 2009. *La gestión de Buenas Prácticas Agrícolas en Pequeñas y Medianas Empresas, familiar cítrica de la región del río Uruguay. Universidad del Salvador. Provincia de Buenos Aires, Argentina.* p. 19.
- PIASTRELLINI R.; CIVIT B. y ARENA A.P., 2015. *Influence of Agricultural Practices on Biotic Production Potential and Climate Regulation Potential. A Case Study for Life Cycle Assessment of Soybean (Glycine max) in Argentina. Sustainability 2015, 7, 4386-4410; doi: 10.3390/su7044386.*
- PIASTRELLINI R.; ARENA A.P. y CIVIT B. 2014. (editores). *Avances en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina. Editorial UTN - P 82 - ISBN 978-950-42-0159-5 – Mendoza, Argentina.*

## ¿Puede la Huella de Agua Ser Una Herramienta de Planificación y Zonificación Agrícola en Tierras Secas? El Caso de la Viticultura en Argentina

Bárbara Civit<sup>1</sup>  
 Roxana Piastrellini<sup>2</sup>  
 Silvia Curadelli<sup>2</sup>  
 Martín Cavagnaro<sup>3</sup>  
 Alejandro Pablo Arena<sup>1</sup>  
 Germán Rodolfo Henderson<sup>2</sup>

1 Grupo CLIOPE, FRM-UTN/CONICET, Mendoza, Argentina

2 Grupo CLIOPE, FRM-UTN, Mendoza, Argentina

3 Ing.Agr., Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas, Mendoza, Argentina  
 barbara.civit@gmail.com

### Resumen

*Según la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), Argentina es el sexto productor mundial de vino, concentrándose principalmente en el oeste argentino. La mayor parte del cultivo de uva para vinificar, se produce en tierras secas, y por ello, la disponibilidad, el uso y consumo de agua son componentes críticos en la cadena productiva vitivinícola. El objetivo de este trabajo es cuantificar la huella de agua de la uva en la región vitivinícola argentina y analizar si los resultados que se obtienen pueden utilizarse como herramienta de apoyo para la toma de decisiones al momento de zonificar y planificar la producción de uva en los próximos 25 años. Se calculó la huella de agua por escasez siguiendo el método AWARE para las variedades de uva de mayor producción para "producir 1 kg de uva para vinificar en Argentina". El impacto por uso de agua aplicada al cultivo varía entre 28 y 0,05 m<sup>3</sup> world eq/UF, siendo el máximo en el centro-oeste argentino y el mínimo en el norte del país. Por otro lado, el agua asociada al uso de energía eléctrica lógicamente es menor cuando el riego es superficial, y los valores de impacto oscilan entre 0,6 m<sup>3</sup> world eq/UF en La Rioja y 18,5 m<sup>3</sup> world eq/UF en San Juan. Por tanto, se puede inferir que, de querer planificar la expansión de la actividad vitícola en la Argentina, la huella de agua puede ser una herramienta de soporte para la toma de decisiones en pos de perseguir la producción responsable y el consumo de agua sostenible.*

*Palabras clave: consumo de agua, sector vitícola, escasez hídrica.*

### Propósito

Argentina ocupa el 6to lugar en el ranking mundial de productores de vino (OIV 2017). La mayor parte del cultivo de uva para vinificar, se produce en tierras secas, y por ello, la disponibilidad, el uso y consumo de agua son componentes críticos en la cadena productiva vitivinícola. Ante un panorama de variabilidad climática, emergencia hídrica reiterada y avance de la ocupación urbana sobre tierras fértiles en los oasis de riego, se presenta como primordial la necesidad de cuantificar la cantidad de agua involucrada en la etapa agrícola e industrial de la cadena del vino en toda la región vitivinícola argentina, con la finalidad de poder establecer escenarios prospectivos de producción de cara a un futuro que atiende los requerimientos del mercado, pero también, los compromisos asumidos para alcanzar la sustentabilidad en la producción y en el consumo.

El propósito de este estudio es cuantificar la huella de agua de la uva en la región vitivinícola argentina y analizar si los resultados que se obtienen pueden utilizarse como herramienta de apoyo para la toma de decisiones a la hora de zonificar y planificar la producción de uva en los próximos 25 años.

## Metodología

La evaluación del uso y consumo de agua en la actividad vitivinícola se puede llevar a cabo desde diversos ángulos y aplicando diferentes metodologías. La conjunción de la huella hídrica con la huella de agua (Hoekstra et al. 2011 y Boulay et al. 2018) permitirá no sólo conocer volúmenes de agua involucrados, sino el impacto que los volúmenes representan a lo largo de toda la cadena de producción y de suministro.

e consideraron las regiones donde se concentra la mayor producción de uva para vinificar en el país: i) Norte: provincias Salta, Catamarca y La Rioja; ii) Cuyo: Mendoza y San Juan; y iii) Sur: Neuquén. En Mendoza se diferenciaron las 5 zonas productivas definidas por el Instituto Nacional de Vitivinicultura, dado que concentra más del 70% de la producción nacional (INV 2017a).

Los datos meteorológicos se tomaron de CLIMWAT (Smith y FAO 1993) y del Servicio Meteorológico Nacional, considerado valores promedio para el período 2009-2014. La unidad de análisis se estableció en “producir 750 ml de vino embotellado en Argentina”. En consonancia con la Regla de Categoría de Producto (PCR) para vino, se adoptó una regla de corte de 1 % en masa. Para el cálculo del uso y consumo de agua en finca, se tomaron los datos de Civit et al. (2018) y la producción y superficie cultivada con vid de los reportes del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV 2017b). Se consideró riego superficial y presurizado por goteo, para lo cual se ajustaron los coeficientes de cultivo. Los datos de bodega se obtuvieron mediante encuestas realizadas en Mendoza, y se complementaron con datos brindados por la Comisión de Sustentabilidad de Bodegas de Argentina y bibliografía específica (Barry 2011; Benedetto 2013; Curadelli et al. 2011; Petti et al. 2015). Se contabilizó el agua para limpieza de las instalaciones, lavado de equipos, refrigeración y otros usos en la elaboración y el fraccionamiento. Los datos de agua para la producción de los insumos y los materiales de envasado y embalaje se tomaron de la base de datos Ecoinvent 3.0 (Wernet et al. 2016). Se contabilizó además, el combustible para el transporte de la uva y los insumos. Los datos del consumo energético y equivalencias con el agua para riego presurizado por goteo se calcularon a partir de Fox (1995), mientras que el agua asociada a la generación de energía eléctrica argentina se tomó de Arena(2017).

En la determinación del impacto por escasez de huella de agua, se consideraron los factores de caracterización de Boulay et al. (2018) correspondientes al método AWARE. Los valores de impacto obtenidos representan el peor escenario posible de producción de vino en el país, porque se ha considerado que la totalidad de los flujos de entrada y de salida del sistema-producto corresponden únicamente a la elaboración de vino, es decir, no se han contabilizado co-productos, tales como el orujo o el mosto (se hará en trabajos futuros por la complejidad que esto representa).

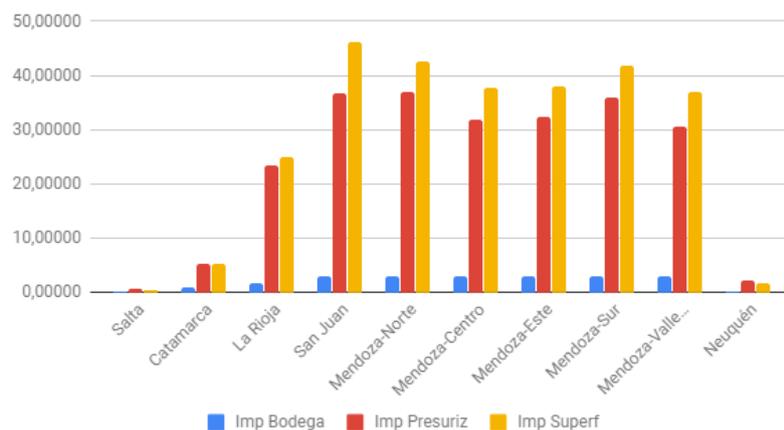
## Resultados y discusión

En la etapa de cultivo de la vid, el agua de riego representa el 60 % del consumo total, excepto para Salta que tiene un mayor aporte de precipitaciones que el resto de las provincias consideradas. Por otro lado, el agua que se consume en la cadena de suministro, asociada a la energía eléctrica para el riego y a los combustibles para las tareas de labranza, lógicamente es menor cuando el riego es superficial.

En la bodega, el agua que se consume para tareas de lavado de equipos, limpieza de instalaciones, refrigeración y otros usos, representa solamente un 2,3 % del total; mientras que el agua asociada a la cadena de suministro representa el 97,8 %, siendo el empaque la etapa que más contribuye.

Los resultados presentados hasta el momento representan solamente volúmenes de agua asociados a cada una de las etapas de producción. El impacto depende del sitio donde se produce la extracción de agua. En este contexto, se observa que la etapa agrícola tiene una contribución mucho mayor al impacto total que la etapa de bodega, independientemente del sistema de riego que se utilice (Figura 1).

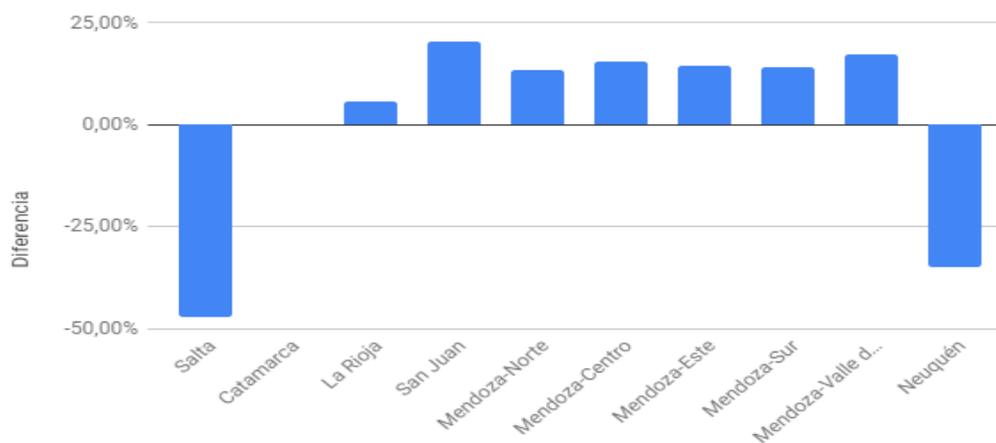
**Figura 1. Huella de agua asociada a la producción de vino en Argentina (en m<sup>3</sup> de agua eq/botella de 750 ml), por etapa y sistema de riego**



*\*Imp Bodega: impactos sobre la disponibilidad de agua en bodega. Imp Presuriz: impactos sobre la disponibilidad de agua en finca, con riego presurizado. Imp Superf: impactos sobre la disponibilidad de agua en finca, con riego superficial.*

A pesar que el riego presurizado tiene mejor eficiencia que el riego superficial, y puede producir un ahorro de agua, en los sitios donde el aporte de lluvia es significativo, no se produciría un beneficio directo y el agua asociada a los insumos, combustibles y electricidad sería mayor que la del cultivo (Figura 2).

**Figura 2. Beneficio potencial en el impacto producido por aplicación de riego presurizado en lugar de riego superficial**



## Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido constatar que es importante considerar la ampliación de la frontera vitivinícola, afianzando las actuales zonas marginales en crecimiento, e incluso el desplazamiento hacia nuevas áreas del país, sin tradición vitivinícola. Esos eventuales desplazamientos geográficos en busca de mejores condiciones climáticas podrían estar acompañadas por una demanda de movilidad de la mano de obra o, de requerirse, formación y capacitación de nuevas poblaciones. El grado de reacción o pro-activismo que tenga el sector vitivinícola argentino frente a los cambios climáticos proyectados será determinante, y podemos vislumbrar que la huella de agua es un indicador clave para poder establecer las zonas de menor riesgo respecto de la disponibilidad de agua. Se sugiere profundizar este análisis considerando también la variable calidad en la evaluación de impactos.

## Agradecimientos

Agradecemos a la enól. Ana Puelles, la ing. Carolina Pelayes, ing. Osvaldo Llamas, el téc. Ricardo Martín Aguirre por las comunicaciones telefónicas o entrevistas personales que, nos validaron con su experiencia, muchos de los datos empleados para el cálculo de la huella de agua del vino y los consumos energéticos de los sistemas de riego presurizados.

## Referencias

- Arena, P.A., 2017. *IV Jornada Técnica sobre Investigación en Recursos Hídricos (IV JIRH)*. UTN FRM, Mendoza, Argentina. 20 de Diciembre, Mendoza.
- Barry, M., 2011. *Life cycle assessment and the New Zealand wine industry: a tool to support continuous environmental improvement*. M. Sc. thesis presented in Massey University, Wellington, New Zealand.
- Benedetto, G., 2013. *The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment*. *Wine Economics and Policy* 2 (2013) 33–41.
- Boulay, A. M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., ... & Ridoutt, B., 2018. *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2), 368-378.
- Civit, B., Piastrellini, R., Curadelli, S., Arena, A.P., 2018. *The water consumed in the production of grapes for vinification (Vitis vinifera). Mapping the blue and green water footprint*. *Ecological Indicators* 85 (2018) 236–243.
- Curadelli, S; Civit, B; Arena AP y Morales, A., 2011. *Huella de Carbono de la producción de vino en el oasis norte de la provincia de Mendoza*. V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente (CISDA) de REDIBEC (Red Iberoamerica de Economía Ecológica). 12, 13 y 14 de Septiembre. Santa Fe, Argentina.
- Fox, R. W., McDonald, A. T., Cázares, G. N., & Callejas, R. L., 1995. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Earthscan, 203 p.
- INV-Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2017a. *Informes anuales sobre Registro de viñedos*. <http://www.inv.gov.ar/index.php/menestadisticas/men-estadisticas-vitivinicolos/16-cat-estadisticas/42-est-menu-vinedos>, acceso entre 24-28 de septiembre de 2018.

INV-Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2017b. *Informes anuales sobre Cosecha y Elaboración*. <http://www.inv.gov.ar/index.php/menestadisticas/men-estadisticas-vitivincolas/16-cat-estadisticas/27-cosecha-y-elaboracion>, acceso entre 24-28 de septiembre de 2018.

OIV-Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2017. *Balance global provisional de la situación del sector vitivinícola en el último año*. <http://www.oiv.org/es/normas-y-documentos-tecnicos/analisis-estadisticos/analisis-anual>, acceso entre 24-28 de septiembre de 2018.

Petti L., Arzoumanidis I., Benedetto G., Bosco S., Cellura M., De Camillis C., Fantin V., Masotti P., Pattara C., Raggi A., Rugani B., Tassielli G., and Vale M., 2015. *Life Cycle Assessment in the Wine Sector Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*, 123 (doi: 10.1007/978-3-319-11940-3\_3).

Smith, M. y FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. *CLIMWAT for CROPWAT: A climatic database for irrigation planning and management*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. *The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21

## Huella de Carbono de la Empresa Prodeman. Producción de Maní, Campañas 2015/16, 16/17 Y 17/18

Rodolfo Bongiovanni<sup>1</sup>  
Leticia Tuninetti<sup>2</sup>

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. Ruta 9, km 636. (5988) Manfredi, Córdoba. Cel. 3572528646  
bongiovanni.rodolfo@inta.gob.ar

2 Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Departamento de Química Analítica y Residuos Urbanos Centro. Subgerencia Operativa Regional Centro.

### Introducción

Las decisiones adoptadas en las empresas tienen consecuencias tanto positivas como negativas sobre el ambiente, para lo que cobra importancia la evaluación o análisis de ciclo de vida (ACV) como una herramienta sólida y cuantitativa de impacto ambiental de las organizaciones.

La evaluación de impactos ambientales cobra importancia en la cadena de valor del maní por ser una de las economías regionales de la provincia de Córdoba que se destaca a nivel internacional, dedicada casi exclusivamente a la exportación. El Sector Agroindustrial Manisero constituye una economía regional emblemática para Córdoba ya que el 90% del maní se produce e industrializa en esta provincia.

En particular, la empresa Prodeman produce, selecciona, acopia, procesa y exporta maní confitería, con una capacidad de siembra de 42.000 ha anuales y de procesamiento de 140.000 toneladas de maní en caja por año. La planta de producción está ubicada en General Cabrera, Córdoba y está conformada por dos plantas de maní confitería, una planta de blanchado, una planta de productos elaborados, celdas de acopio de materia prima y galpones refrigerados para el almacenamiento de productos terminados.

El objetivo general de este estudio es determinar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la compañía Prodeman, en lo relacionado a la cadena de valor del maní y sus derivados, identificando los puntos focales (“hotspots”) con mayor potencial de reducción de emisiones.

El alcance de este estudio comprende la estimación de las emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida de los productos de Prodeman desde la generación de la materia prima hasta su transformación en productos finales, durante tres campañas: 2015/16, 2016/17 y 2017/18.

### Método

Este trabajo informa los resultados de un ACV Organizacional (ACV-O) realizado a la empresa manisera Prodeman en un periodo de tres años, siguiendo la “Guía de ACV de Organizaciones” (The Life Cycle Initiative, 2015), basada en el Greenhouse Gas Protocol, y las normas ISO/TS 14072, ISO 14040 e ISO 14044 (ISO/TS 14072, 2014) (ISO, 2006) (ISO, 2013).

El ACV-O utiliza la perspectiva de ciclo de vida para compilar y evaluar las entradas, salidas y posibles impactos ambientales de las actividades asociadas a la organización y a la provisión de su cartera de productos. Este método permite responder a varios objetivos al mismo tiempo (por ejemplo, identificar puntos críticos en la cadena de valor, seguir el desempeño ambiental a lo largo del tiempo, apoyar decisiones estratégicas y facilitar información para completar los informes de sostenibilidad corporativa).

En este trabajo se tuvieron en cuenta las fuentes de emisión en la producción agrícola del maní, incluyendo producción y uso de combustibles, lubricantes, fertilizantes y agroquímicos, emisiones por residuos de cosecha y producción de semillas. Los fletes de materias primas asociados a la producción agrícola se contemplaron dentro de la misma campaña sin importar cuándo se realizaron, tal como lo plantea el método ACV.

Se incluyeron las emisiones derivadas del consumo de combustible de avión de pasajeros para la gestión de la empresa, helicóptero y aplicaciones aéreas de agroquímicos, además de las camionetas que recorren los campos. También se consideraron las emisiones derivadas de la producción de los envases de los agroquímicos y fertilizantes que se utilizan en los campos, y se discriminan las emisiones en la producción de distintos tipos de agroquímicos (herbicidas, fungicidas, insecticidas, fertilizantes).

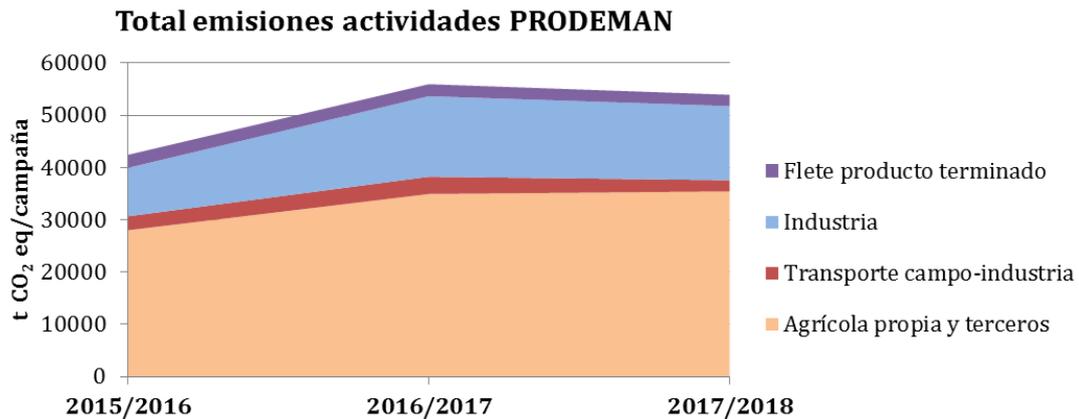
No se incluyeron las emisiones debidas al cambio de uso del suelo, ya que se asumió que la producción de maní se desarrolla en campos que ya se encuentran actualmente en uso agrícola. Tampoco se consideró la variación del stock de carbono en suelos debido a la gestión agrícola, por no contar con información suficiente para realizar la estimación. No se contabilizó la disposición final de los envases de productos fitosanitarios (agroquímicos y fertilizantes) ni de los neumáticos descartados ya que no se tiene certeza de su destino en instalaciones de quien recibe este material. Aunque en pocas cantidades, no se pudieron incluir los consumos de nafta en planta por no contar con registros de cantidades utilizadas. Con respecto a los productos finales elaborados de la etapa procesamiento industrial, no se incorporaron las huellas de los insumos y otras materias primas distintas al maní (ej., azúcar, harina, etc.). No se incluyeron los envases y embalajes de los productos finales.

Las emisiones en la industria se debieron a consumos energéticos y de combustibles desde la recepción del maní hasta la generación de los productos elaborados. También se incluyeron las emisiones del transporte hasta la industria y los transportes de los productos finales hasta destinos dentro del país (transporte interno) y hasta el puerto (transporte externo). No se incluyó transporte marítimo, ni operatoria en instalaciones de distribuidores. En el caso de las emisiones de la industria, se tomó la producción por línea, sin contemplar variaciones de stock, ni discriminación de producción por campaña.

## **Resultados**

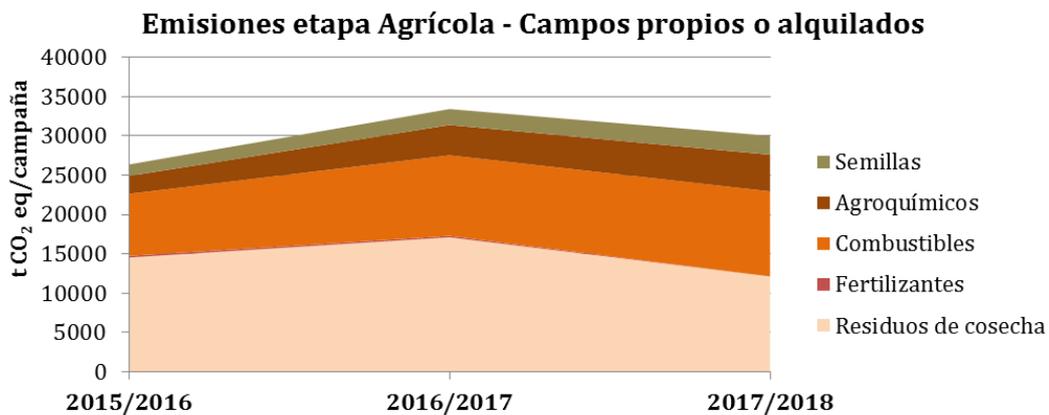
Para la campaña 2015/16 las emisiones alcanzaron un total de 42.425 t CO<sub>2</sub> eq; en la campaña 2016/17 el valor fue de 55.942 t CO<sub>2</sub> eq y en la campaña 2017/18 fue de 53.920 t CO<sub>2</sub> eq.

Figura 1



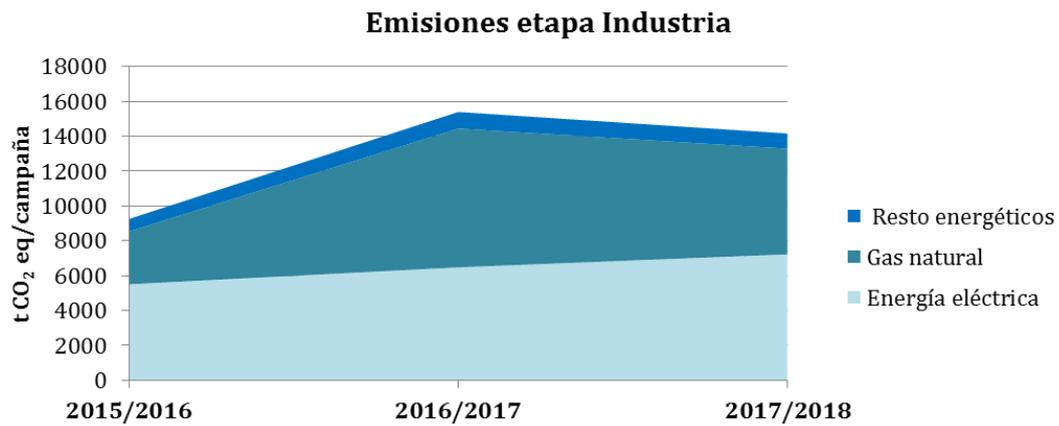
Dentro de la etapa agrícola se destaca que las hectáreas sembradas se incrementaron un 25 % en las últimas dos campañas respecto a la primera campaña analizada, pero los rendimientos fueron algo inferiores en la campaña 2016/2017 y marcadamente inferiores en la campaña 2017/2018, por la sequía. Esto influye notablemente en las emisiones por tonelada de maní cosechado, que se incrementan 13 % y 75 % respectivamente respecto a la primera campaña analizada. Los resultados de la etapa agrícola (para campos propios o alquilados, exceptuando campos a los que se les compra maní) se muestran en la figura a continuación.

Figura 2



Las emisiones en la etapa industrial corresponden al uso de energía y combustibles en la planta procesadora. Hubo un notable incremento en el consumo de gas natural en la campaña 2016/2017 respecto de la primera campaña analizada, que se redujo levemente en el último período en estudio (2017/2018). Los resultados de la etapa industria se muestran en la figura que sigue a continuación.

Figura 3

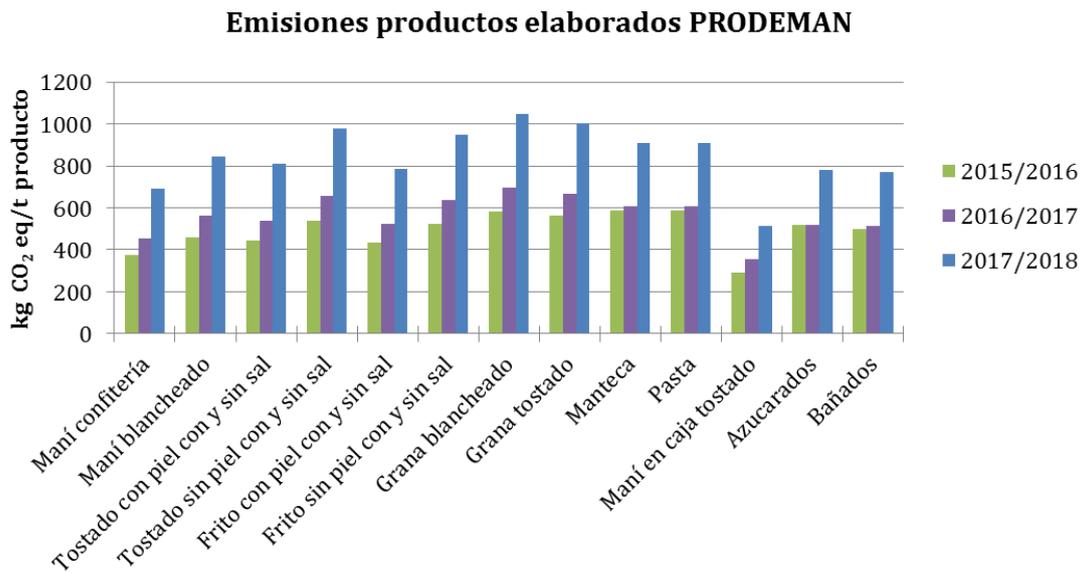


Para productos elaborados se arrastra el aumento en las emisiones de las últimas dos campañas analizadas, respecto a la primera, lo que incrementa la huella particular de cada uno. A continuación, se muestran una tabla y figura con los valores obtenidos para productos elaborados, sin incluir otros insumos agregados, ni packaging ni transportes.

Tabla 1

Productos elaborados	Emisiones de GEI (kg CO <sub>2</sub> eq/t) sin TP		
	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Maní confitería	375	452	690
Maní blanchado	460	563	847
Tostado con piel con y sin sal	446	538	809
Tostado sin piel con y sin sal	538	658	977
Frito con piel con y sin sal	434	524	787
Frito sin piel con y sin sal	523	640	950
Grana blanchado	581	697	1049
Grana tostado	564	668	1003
Manteca	588	606	912
Pasta	588	606	912
Maní en caja tostado	293	357	512
Azucarados	520	520	781
Bañados	499	514	772

Figura 4



Si se incluye el transporte de producto elaborado (TP) en el análisis, se incrementan las emisiones de aquellos productos que tienen una alta componente de venta dentro de la Argentina, ya que existen distribuciones a largas distancias con poca eficiencia en la ocupación de los camiones. Mientras que los productos que se exportan en su mayoría, cuentan solo con emisiones derivadas del transporte desde Planta Cabrera hasta el puerto. Esta tendencia se observa marcada con mayor fuerza en la primera campaña analizada, notándose una disminución en las emisiones en las campañas sucesivas, tal como se muestra en las figuras que siguen.

Figura 5

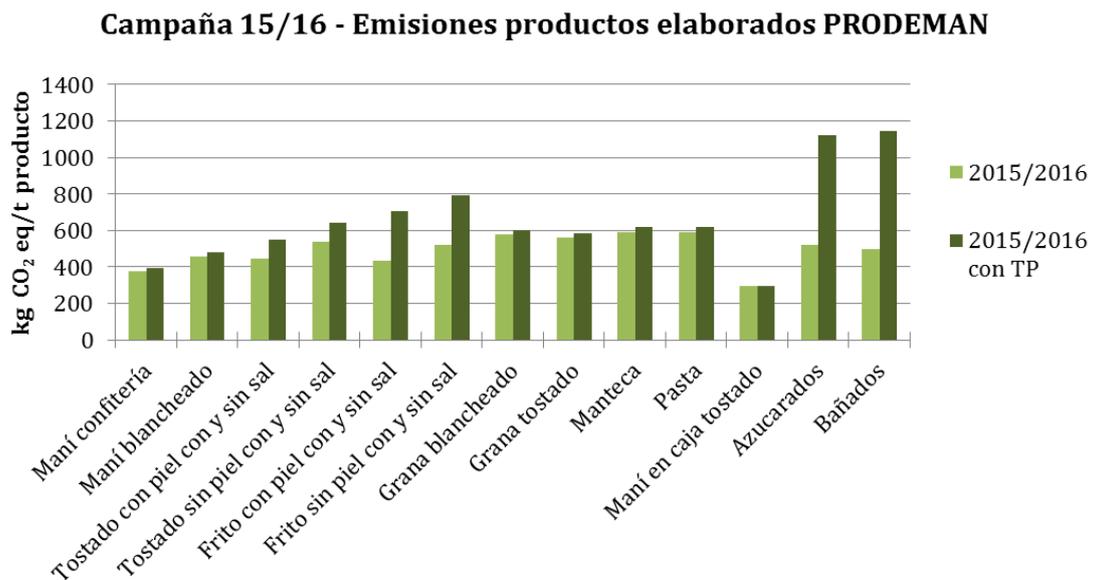


Figura 6

### Campaña 16/17 - Emisiones productos elaborados PRODEMAN

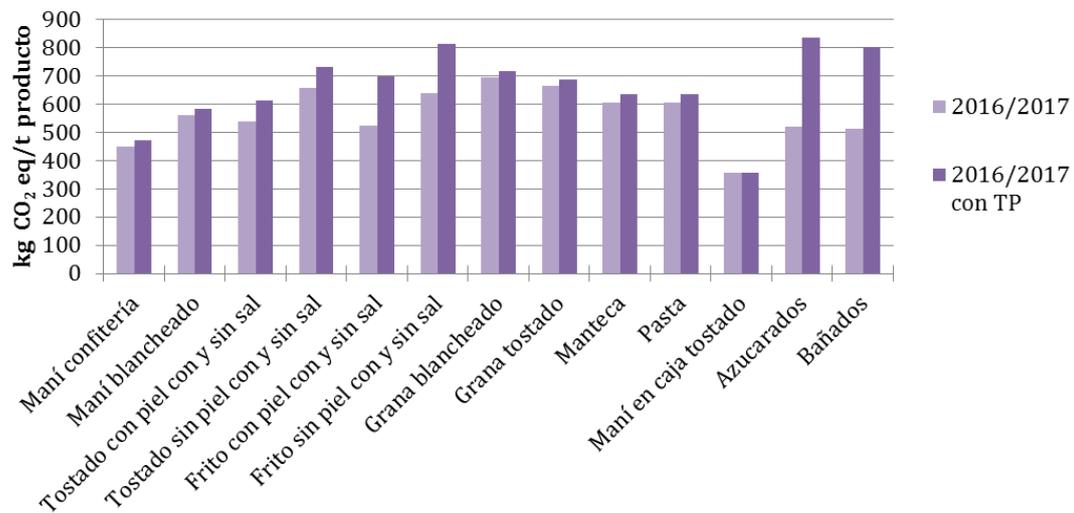
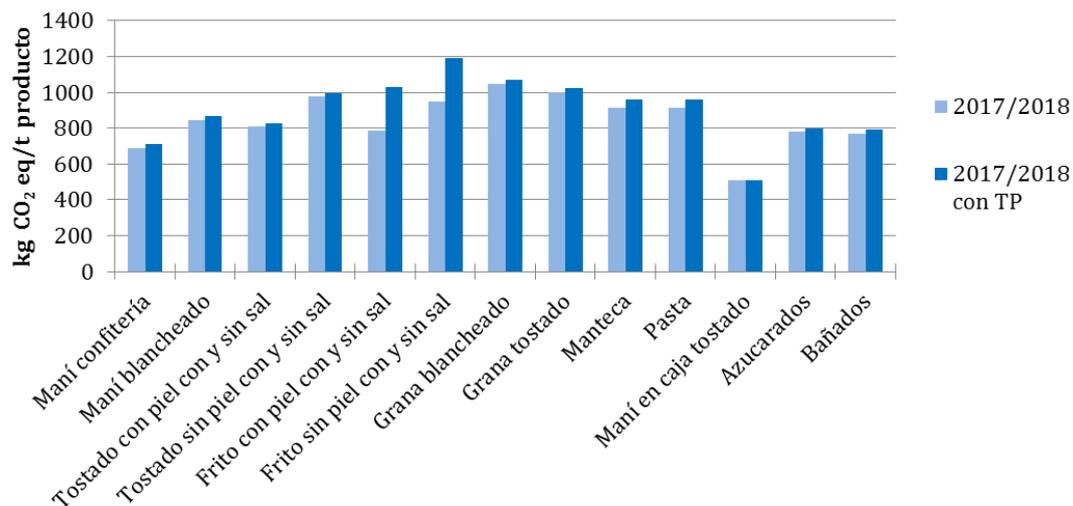


Figura 7

### Campaña 17/18 - Emisiones productos elaborados PRODEMAN



Las hectáreas sembradas se incrementaron un 25% en las últimas dos campañas respecto a la primera, pero los rendimientos fueron algo inferiores en la campaña 2016/2017 y marcadamente inferiores en la campaña 2017/2018, debido a la sequía que afectó al cultivo. Esto influye notablemente en las emisiones por tonelada de maní cosechado, que se incrementan 13 % y 75 % con respecto a la primera campaña. No ocurre lo mismo cuando el análisis de emisiones se hace respecto de las hectáreas trabajadas. En este caso, las emisiones se mantienen e incluso disminuyen levemente.

Las emisiones en la etapa industrial se incrementan notablemente en la campaña 2016/2017 respecto de la primera campaña y se reducen levemente en el último período. En esta última campaña, el consumo unitario de gas natural (y por ende las emisiones) por tonelada de maní procesado fue notablemente mayor que en las campañas anteriores. Las causas de este incremento pueden ser un incremento en la humedad relativa ambiente, una disminución en la temperatura ambiente, o mayor humedad en el maní en caja.

Para productos elaborados, se arrastra el aumento en las emisiones de las últimas dos campañas analizadas, respecto a la primera, lo que incrementa la huella de cada uno. Si se incluye el transporte de productos elaborados en el análisis, se incrementan las emisiones de aquellos productos con distribuciones a largas distancias y con poca eficiencia en la ocupación de los camiones.

## **Bibliografía**

*Bolsa de Comercio de Rosario. (2018). Argentina líder en exportaciones del complejo de maní. Obtenido de Informativo semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario - AÑO XXXVI - N° Edición 1882: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/argentina-8>*

*Cámara Argentina del Maní. (2019). Obtenido de <http://www.camaradelmani.org.ar/espanol/socios/>*

*Cámara Argentina del Maní. (2019). Cluster Manisero Argentino. Obtenido de <http://www.camaradelmani.org.ar/espanol/cluster-manisero-argentino/>*

*ISO. (2006). ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, International Organisation for Standardisation (ISO).*

*ISO. (2013). ISO 14067: Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication. International Organization for Standardization (ISO).*

*ISO/TS 14072. (2014). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment. Obtenido de Organización Internacional de Normalización: <https://www.iso.org/standard/61104.html>*

*The Life Cycle Initiative. (2015). Guidance on Organizational Life Cycle Assessment. Obtenido de United Nations Environment Programme: <https://bit.ly/1HLDfGa>*

# Comparación de Tres Sistemas Productivos de Zapallo a Través del Análisis de Ciclo de Vida en el Valle del Río Colorado

Jonatan Manosalva<sup>1</sup>  
 Marcos Roba<sup>1</sup>  
 Juan P. D'amico<sup>2</sup>  
 Patricio Varela<sup>2</sup>

1 Instituto de Ingeniería Rural – CIA – INTA (CC 25, 1712, Castelar, Buenos Aires  
 Tel: 11 4621 1177 int. 8846  
 manosalva.jonatan@inta.gob.ar )

2 EEA Hilario Ascasubi - INTA (Ruta 3 Km 794, 8142, Hilario Ascasubi, Villarino, Buenos Aires. Tel:  
 (02928) 491 011)

## Resumen

*La tecnología para el cultivo de cucurbitáceas en la Argentina está constituida por una alta proporción de labores de labranza. El manejo agronómico puede involucrar diversa cantidad de insumos en función de las particularidades agroecológicas y rendimientos esperados, pero no se evidencian diferencias sustanciales en el nivel tecnológico adoptado en cada caso (Bezic y Dall'Armellina, 2013 y Rodríguez et al., 2013). En base a los resultados obtenidos en ensayos a campo, evaluando el cultivo de zapallo anco (Cucurbita moschata) durante 3 ciclos productivos (2016, 2017 y 2018) en el valle bonaerense del Río Colorado (VBRC), bajo sistema conservacionista de labranza cero (L0; siembra directa) + fertirriego por goteo; se planteó como objetivo obtener el perfil ambiental de esta producción (Situación III, SIII) y su comparación bajo manejos convencionales tradicionales típicos de la zona: obteniendo rendimientos promedio (Situación I, SI) y rendimientos máximos (Situación II, SII). El alcance del estudio contempló la producción agrícola de zapallo desde la cuna a la puerta (tranquera del campo). Se generó una planilla de interfaz de datos en Excel con los inventarios de ciclo de vida (ICV) correspondientes, se modeló el ciclo de vida de la producción de 1 kg de zapallo en el VBRC, empleando SimaPro 8.3 y utilizando como base de datos secundarios Ecoinvent 3.3. Se calcularon y compararon los perfiles ambientales a partir de la aplicación del método de evaluación de impactos (EICV), Recipe midpoint (H). Respecto de la mejor condición productiva de la zona, el SIII demandó sólo el 35% de las labores y el 25% del aporte de agua de riego. El rendimiento medio fue de 49,4 t-ha<sup>-1</sup>, valor que duplicó los mejores rendimientos zonales y fue cuatro veces superior al promedio de la región. A su vez, la tecnología en la SIII permitió hacer ocho veces más eficiente el uso del agua, reduciendo 70% el consumo de este recurso. El SI presentó la peor performance ambiental, con los valores más altos en 16 de las 18 categorías de impacto evaluadas, en comparación con los SII y SIII, debido al menor rendimiento obtenido y al manejo agronómico realizado: labranza convencional en seco. El SII presentó una situación intermedia, con valores intermedios en 13 categorías, y con los valores más altos en ocupación de tierra agrícola y agotamiento del agua, debido principalmente a la ineficiencia que presenta el riego gravitacional por surco. Por su parte, el SIII presentó la mejor performance ambiental, con los valores más bajos en 14 categorías de impacto y valores medios en 4 de ellas, demostrando la mayor eficiencia del sistema (riego por goteo y siembra directa) en comparación con los otros sistemas.*

**Palabras clave:** producción hortícola, zapallo, labranza cero, fertirriego, ACV.

## Introducción

La tecnología para el cultivo de cucurbitáceas en la Argentina está constituida por una alta proporción de labores de labranza. El manejo agronómico puede involucrar diversa cantidad de insumos en función de las particularidades agroecológicas y rendimientos esperados, pero no se evidencian diferencias sustanciales en el nivel tecnológico adoptado en cada caso (Bezic y Dall'Armellina, 2013 y Rodríguez et al., 2013). El laboreo del suelo está dedicado a la remoción de la capa arable, la preparación de la cama de siembra, el control de malezas a lo largo del ciclo del cultivo y la sistematización del terreno necesaria para la conducción del agua de riego. Lo cual implica una alta frecuencia e intensidad de laboreo, diversidad en el parque de maquinaria a utilizar y la ejecución de labores manuales complementarias a las tracto-mecanizadas.

En la Argentina el riego del zapallo se realiza mayoritariamente por surco (Lusto et al. 2013) con una baja eficiencia en el uso del agua respecto a sistemas presurizados como el riego por goteo (Varela et al. 2014). En el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) el cultivo de zapallo requiere a lo largo del todo su ciclo el aporte de 420 mm de lámina (Sánchez, 2012).

Los sistemas conservacionistas muy difundidos en Argentina para la producción extensiva de granos no se han desarrollado aún en la producción de hortalizas como zapallo, y otras cucurbitáceas en Argentina. La Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi del INTA ha desarrollado diversas experiencias a campo incorporando la siembra directa en la producción de zapallo anco, el objetivo de este trabajo es comparar tres sistemas disponibles para su producción a través del análisis de ciclo de vida.

## Materiales y métodos

En base a los resultados obtenidos en ensayos a campo, evaluando el cultivo de zapallo anco (*Curcubita moschata*) durante tres ciclos productivos (2016, 2017 y 2018) en el VBRC bajo sistema conservacionista de labranza cero (L0; siembra directa) + fertirriego por goteo; se planteó como objetivo obtener el perfil ambiental de esta producción (Situación III, SIII) y su comparación bajo manejos convencionales tradicionales típicos de la zona: obteniendo rendimientos promedio (Situación I, SI) y rendimientos máximos (Situación II, SII). Las condiciones y rendimientos para las SI y SII fueron estimadas en función de modelos representativos elaborados a partir de la información regional del VBRC obtenida por especialistas del INTA y la bibliografía disponible.

El alcance del estudio contempló la producción agrícola de zapallo desde la cuna a la puerta (tranquera del campo). Se generó una planilla de interfaz de datos en Excel con los tres inventarios de ciclo de vida (ICV) correspondientes para cada situación, se modeló el ciclo de vida de la producción de 1 kg de zapallo en el VBRC, empleando SimaPro 8.3 y utilizando como base de datos secundarios Ecoinvent 3.3.

Se calcularon y compararon los perfiles ambientales a partir de la aplicación del método de evaluación de impactos (EICV), Recipe midpoint (H), evaluando las categorías de impacto que menciona la Regla de Categoría de Producto para Vegetales (Product Category Rules: Vegetables Product Group Classification: UN CPC 012) y que deben ser informadas para la obtención de una ecoetiqueta ambiental tipo III según la norma ISO 14025, llamada Declaración Ambiental de Producto (Environmental Product Declaration, EPD) en el programa internacional EPD System:

- Emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas como la suma del potencial de calentamiento global, con una perspectiva de 100 años (GWP 100), en dióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub>eq).
- Emisiones de gases acidificantes, expresados como la suma del potencial de acidificación (AP) en dióxido de azufre equivalentes (SO<sub>2</sub>eq).
- Emisiones de gases que contribuyen a la creación de ozono a nivel del suelo, expresado como la suma del potencial de creación de ozono (POCP), en etileno equivalentes (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).
- Emisiones de sustancias al agua que contribuyen al agotamiento del oxígeno, expresadas como la suma de la eutrofización potencial (EP), en fosfato equivalentes (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

Para la confección del inventario y modelado de la SIII se promediaron los datos registrados durante los tres años de: dosis de fertilizantes (urea y fosfato diamónico), herbicidas (glifosato), semilla (modelado como producción de zucchini) e insecticida (carbaril, modelado como pesticida) utilizados; los consumos de combustible en las labores tracto-mecanizadas (el consumo total fue modelado para un tractor representativo y no discriminado entre las distintas labores, como “diesel quemado en maquinaria agrícola”) y el utilizado en el riego. El consumo de agua en el sistema de riego por goteo (modelado como “Irrigating” con las modificaciones necesarias para el contexto argentino) y dos tipos de transporte, flete corto de 25 km (desde la agronomía al campo) y flete largo de 800 km (Buenos Aires a agronomía) de todos los insumos empleados en el campo.

Tabla 1. Recursos empleados y rinde del cultivo de zapallo según las situaciones.

	Situación I	Situación II	Situación III
Lámina de agua (mm)	0	420,0	125,4
Combustible labores + riego (l ha <sup>-1</sup> )	25,8	35,2	74,6
Urea (kg ha <sup>-1</sup> )	89,13	139,13	239,13
Fosfato diamónico (kg ha <sup>-1</sup> )	55	55	55
Semilla (kg ha <sup>-1</sup> )	1,2	1,2	1,2
Glifosato (l ha <sup>-1</sup> )	2,6	2,6	4,4
Carbaril (l ha <sup>-1</sup> )	0,1	0,1	0,1
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	12,5	25,0	49,4
Siembra	Convencional	Convencional	Directa

Además, se contempló el uso y ocupación del terreno, en las tres S se modeló la transformación anual del suelo proveniente de otro cultivo anual antecesor no irrigado, y una ocupación de 8 meses en las SI y SII, y 6 meses en la SIII.

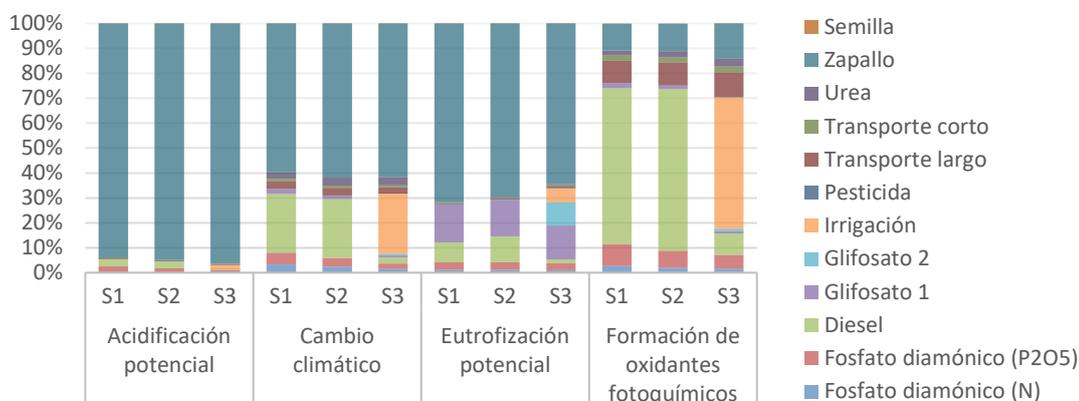
También se modelaron las salidas del sistema como emisiones al aire, agua y suelo provenientes de la aplicación de los agroquímicos según las transformaciones que estos experimentan: desnitrificación, volatilización, lixiviación y escurrimiento. Los valores fueron calculados según Nemecek et al. (2007).

## Resultados

En la categoría de impacto cambio climático (Figura 1), las emisiones de CO<sub>2</sub>eq debido a la aplicación de fertilizantes y herbicidas contribuyeron en un 60% a la huella de carbono total en los tres sistemas. En las SI y SII le siguieron las emisiones debidas a la quema de combustible en las labores tracto mecanizadas con un 24% y en la SIII el proceso de riego ocupó el segundo lugar con igual porcentaje. El restante 16% se debió a la producción de los agroquímicos, semilla y los transportes asociados.

En las tres situaciones para la acidificación potencial la aplicación de agroquímicos contribuyó alrededor del 95% de las emisiones de SO<sub>2</sub>eq. Mientras que la aplicación de agroquímicos contribuyó en un 72% en la SI, 70% en la SII y 64% en la SIII, en la categoría eutrofización potencial.

Figura 1. Perfil ambiental de 1 kg de zapallo en el VBRC para las situaciones I, II y III.



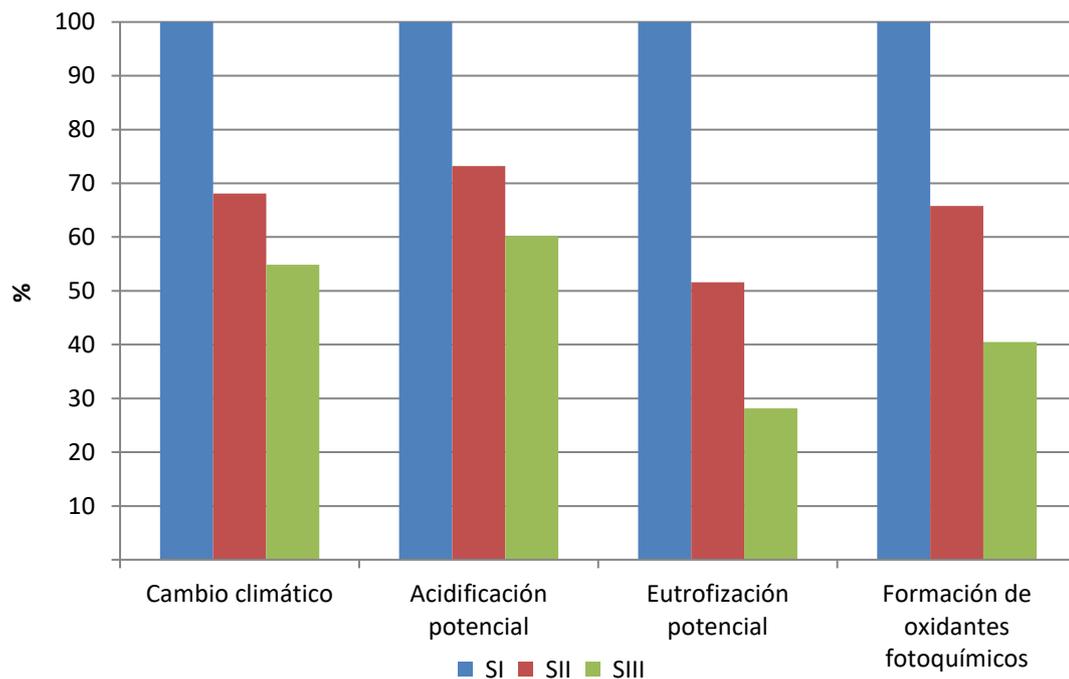
Método: Recipe Midpoint (H) V1.13 / Caracterización / Excluyendo emisiones a largo plazo.

Por último, la categoría formación de oxidantes fotoquímicos estuvo mayormente determinada por la quema de combustible (diesel) en tractor estándar utilizado para las labores en un 63% en la SI y 65% en la SII, mientras que en la SIII el proceso de riego por goteo contribuyó con un 53%, debido principalmente al consumo de combustible en este sistema.

Respecto de la mejor condición productiva de la zona (SII), la SIII demandó un 42% de las labores tracto-mecanizadas y en consecuencia sólo un 16% del gasto de combustible para dichas tareas; el 30% del aporte de agua de riego y un 196% del gasto de combustible en el sistema de riego por goteo. El rendimiento medio de zapallo fue de 49,4 t·ha<sup>-1</sup>, valor que duplicó los mejores rendimientos zonales y fue cuatro veces superior al promedio de la región. A su vez, la tecnología en la SIII permitió hacer ocho veces más eficiente el uso del agua, reduciendo 70% el consumo de este recurso.

La SI presentó la peor performance ambiental, con los valores más altos en las 4 categorías de impacto evaluadas (Figura 2), en comparación con las SII y SIII, debido al menor rendimiento obtenido y al manejo agronómico realizado: labranza convencional en secano. La SII presentó una situación intermedia, con valores intermedios en todas las categorías de impacto. Y, por último, la SIII presentó la mejor performance ambiental, con los valores más bajos en las 4 categorías de impacto, demostrando la mayor eficiencia del sistema (riego por goteo y siembra directa) en comparación con los otros sistemas.

Figura 2. Comparación de 1 kg de zapallo producido bajo situación I (SI), II (SII) y III (SIII).



Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / Europe Recipe H / Caracterización / Excluyendo emisiones a largo plazo.

## Conclusiones

A través del análisis del ciclo de vida se pudo corroborar las diferencias evidenciadas a campo de los tres sistemas de producción utilizados en el Valle del Río Colorado. El sistema convencional tiene el mayor impacto ambiental y además presenta el menor rendimiento. La combinación de no labranza y el fertirriego por goteo permitió reducir el impacto en las cuatro categorías y maximizar los rendimientos.

Es importante continuar la evaluación de estos sistemas modelizando detalladamente los procesos de labranza y movimientos del suelo, mediante la generación de información de ciclo de vida de las maquinarias utilizadas y labores realizadas en nuestro país para tal fin, para lograr un adecuado y completo desarrollo del módulo principal de la EPD (Environmental Product Declaration), como así también de los procesos involucrados en el Upstream y Downstream de la misma reglamentación.

## Bibliografía

Bezic, C. y Dall'Armellina, A. 2013. Control de malezas en el cultivo de zapallo. En: Della Gaspera, P. (Ed) Manual del cultivo de zapallo anquito (*Cucurbita moschata* Duch.) (p: 125 - 157) La Consulta. Mendoza. Ediciones INTA.

Lusto, J; Pérez Pizarro, J; Martínez, R; Della Gaspera, P. 2013. Manejo del cultivo en diversas regiones del país Preparación del suelo, Riego, Polinización, Cosecha y recolección. En: Della Gaspera, P. (Ed) Manual del cultivo de zapallo anquito (*Cucurbita moschata* Duch.) (p: 113 - 125) La Consulta. Mendoza. Ediciones INTA.

Nemecek, T. and Kagi, T. 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems. Data v2.0. Ecoinvent report N° 15.

*Product Category Rules according to ISO 14025. Vegetables Product Group Classification: UN CPC 012. 2011:20 version 2.0*

*Rodríguez, Y., Fernández, H., Brito, J., Carneiro, J. y Loureiro, D. 2013. Demanda de potencia y energía de un tractor agrícola en función de las marchas de trabajo y el manejo del suelo. Rev Eng 21 (3) 253-260.*

*Sanchez, R. 2012. Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado. Informe Técnico 40. ISSN: 0328-3399. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Disponible web: <http://inta.gob.ar/documentos/estimacion-de-los-requerimientos-hidricos-de-loscultivos-en-el-valle-bonaerense-del-rio-colorado>.*

*Varela, P; Bongiovanni, M; Arbizu, S; Sánchez, R. 2014. Evaluación de la eficiencia del riego gravitacional en el cultivo de cebolla. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. 5 al 9 de mayo de 2014.*

## Propuesta de Análisis de Ciclo de Vida Para Jamón Crudo

Oscar Pastorutti  
Leila Schein  
Marcelo Ponti  
Sol Montechiari Herman  
Maria Laura Pamparato

Universidad Nacional de Luján, Depto. de Ciencias Básicas  
oscarpastorutti@gmail.com

### Resumen

*El sector porcino en la Argentina, según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, viene creciendo de tanto en el consumo interno como en la exportación, en general como carne y en forma de distintos cortes porcinos con mayor valor agregado. Para acompañar esta tendencia la confección de cálculos de huellas ambientales (o cualquier otra aplicación de métricas de sustentabilidad y/o información ambiental asociada al producto) empiezan a ser un valor agregado fundamental para su comercialización en algunos mercados internacionales. Pero, a nivel nacional, la publicación de trabajos científicos sobre cálculo de Huellas Ambientales de productos, es muy baja y abarca relativamente pocos sectores e indicadores. Por eso se propone aportar información ambiental de calidad al sector porcino a partir de un caso de estudio, con la perspectiva de análisis de ciclo de vida. También avanzar en caracterizaciones representativas de la producción local, y así completar faltantes para la construcción de bases de datos nacionales.*

*Este trabajo consiste en el desarrollo de un análisis de ciclo de vida aplicado a la producción de carne de cerdo, desde la cuna al portal de distribución, en particular, presentado resultados para la producción de 1 kg de jamón crudo.*

*Se construyó el inventario en tres etapas independientes (con flujos de referencia distintos, para luego poder ensamblarse): la cría y engorde del animal a campo, y las etapas vinculadas a la operación frigorífica, donde se realiza la faena (primer ciclo) para luego pasar a las consecuentes etapas necesarias para la producción del jamón (segundo ciclo). El inventario cuenta con datos de fuentes primarias (frigorífico industrial) y fuentes bibliográficas específicas. Se utilizará como base de datos Ecoinvent 3.5.*

*A partir de los resultados se identificaron puntos relevantes sobre la disponibilidad y calidad de los datos que se pueden utilizar. Observando distintos niveles de detalle de los subprocesos se propusieron distintas formas de modelarlos, y qué asignaciones deben considerarse. Se generó un perfil ambiental del jamón crudo, identificando datos a los que se considera realizar análisis de sensibilidad, y puntos críticos, que puedan ser el origen de otras evaluaciones ambientales y permitan gestionar mejoras en el proceso.*

**Palabras claves:** Inventario Ciclo de Vida, Producción Porcina, Jamón Crudo, Calidad de datos.

### Introducción

El sector porcino en la Argentina viene creciendo de tanto en el consumo interno como en la exportación, en general como carne y en forma de distintos cortes porcinos con mayor valor agregado. Para acompañar esta tendencia la confección de cálculos de huellas ambientales (o cualquier otra aplicación de métricas de sustentabilidad y/o información ambiental asociada al producto) empiezan a ser un valor agregado fundamental para su comercialización en algunos mercados internacionales.

Pero, a nivel nacional, la publicación de trabajos científicos sobre cálculo de Huellas Ambientales de productos, es muy baja y abarca relativamente pocos sectores e indicadores. Por eso se propone aportar información ambiental de calidad al sector porcino a partir de un caso de estudio, con la perspectiva de análisis de ciclo de vida, y avanzar en caracterizaciones representativas de la producción local, y así completar faltantes para la construcción de bases de datos nacionales.

En este contexto, adquiere suma importancia que la construcción de los inventarios esté acompañada por el análisis de la calidad de los datos y su representatividad. Este problema siempre está presente cuando se

plantean estudios sobre sistemas de alta heterogeneidad, dada la distribución geográfica y diversidad tecnológica de los productores, y menor cantidad de información respecto a otras actividades. A los datos obtenidos se les adjunta una puntuación de calidad de datos, a partir de una matriz de calidad de datos (Weidema, et al.1). Según esta metodología se puntúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 indicadores: confiabilidad, representatividad, correlación temporal, geográfica y tecnológica, donde 1 es el mejor dato y 5 el peor.

Este trabajo propone el desarrollo de inventarios de ciclo de vida aplicado a la producción de carne de cerdo, desde la cuna al portal de distribución, en particular, presentado resultados para la producción de 1 kg de jamón crudo. El inventario cuenta con datos de fuentes primarias (frigorífico industrial) y fuentes bibliográficas específicas, proponiendo 3 procesos: la cría y engorde del animal a campo (principal insumo), y las etapas vinculadas a la operación frigorífica, donde se realiza la faena (primer ciclo) para luego pasar a la producción del jamón (segundo ciclo).

## **Caracterización de los procesos**

### ***Cría del cerdo***

En la actualidad la producción porcina es muy heterogénea, pero los establecimientos a campo semi intensivos e intensivos (altamente tecnificados) proveen la mayor parte de los animales a faena. Estos sistemas están basados en la producción continua y rotación de los animales, que son alimentados de forma diferenciada según su edad, en ciclos determinados por las pariciones por año de las madres (2 por año, 10 a 20 animales por madre/año).

La alimentación está basada en maíz (hasta un 70%) y soja, con agregado de vitaminas y minerales en forma de pasturas seleccionadas para sistemas semi intensivos y núcleos balanceados. Se utilizan rollos de distintos materiales (paja de trigo, sorgo, etc.), para las camas. El transporte de los alimentos, núcleos e insumos veterinarios es muy relevante para la localización del establecimiento productivo y su estructura de costos, por lo que los proveedores se encuentran en la región.

Uno de los aspectos más importantes que se deben considerar la producción de purines, muy variable de acuerdo a la edad del animal, alimentación, consumo de agua, entre otros. Se estiman en promedio como 6,7% del peso vivo del total de la unidad productiva.

La caracterización de la cría se realizó a partir de manuales de producción porcina<sup>2</sup>, semi intensiva, y consultas a especialistas y productores.

Figura 1: Esquema del proceso de cría de cerdos

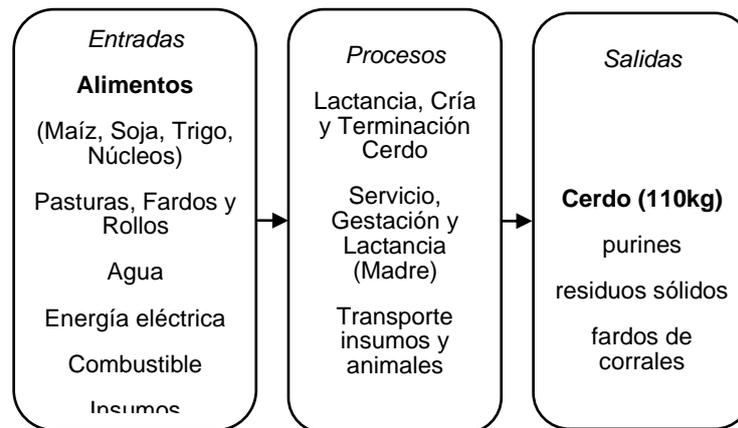


Tabla 2: Inventario de entradas para la cría de cerdo de 110kg (incluyendo servicio y gestación)

Ocupación de Suelo (m2a)	Consumo Agua (l)	Electricidad (kwh)	Diesel (l)	Transporte (tkm)
35, 56	1228, 40	3, 45	2, 49	47, 12
Maíz (kg)	Soja (kg)	Trigo (kg)	Núcleos (kg)	Fardos cama (kg)
184, 18	74, 01	10, 68	17, 58	12, 63

### Primer Ciclo. Faena

Durante este proceso se faenan los cerdos, que luego de ser sacrificados, serán llevados al frigorífico en forma de dos medias reses limpias. Pero, existen pocos datos locales actuales, se recurrió a fuentes bibliográficas de otros países, con tecnología similares.

En esta etapa a los animales se los lava con el fin de minimizar la suciedad que pueda ingresar a la planta, donde se genera un primer efluente con alto contenido de materia orgánica. Luego se procede a su faena por insensibilización o aturdimiento (shock eléctrico) y se degüellan con cuchillos estériles para su desangrado, la sangre puede ser colectada para su utilización en la fabricación de morcilla.

Una vez desangrado, se procede al escaldado, que es la inmersión en tanques de agua caliente, para la remoción del pelo. Luego del depilado, el animal se eviscera y corta en dos medias reses. En la evisceración se remueven los órganos internos, los cueles pueden ser utilizados como subproductos. El corte se lleva a cabo manualmente o con máquinas aserradoras. Se procede luego al lavado de las mismas. Las dos medias reses se llevan a la cámara de oreo, para su posterior traslado al frigorífico.

Figura 2: Diagrama de entradas y salidas del proceso de Faena

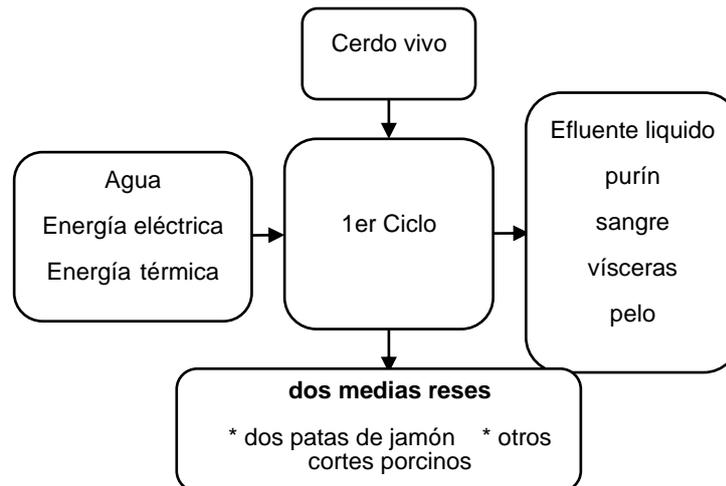


Tabla 3: Entradas para el proceso de Faena, por cerdo (110kg) procesado

Fase	Agua (L)	Energía Térmica (MJ)	Energía Eléctrica (MJ)
Recepción	42,1	0	0
Insensibilización y Desangrado	55,7	0,014	0,0432
Escaldado	68,4	1,937	0,072
Corte	131,1	0	0,0866
Otros	0	0,495	0,0936
<i>Total</i>	<i>297,3</i>	<i>2,446</i>	<i>0,1802</i>
<i>Referencia</i>	<i>1,2</i>	<i>3,4</i>	<i>3,4</i>

Tabla 4: Emisiones y residuos del proceso de faena, por cerdo (110kg) procesado

Fase y salidas por cerdo procesado	DBO5 (kg/L)	COD (Kg/L)	N Total (mg/L)	P Total (mg/L)	Efluente (L)	Residuo o Sólido (kg)	Sangre (kg)	Pelo (kg)	Restos (Piel, uñas) (kg)	Visceras (kg)
Recepción	0,023	0,05	16,5	4,50	37,00	1,71				
Insensibilización y Desangrado	0,34		28,5	1,00	50,02		4,56			
Escaldado		0,35	28,5	1,75	60,20			1,14	1,14	
Corte		1,95	64,5	8,10	115,30					11,4
<b>Total</b>	<b>0,363</b>	<b>2,35</b>	<b>138,0</b>	<b>15,35</b>	<b>262,52</b>	<b>1,71</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>1,14</b>	<b>11,4</b>

### Segundo Ciclo

A diferencia de los procesos anteriores, en esta etapa se contó con gran cantidad de datos específicos y recientes de una planta industrial, dedicada específicamente a la producción de jamón crudo, localizada en la provincia de Buenos Aires.

En esta etapa se reciben las patas traseras del cerdo y se almacenan en cámara frigorífica a baja temperatura. El salado consiste en el desangrado y salado con la sal de cura de las piezas de aproximadamente de 10 Kg. Se apilan en cámara de frío durante 14 días, enterrando en sal gruesa, cuyo excedente se elimina por lavado con agua potable.

Luego comienza el post salado, secado y almacenamiento en bodega durante 11 meses, para alcanzar un tiempo total de elaboración de 1 año. El proceso finaliza con el deshuesado, generando un desperdicio de grasa y hueso, prensado y envasado al vacío en bolsa multicapa.

Figura 3: Diagrama de entradas y salidas para la elaboración del Jamón Crudo

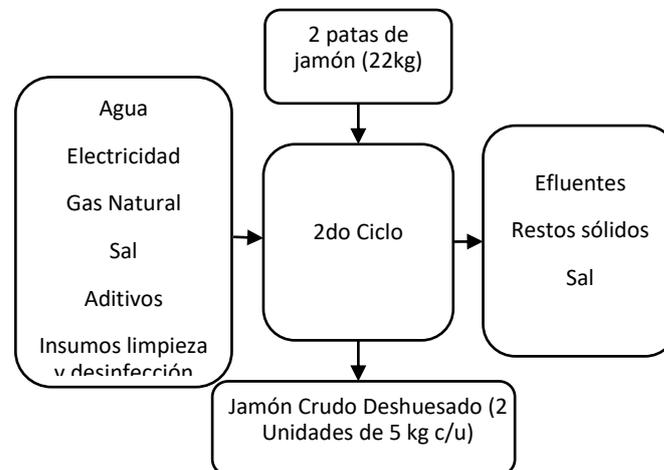


Tabla 5: Entradas y Salidas para la elaboración de 1kg de Jamón Crudo

Entradas	Salidas
Patas de Jamón (kg): 2,2 Sal gruesa (kg): 1,05219 Aditivos (kg): 0,07374 <i>Embalajes e insumos limpieza y desinfección</i>	Jamón Crudo deshuesado (kg): 1,0 Sal gruesa (kg): 1,02062 Grasas (kg): 0,287 Huesos (kg): 0,102
Agua (l): 14,823	Agua (L): 14,823 Efluente (DBO <sub>5</sub> ) (mg/L): 330 Perdida por evaporación (kg): 0,726
Energía Eléctrica (Kwh): 3,944 Gas natural licuado (m <sup>3</sup> ): 0,00090	

### Resultados y Conclusiones

La información presentada es una primera aproximación a un inventario de jamón y otros productos porcinos, con puntuación de calidad de datos de entre 2 y 4. Aunque todavía falta un proceso de actualización y validación de datos, tanto con los productores y cámaras empresariales, y revisión por especialistas, esta

aproximación ya permite plantear un perfil ambiental del jamón crudo argentino, detectando puntos críticos. Tal es el caso de la gran cantidad de residuos y efluentes con alta carga de materia orgánica.

A partir de los resultados se identificaron puntos relevantes sobre la disponibilidad y calidad de los datos que se pueden utilizar. Observando distintos niveles de detalle de los subprocesos se propusieron distintas formas de modelarlos, y qué asignaciones deben considerarse. Se propone continuar esta línea de trabajo, que puedan ser el origen de otras evaluaciones ambientales y permitan gestionar mejoras en los procesos.

## **Bibliografía**

*“Cleaner Production Assessment in Meat Processing” COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, para UNEP y DEPA (Dinamarca)*

*Manual de Porcinos (Preliminar). Dirección de Escuelas Agrarias, Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires (Coordinador)*

*SENASA. Decreto 4238/68, y Resoluciones SAGPyA complementarias*

*Weidema, Bo Pedersen, Wesnaes, Marianne; “Data quality management for life cycle inventories” J. Cleaner Production, Volume 4, Number 34, 1996.*

## Análisis de Ciclo de Vida en la Producción Primaria Porcina. Práctica Aplicada en Curso de Capacitación

**Jorge A. Hilbert<sup>1</sup>**  
**Luciana Jennerich<sup>2</sup>**  
**Jonatan Katz<sup>3</sup>**  
**Jonatan A. Manosalva<sup>4</sup>**  
**Luciana Saporiti<sup>5</sup>**

1Ing. Agr. M.Sc. Instituto de Ingeniería Rural CIA INTA Av. Pedro Díaz 1798 (1686) Hurlingham, jorgeantoniohilbert@gmail.com 1141434394.  
 2 Lic. en Administración Rural, UTN Facultad Regional Rafaela Acuña 49 (2300) Rafaela, Santa Fe- UNL FCA Esperanza, Santa Fe, lucijennerich@gmail.com, (+54)3492-684844.  
 3Ing. Agr., UNR, Campo Experimental Villarino, CC N° 14, S2125ZAA Zavalla, Santa Fe, lostreshijos@gmail.com, (+54)341-6747253.  
 4Ing. Agr., Instituto de Ingeniería Rural – CIA – INTA, Av. Pedro Díaz 1798 (1686) Hurlingham, Buenos Aires, manosalva.jonatan@inta.gob.ar, 11-4621-1177 int. 8846.  
 5Ingeniera Industrial UBA Argentina, Msc. Engineering Management DTU Dinamarca, saporiti.luciana@gmail.com, (+54)91141880279.

### Introducción

El presente trabajo está enfocado al análisis preliminar del módulo porcino en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR el cual se encuentra enmarcado en un curso de postgrado realizado con anterioridad en dicha casa de estudios. El módulo, posee un sistema de cría porcina en condición mixta entendiendo esto como producción de cerdos distribuida en categorías al aire libre y otras en condición confinada.

El establecimiento productivo se emplaza en un total de 3 hectáreas. Como funciones secundarias, el módulo proporciona la función de establecimiento educativo, para la formación de alumnos. El sistema propuesto es más intensivo en el uso de mano de obra y está pensado, según los referentes consultados en el lugar, para brindar la posibilidad de arraigo de familias en el ámbito rural con puestos de trabajo estables.

El estudio ha sido elaborado en forma colaborativa sobre una plataforma digital compartida en la cual cada miembro fue aportando información de base, datos bibliográficos y cálculos. Se realizó una evaluación conjunta de los resultados alcanzados en el trabajo elaborando las conclusiones.

### *Objetivo*

Determinar el perfil ambiental de carne producida en el módulo porcino ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (UNR).

El alcance del estudio fue “de la cuna a la puerta”, incluyendo las actividades que se desarrollan dentro del sistema, hasta que los animales son transportados para su venta. Se excluye la actividad de compostaje, proceso a través del cual, se realiza el tratamiento primario y reutilización de los desechos, debido a que la información disponible no es lo suficientemente completa y detallada. La unidad funcional utilizada fue 1 kg de carne pura sin hueso producida en el módulo porcino.

Los datos para confeccionar el inventario, se recopilaron mediante una visita y encuesta a profesionales a cargo del módulo, complementando con comunicaciones telefónicas y emails. Los mismos tuvieron que ver con cantidades de recursos e insumos utilizados para llevar a cabo el funcionamiento del sistema;

- Alimento utilizado para los animales: maíz, expeller de soja y afrechillo de trigo
- Agua utilizada
- Tipo y cantidad de otros insumos

- fardo para camas
- cal viva para entierro de animales, etc.
- tipo y cantidad de productos veterinarios
- tipo y cantidad de combustibles empleados por las maquinarias
- Electricidad
- Salidas del sistema:
  - Efluentes generados
  - tipo y cantidad de productos y co-productos generados
  - número y peso de animales muertos, etc.

No se consideraron datos de infraestructura (comederos, bebederos, parideras) ya que la PCR indica que no se debe considerar, ni del sistema de tratamiento, mediante compostaje, de la cama de los animales, por falta de información completa y detallada.

Las categorías de impacto seleccionadas fueron aquellas que deben ser reportadas según la PCR (Product Category Rules- Meat of mammals), las cuales son:

- Cambio climático (“climate change”)
- Agotamiento de la capa de ozono (“ozone depletion”)
- Acidificación terrestre (“terrestrial acidification”)
- Formación de smog fotoquímico (“photochemical oxidant formation”)
- Eutrofización de agua dulce (“freshwater eutrophication”)

Con respecto al método de evaluación de impactos, al no haber una recomendación en la PCR, se utilizó el método ReCiPe midpoint, y los factores de caracterización fueron seleccionados de acuerdo a la perspectiva jerárquica o “Hierarchist”.

## Caso en estudio

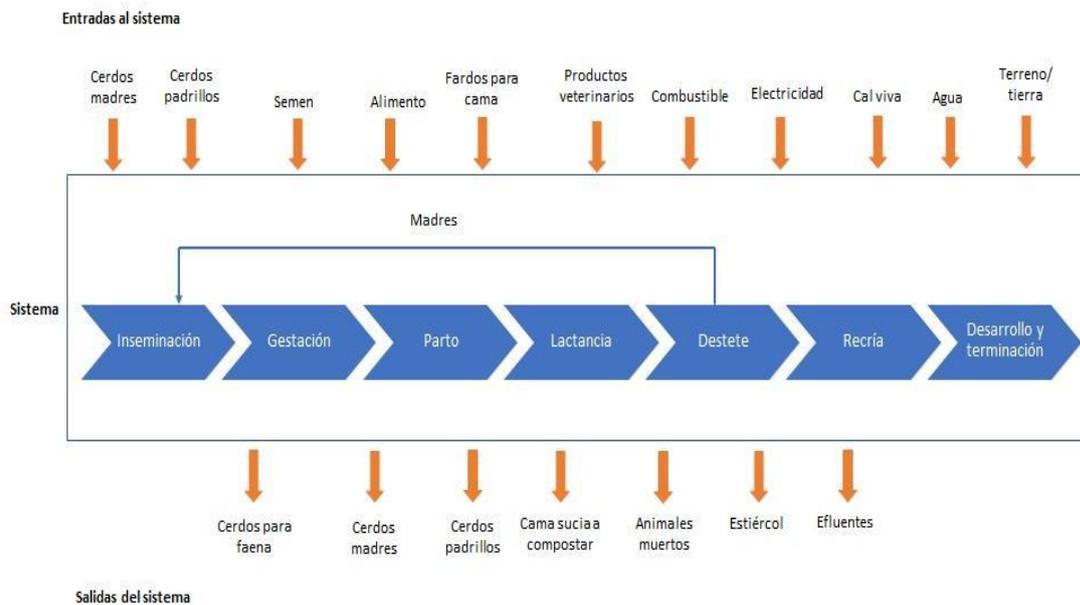
El módulo productivo clasifica como semi-intensivo (algunas categorías al aire libre y otras confinadas). El proceso de engorde se distribuye en 4 etapas o categorías obteniendo como producto final de venta un capón de 115kg.

El rodeo se organiza y maneja en bandas. Cada 28 días, se desteta una camada de 100 a 120 animales. Entre un destete y la banda siguiente hay 7 días. Por lo tanto, las crías al pie de la madre a campo que corresponden a una banda, permanecen 21 días (hasta su destete), y 28 días es el plazo para parición de la siguiente banda.

Las etapas de Recría, Desarrollo y Terminación se realizan en sistemas de cama profunda o “túneles” utilizando rollos de 120 kg para la cama y contención de los efluentes de los animales. Posee ventajas con respecto a otros como ser de menor inversión inicial, mayor bienestar animal y un menor impacto ambiental, debido a que los efluentes que se depositan en la cama permiten su posterior tratamiento en un proceso de compostaje

El diagrama de flujo del módulo porcino se puede observar en la Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de flujo del módulo porcino de la UNR



Para el registro de los datos recopilados/inventario, se emplearon las planillas en formato Excel a partir del cual se realizaron las adaptaciones correspondientes a la información disponible. Sin embargo, pese al faltante, se realiza en forma complementaria, una simulación del sistema en SimaPro 8.3, utilizando Ecoinvent 3.3 como base de datos.

El perfil ambiental se obtuvo luego de calcular los resultados de categoría para todas las categorías de impacto ambiental que se estudiaron. En este caso, serían cinco resultados de categoría que en conjunto representan el perfil ambiental del caso de estudio.

## Resultados

El principal insumo es el maíz, para el cual se utilizó el dato calculado por INTA para la provincia de Córdoba. Este alimento contribuyó con 1,16 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de carne producida.

La huella de carbono arribada en este estudio (11,3 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de carne) fue semejante a la informada en un trabajo de Estados Unidos, en el cual promediaron tres sistemas productivos porcinos diferentes, siendo igual a 10,18 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de carne de cerdo “comestible”.

Los procesos/insumos de mayor impacto para cada categoría de impacto fueron: Cambio climático: La producción del expeller de soja es la mayor responsable de este valor, con una contribución del 76%, seguido por el maíz a tranquera, con una contribución de aproximadamente 10%.

Agotamiento de la capa de ozono: la producción y transporte de medicamentos/secuestrantes (modelados como pesticidas). Respectivamente, dichos procesos contribuyen aproximadamente en un 59% y 18%.

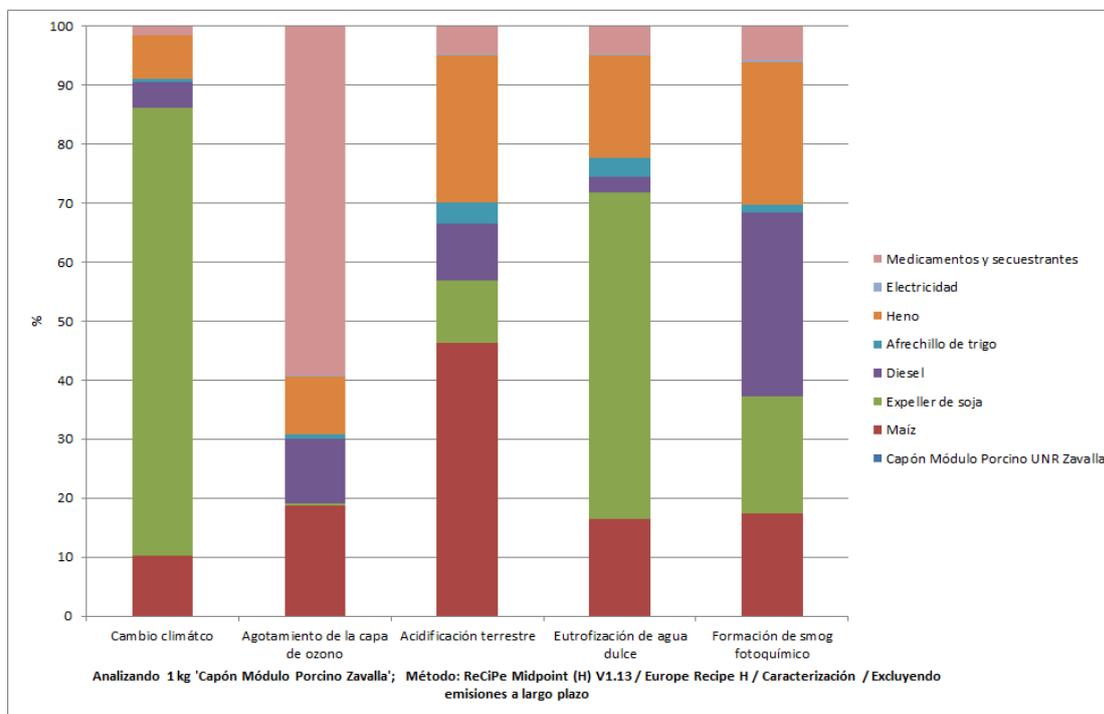
Acidificación terrestre: el maíz a tranquera y la producción (46%) y transporte del heno utilizado para la cama profunda (25%).

Eutrofización de agua dulce: el impacto proviene principalmente del expeller de soja (55%). En este punto debemos resaltar que al incorporar la totalidad de efluentes y animales muertos estos resultados podrían variar significativamente.

Formación de smog fotoquímico: la combustión de diesel en maquinarias agrícolas representa un 31% del resultado de esta categoría de impacto. Le sigue en importancia la producción y el transporte del heno.

A continuación, se observa en la figura 2, los resultados correspondientes a la participación o representación de cada dato ingresado del sistema sobre las categorías de impactos consideradas.

**Figura 2 - Analizando 1 kg 'Capón Módulo Porcino Zavalla'; Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / Europe Recipe H / Caracterización / Excluyendo emisiones a largo plazo.**



## Conclusiones

Se puede decir que la producción de maíz se encuentra entre los principales contribuyentes al impacto ambiental generado en cuatro de las cinco categorías de impacto recomendadas por la PCR, seguido del expeller de soja que presenta contribuciones importantes en dos de ellas (cambio climático y eutrofización de agua dulce). El uso de heno también genera impacto ambiental proporcionalmente importante en tres categorías de impacto: acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce y formación de smog fotoquímico.

Los medicamentos y secuestrantes (modelados como pesticidas) son los que contribuyen en mayor proporción al agotamiento de la capa de ozono.

Debido a la notable importancia de la participación de los alimentos en los impactos considerados, debería extremarse los esfuerzos en futuros estudios que permitan modelar la producción propia de insumos claves (maíz y soja) si son producidos en el mismo establecimiento de manera de tener un mayor control y certidumbre sobre los mismos.

Por otro lado, dado que el módulo porcino emplea dos tecnologías de producción, sería importante profundizar este estudio realizando un estudio comparativo de sistemas de parición y destete a campo y confinado. Al mismo tiempo, profundizar el análisis incorporando otros subsistemas como ser, desnaturalización de soja y partido, confección de mezclas y proceso de compostaje.

## Bibliografía

*Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011, December). A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems. In IGS-Sense conference Resilient Societies.*

[https://waterfootprint.org/media/downloads/Report55\\_1.pdf](https://waterfootprint.org/media/downloads/Report55_1.pdf)

*Kool, A., Blonk, H., Ponsioen, T., Sukkel, W., Vermeer, H. M., De Vries, J. W., & Hoste, R. (2009). Carbon footprints of conventional and organic pork: assessments of typical production systems in the Netherlands, Denmark, England and Germany Carbon footprints of conventional and organic pork: assessments of typical production systems in the Netherlands, Denmark, England and Germany. *Blonk Milieu Advies [etc.]*.*

<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/50314>

*Kari Hamerschlag & Kumar Venkat. 2011. Meat Eat Less. Eat greener. Meat Eater's Guide to Climate Change + Health. Lifecycle assessments: methodology & results.*

[http://static.ewg.org/reports/2011/meateaters/pdf/methodology\\_ewg\\_meat\\_eaters\\_guide\\_to\\_health\\_and\\_climate\\_2011.pdf](http://static.ewg.org/reports/2011/meateaters/pdf/methodology_ewg_meat_eaters_guide_to_health_and_climate_2011.pdf)

*Lamnatou, C., Ezcurra-Ciauriz, X., Chemisana, D., & Plà-Aragonés, L. M. (2016). Environmental assessment of a pork-production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition. *Journal of Cleaner Production*, 137, 105-115.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616309398>

*Product Category Rules (PCR) - Meat of mammals. CPC 2111-2113. 2012:11 version 1.0.*  
<https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=7842>

*Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2011). Environmental assessment of Danish pork. Aarhus University, Aarhus, Denmark.*

<https://pdfs.semanticscholar.org/113c/5a5acf883ee50b0924e67f4e63485152bb76.pdf>

## Huella de Carbono de Placas de Cáscaras de Maní y su Comparación con Placas Industrializadas MDF de los Estados Unidos

---

Molina Magdalena<sup>1</sup>  
Mariana Gatani<sup>1</sup>  
Rodolfo Bongiovanni<sup>2</sup>  
Leticia Tuninetti<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> CIT Villa Maria CONICET  
molinamagdalenamas@gmail.com  
mgatani@hotmail.com

<sup>2</sup> INTA Manfredi  
rodolfo\_bongiovanni@yahoo.com

<sup>3</sup> INTI Córdoba  
leticiat@inti.gob.ar

### Introducción

El artículo pretende analizar cuáles son los antecedentes de las placas de cáscaras de maní y de las placas industrializadas Medium Density Fiberboard (MDF), las descripciones de la metodología implementada para llevar adelante los estudios de ciclo de vida de los materiales, una descripción de las diferentes placas, un análisis de los límites del sistema de ambas placas, un detalle de los inventarios de las entradas a los sistemas de ambas placas, enunciación y discusión de los resultados alcanzados y elaboración de las conclusiones para poder determinar el desempeño ambiental de las placas de cáscaras de maní en las Junturas, Provincia de Córdoba.

En la provincia de Córdoba, en particular en la región sur-este, se encuentra la mayor producción de maní del país, alcanzando 95 % del total con 1.600. 00 Tn / año de maní en caja en la última cosecha. Junto con países como China e India, Argentina lidera el mercado internacional de maní, y además, muy reconocido por su calidad. La tercera parte en masa del total de maní en caja corresponde a las cascaras. En consecuencia, las cascaras de maní son residuos agroindustriales en gran cantidad.

El maní se cultiva bajo suelo, y lo diferencia de otros cultivos de origen vegetal.

En el caso de las placas con cascaras de maní, la cadena de producción se caracteriza por convertir a las cáscaras de maní en materiales aptos para la arquitectura y diseño, sin aporte de la combustión como método de aprovechamiento.

Este artículo presenta los resultados del estudio de ACV de las placas de cascaras de maní desarrolladas por la Dra. Mariana Gatani (CONICET) en la empresa manisera MAGLIONE HNOS y Cia. SA. La particularidad del proceso de producción de las placas de cáscaras de maní es que convierte un residuo agroindustrial - las cáscaras de maní de origen vegetal - en un material constructivo apto para la arquitectura y el diseño.

Del total de maní que se procesa en la provincia de Córdoba, el 30% en masa corresponde a cáscaras. Las cáscaras de maní son utilizadas como alimento de ganado, camadas de aves de corral o protección de cultivos. Un desarrollo de la cooperativa COTAGRO en Córdoba desarrolló y construyó una planta de elaboración de carbón activado a partir de cáscaras de maní. La planta, instalada mediante proyecto FONTAR

se planteó para procesar entre 3% y 5% del total de cáscaras de maní. En la actualidad no está activa debido a la dificultad de competir con los costos de producción.

Las plantas de selección y procesamiento del maní son unas pocas distribuidas en el arco Sur-Este de la provincia de Córdoba. Una de ellas, MAGLIONE HNOS y Cía. Tiene convenio de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) con CONICET, donde la investigadora Dra. Mariana Gatani desarrolla un proyecto de I+D+i. El proyecto dirigido por la Dra. Gatani ha desarrollado placas compactas con cáscaras de maní, similares a las placas elaboradas por la industria maderera. Además, se han desarrollado aplicaciones en revestimientos, cielorrasos y equipamientos para interiores.

El objetivo de este estudio es analizar el desempeño ambiental de las placas de cáscaras de maní elaboradas en Las Junturas, Provincia de Córdoba para luego realizar un estudio comparativo entre la fase de producción de las placas de cáscaras de maní y las placas Medium Density Fibreboard (MDF) de la industria maderera de los Estados Unidos. Esto permitirá estimar el desempeño ambiental de las placas de cáscaras de maní.

El estudio comparado de las placas de cáscaras de maní con las placas de MDF provenientes de la industria maderera se presenta bajo el paradigma del Desarrollo Sustentable para alcanzar un producto de mercado competitivo y amigable con el ambiente.

El estudio emprendido está destinado a realizar un aporte a la línea de investigación.

## **Antecedentes**

Un antecedente que se reconoce para la elaboración del estudio de la cadena de valor de las placas de cáscaras de maní fue el estudio de la huella de carbono del ciclo de vida del maní en la provincia de Córdoba elaborado por el Dr. Rodolfo Bongiovanni y la Ing. Leticia Tuninetti (2017). El objetivo general de este caso de estudio es realizar la Huella de Carbono de la producción, procesamiento y transporte del maní en Córdoba, Argentina, para evaluar la contribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en las diferentes etapas del ciclo de vida de la cadena de valor del maní; estudiar la performance ambiental de esta cadena; y proponer alternativas de mejora a los sistemas de producción, transporte y procesamiento en Córdoba, Argentina; optimizar los procesos agroindustriales para el logro de mejoras ambientales.

Y para la elaboración del estudio de ciclo de vida de las placas Medium Density Fiberboard (MDF) se tuvieron en cuenta como antecedentes al Informe del Inventario de ciclo de vida de la fabricación de productos de madera elaborado por Wilson y Sakimoto 2004, Milota et al. 2005, Bergman y Bowe 2008, Wilson 2008 y 2010. Y también se tuvo en cuenta al inventario del ciclo de vida de los recursos forestales elaborado por Johnson en el 2005 y Oneil en el 2010.

## **Materiales y Método**

Para la realización del estudio comparado de las placas de cáscaras de maní y las placas MDF industrializadas se describen los criterios del análisis del ciclo de vida de las placas industrializadas de MDF. El estudio del ciclo de vida de las placas de MDF de los Estados Unidos aplico la norma ISO 14040. Realizó un estudio aguas abajo usando la unidad funcional de 1 m<sup>3</sup> de producción de placas de MDF y las categorías

de impacto evaluadas fueron: Calentamiento global, Eutrofización, Adelgazamiento de la capa de ozono y Smog.

*Tabla 1: Descripción de las categorías de impacto evaluadas en el análisis.*

Categoría de impacto	Caracterización	Indicador de impacto
Calentamiento global	Emisiones de gases de efecto invernadero totales en la unidad de referencia equivalentes de CO2 para CO2, metano y óxido nitroso.	Emisiones de gases de efecto invernadero
Eutrofización	Sustancias totales que contienen nitrógeno o fósforo. N-eq. se usa como unidad de referencia.	Liberaciones al aire que pueden provocar la eutrofización de los cuerpos de agua.
Adelgazamiento de la capa de ozono	Total de productos químicos formadores de ozono en la estratosfera, incluidos los HCFC, el cloro y el bromo de CFC. Los valores de agotamiento de ozono se miden en las unidades de referencia de equivalentes de CFC.	Liberaciones al aire disminuyendo o adelgazando la capa de ozono
Smog	Sustancias totales que se pueden oxidar fotoquímicamente. El potencial de formación de smog de O3 se utiliza como unidad de referencia	Liberaciones al aire que pueden generar smog

Se adoptaron iguales criterios del estudio de las placas. A continuación se presentan los resultados de ambos casos de estudio para realizar una evaluación de los datos obtenidos de las placas de cáscaras de maní y de las placas de MDF industrializadas, haciendo foco en la fase de producción de las placas.

### **Análisis del ciclo de vida de la producción de las placas de cáscaras de maní, Las Junturas, Provincia de Córdoba**

El relevamiento de los datos se realizó en Enero y Febrero del 2019 en las Junturas, Provincia de Córdoba. Se realizó un análisis del ciclo de vida de las placas del tipo “de la puerta a la puerta” para luego poder obtener la huella de Carbono. El estudio incluye el impacto de los insumos utilizados, la materia prima (cáscaras de maní), la energía consumida durante el proceso de fabricación del producto y el transporte de los insumos hasta la puerta de la planta de producción de las placas de cáscara de maní en las Junturas, MAGLIONE S.A.

El estudio incluyó tres fuentes de información: relevamiento de datos; y fuentes secundarias de bases de datos estandarizadas para ciclos de vida (Ecoinvent 3.4, 2018) y 3) del antecedente Huella de carbono del

maní en la Provincia de Córdoba, elaborado por Dr. Rodolfo Bongiovanni (INTA) y la Ing. Leticia Tuninetti (INTI).

El protocolo para el cálculo de la Huella de carbono se basó en la norma ISO 14067 (2013) y para las categorías de impacto y la estructuración y abordaje del estudio se consideraron las normas ISO 14040:2006, e ISO 14044:2006. Se implementó el software Simapro® 8, utilizando el modelo TRACI.

### ***Descripción del producto placas de cáscaras de maní***

Las placas de cáscaras de maní son productos de base vegetal. Las placas de cascaras de maní fueron producidas en dimensiones de 30 cm x 30 cm x 1 cm y de 60 cm x 60 cm x 1,8 cm. Fueron aplicadas en revestimientos, cielorrasos y equipamientos para interiores.

### ***Descripción del sistema de producción de las placas de cáscara de maní***

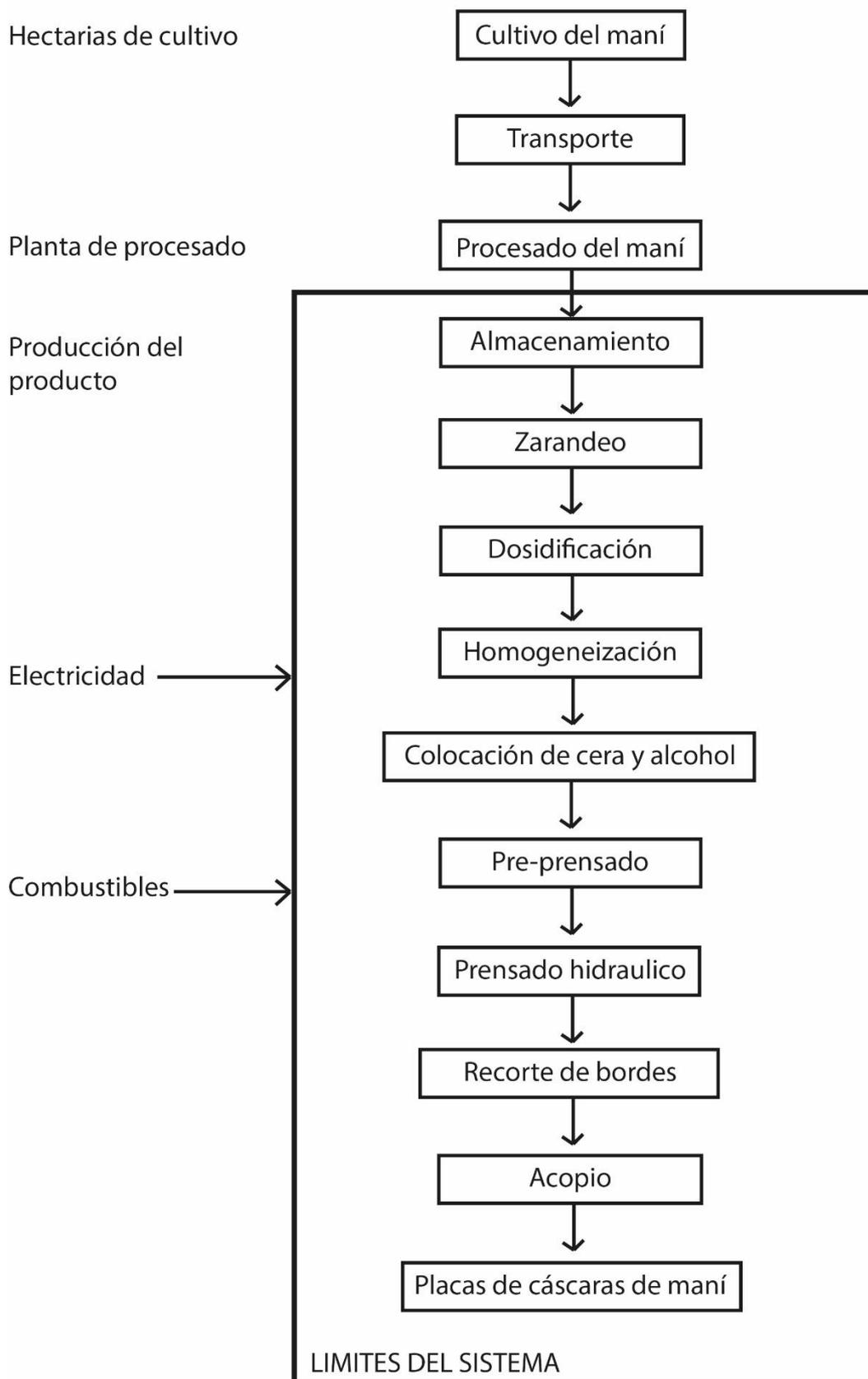
La cadena de producción de las placas de cáscaras maní se ubica en la planta MAGLIONE S.A.

Las cascaras de maní son obtenidas como resultado del primer proceso del maní al ingresar a la planta de procesado. Sin gastos de transporte, las cascaras llegan a la línea de producción de placas para su utilización como agregado de un nuevo proceso.

Fase de producción de las placas de cáscaras de maní: El maní se descascara en la planta manisera MAGLIONE S.A. Las cáscaras de maní se colocan en bolsas plásticas de 1m<sup>3</sup> y son acopiadas en un sector techado.

Los pasos de producción de las placas de cáscaras de maní son: 1) Depósito de las cáscaras en taller de producción, 2) Zarandeo de las cascaras de maní con tierra para la eliminación de polvillo; 3) Dosificación de las cáscaras en una balanza hasta llegar a 2 kg; 4) Dosificación de insecticida para agregarle a la masa (8 cm<sup>3</sup> para 2 kg de cáscaras); 5) Dosificación de resina poliuretánica (10% de 2kg); 6) Incorporación del insecticidas con la resina poliuretánica; 7) Incorporación del aditivo ignifugo con las cáscaras de maní; 8) Homogeneización del insecticida, y la resina poliuretánica con las cáscaras de maní; 9) Pesaje de la mezcla equivalente por placa; 10) Colocación de una película de cera y alcohol a las chapas metálicas utilizadas en el prensado; 11) Pre-prensado: colocación de los moldes de madera sobre las chapas metálicas y vertido de la mezcla elaborada; 12) Prensado hidráulico a 100°C por 7 minutos; 13) Desmolde de las chapas metálicas; 14) Recorte de los bordes imperfectos, y 15) Acopio de las placas de cáscara.

Gráfico 1: Esquema del sistema de la puerta a la puerta para la elaboración de placas de cáscaras de maní.



Traslado de los insumos y materia prima hasta el taller de producción: el traslado de las cáscaras de maní es nula debido a que el taller de producción de placas y la planta manisera MAGLIONE S.A. generadora de las cáscaras de maní se encuentran dentro del mismo predio.

En cambio, los insumos: resina poliuretánica Recsa, Insecticida Deltalex y el ignífugo en polvo de Recsa proviene de la Provincia de Buenos Aires.

### ***Inventario ambiental del producto placas de cáscaras de maní***

El inventario de las entradas en el sistema de producción de las placas de cáscaras de maní se compone de insumos locales, insumos provenientes de otras provincias, de los consumos de energía eléctrica y del combustible necesario para trasladar a los insumos externos hasta la planta de producción de las placas de cáscaras de maní en las Juntas Provincia de Córdoba.

Los datos del inventario ambiental de la fase agrícola y fase de procesamiento industrial del maní en la Provincia de Córdoba se encuentran detalladas en el antecedente realizado por el Dr. Bongiovanni, la Ing. Tuninetti y Garrido (2016.) Los datos del mismo se ingresaron al programa Simapro 8.0 ya que dentro de las bases del Ecoinvent 2018 no estaban cargados estos datos.

***Tabla 2: Inventario ambiental de las entradas al sistema de producción de las placas de cáscaras de maní en las Juntas, provincia de Córdoba.***

Productos	Unidades	Valores
Cáscara de maní	Kg	555.55
Resina poliuretánica Recsa	Kg	55.55
Insecticidas Deltalex	Kg	2.22
Ignífugo Recsa	Kg	36.11
Electricidad	Kw/h	518.50
Transporte de insumos	L gasoil	198

### **Estudio de análisis de ciclo de vida de las placas de MDF de los Estados Unidos, Agosto 2013**

Los datos fueron obtenidos a través de un sondeo científico y un proceso consistente establecido por el Consorcio de Investigación en Materiales industriales renovables (CORRIM), siguiendo la ISO 14040 (2006).

El objetivo del estudio fue desarrollar un LCI y un LCIA para la producción de MDF de una variedad de residuos de madera, utilizando prácticas y tecnologías comunes en el sector de forestación y fabricación de los Estados Unidos. Cubre los impactos en términos de entradas de materiales, combustibles y electricidad a través de las salidas del producto, co-productos y emisiones. Residuos de madera usados en la producción de los MDF fueron obtenidos de la fabricación de maderas contrachapadas de madera blanda y de maderas de la región SE y residuos de madera dura del NE. Esta fabricación obtiene troncos de recursos forestales

localizados en Washington, Oregon, Georgia, Alabama, Mississippi, Louisiana, Indiana, Maine, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Missouri, New Hampshire, New York, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont, West Virginia, y Wisconsin. La información para el análisis del ciclo de vida fue basada en un sistema de la puerta a la puerta del informe de fabricación de productos de madera (Wilson y Sakimoto 2004, Milota et al. 2005, Bergman y Bowe 2008, Wilson 2008 y 2010a) y los recursos forestales de la cuna a la puerta (Johnson et al. 2005, Oneil et al. 2010). El informe no considera como la madera fue usada.

La unidad funcional declarada de las placas MDF es de 1 m<sup>3</sup> de placa MDF. Toda la información de entradas y salidas fueron asignadas a la unidad funcional declarada basados en la masa del producto y los co-productos en correlato con las normas ISO 2006.

### ***Descripción del producto MDF de Los Estados Unidos***

Las placas MDF son un producto no-estructural desarrollado en la década de los 1970 para utilizar residuos industriales de madera. Este residuo de madera fue previamente quemado por energía o enviado a depósitos a cielo abierto para ser depositados como residuos materiales. A través de los años el producto se ha convertido en un elevado producto de ingeniería diseñado para alcanzar específicos requerimientos de uso. Las placas MDF es un tipo de panel industrial usado para conformar muebles, gabinetes, tablas y carpintería.

Las placas MDF son productos de residuos industriales de madera tales como virutas, aserrín, molduras de panel y astillas, y pueden ser producidas de astillas, troncos o árboles. Los residuos son refinados a fibras que son secadas, amalgamadas con resina y cera, y luego convertidas en estera que es consolidada y curada bajo presión y calor. Y las placas de MDF son producidas en densidades que abarcan desde 497 a 801 Kg/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta los estándares de materiales listados en la ANSI A208 2-2002 Estandar Nacional Americana.

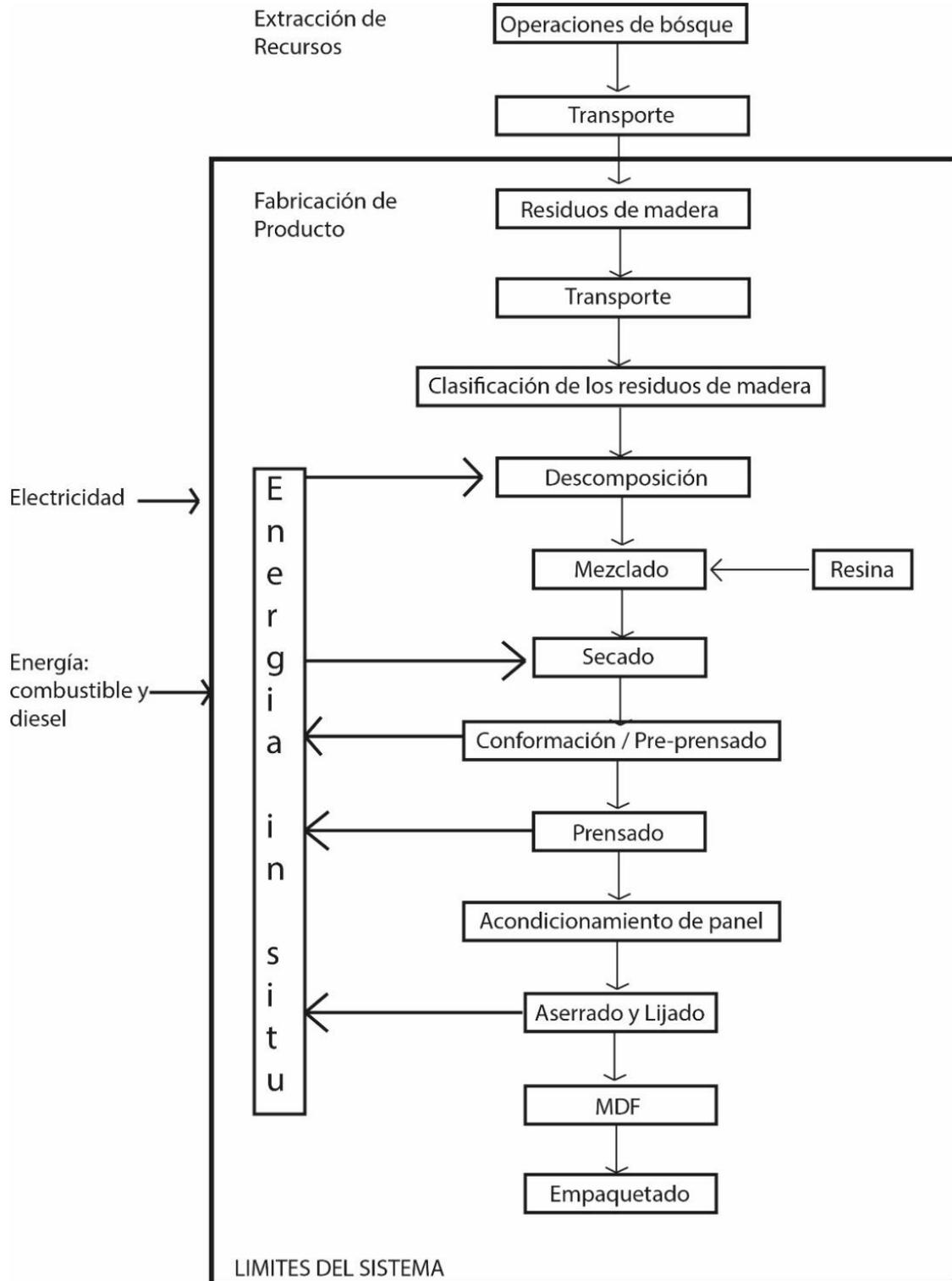
Las placas de MDF son producidas con un rango de espesores que van desde 9.525 mm a los 31.75 mm y con anchos desde 1.22 a los 1.52 m y con longitudes desde los 2.44 a los 7.32 m. Las placas de MDF de 3 mm no fueron incluidos en este estudio.

### ***Descripción del sistema de producción de las placas MDF de los Estados Unidos***

Los procesos unitarios tenidos en cuenta de las placas de MDF fueron los involucrados en la fabricación y producción de las placas de MDF. Sin dejar de tener en consideración a las fases antecesoras a la fabricación, las cuales son la generación de los bosques de la materia prima. Esto incluye: la preparación del sitio y siembra, el manejo del bosque, la cosecha del bosque, el transporte de los troncos, la producción de residuos de madera durante los procesos de fabricación de maderas y contrachapados y la fabricación de las placas MDF.

La compleja producción de las placas de MDF fue modelada como un proceso único con pasos necesarios tales como: la clasificación de residuos de madera, la descomposición, el refinamiento, la mezcla, el secado, la conformación, el prensado, el acondicionamiento, el lijado y el aserradero.

Grafico 3: Traducción de los límites del sistema de la producción de las placas MDF en Estados Unidos.



## *Inventario ambiental de las placas de MDF de los Estados Unidos*

*Tabla 3: Inventario ambiental de la producción de placas de MDF en los Estados Unidos.*

Producto	Valores	Unidades
MDF	1	m3
Combustible de madera, Lijadora de polvo	70	Kg
Combustible de madera	54	Kg
Corteza	12.9	Kg
Residuo de madera	0.063	Kg
Recursos	Valores	Unidades
Agua	935	L
Agua en suelo	452	L
Materiales	Valores	Unidades
Residuo madera, porcentajes U.S.	793.46	Kg
Urea-formaldehído (UF) resina	83.3	Kg
Urea	1.28	Kg
Cera	5.21	Kg
Electricidad	415	kWh
Diesel	0.71	L
Gasolina	0.13	L
LPG	0.76	L
Gas natural	43	m3
Residuos de madera, quemados en caldera, combustible autogenerado	127	Kg
Residuos de madera, combustión en caldera, combustible comprado	236	Kg
Transporte, camión combinado, energía diésel, residuos de madera.	177.47	tkm
Transporte, camión combinado, diésel, resina	17.83	tkm
Transporte, camión combinado, diésel, cera y urea	1.62	tkm
Transporte, tren, diésel, resina	0.18	tkm
Material de embalaje - Embalaje	0.46	Kg
Protectores de correa - Embalaje	0.2	Kg
Fleje - Embalaje	0.08	Kg
Espaciadores - Embalaje	4.67	
Emisiones al aire	Valores	Unidades
VOC, compuestos orgánicos volátiles	0.84	Kg
Partículas	0.363	Kg
Partículas, < 10 um	0.29	Kg
Formaldehído	0.159	Kg
Metanol	0.219	Kg
Emisiones al agua	Valores	Unidades
Sólidos suspendidos, no especificados	0.01	Kg
Amoníaco	0.007	Kg

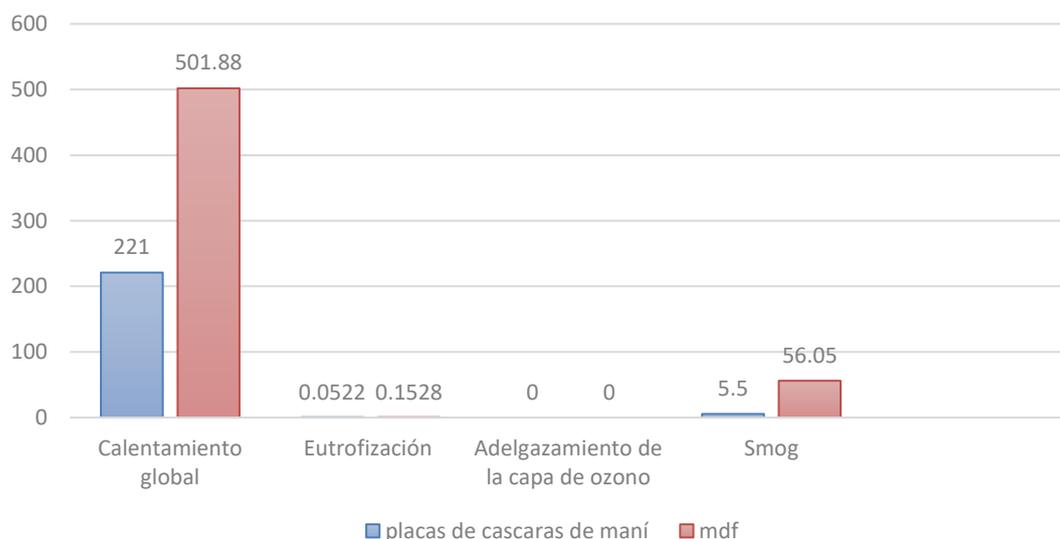
DBO5, demanda biológica de oxígeno	0.002	Kg
Residuos a tratamiento	Valores	Unidades
Eliminación de desechos de madera, a tratamiento no especificado.	2.21	Kg
Eliminación de desechos sólidos, no especificados, a tratamiento no especificado	1.94	Kg

## Resultados y discusión

**Tabla 4: Categorías de impacto del estudio comparativo de las placas de cáscaras de maní y las placas Medium Density Fiberboard (MDF).**

Categorías de impacto	Unidades	Placas de cáscaras de maní	Placas Medium Density Fiberboard (MDF)
Calentamiento global	Kg CO2 eq	221	501.88
Eutrofización	Kg N eq.	0.0522	0.1528
Adelgazamiento de la capa de ozono	Kg CFC-11 eq	2.11 E-6	0
Smog	Kg O3 eq	5.5	56.05

**Gráfico 4: Estudio comparativo de las categorías de impacto de las placas de cáscaras de maní y las placas Medium Density Fiberboard.**



### **Calentamiento global**

La comparación de las emisiones totales de esta categoría indica que las placas de MDF industrializadas (501.88 Kg CO2 eq) emiten 280.88 Kg CO2 equivalentes más que las placas de cáscaras de maní (221 Kg

CO2 eq). Principalmente, se debe a la alta automatización de las placas de MDF en relación a las placas de cáscara de maní.

### ***Eutrofización***

La comparación de las emisiones totales de esta categoría indica que las placas de MDF (0.1528 Kg N eq.) emiten 0.1006 Kg N eq. más que las placas de cáscaras de maní (0.0522 Kg N eq.).

### ***Adelgazamiento de la capa de ozono***

La comparación de las emisiones totales de esta categoría indica que las placas de cáscaras de maní emiten 2.11 E-6 Kg CFC-11 eq. más que las placas de MDF industrializadas.

### ***Smog***

La comparación de las emisiones totales de esta categoría indica que las placas de MDF industrializadas (56.05 Kg O3 eq) emiten 50.55 Kg O3 eq. más que las placas de cáscaras de maní (5.5 Kg O3 eq.).

## **Conclusiones**

Luego de la obtención de los datos de las categorías de impacto de las placas de cáscara de maní y su comparación con las placas MDF de los Estados Unidos, se determinó que el desempeño de la producción de las placas de cáscara de maní es Superadora. Esta situación es explicada por los indicadores de factores tales como la ubicación sustentable de la planta de producción de las placas de cáscaras de maní, la implementación de resinas poliuretánicas las cuales no emiten VOCs (Compuestos orgánicos volátiles), la reducción de las distancias de traslado entre los insumos y la planta de producción, la baja mecanización del proceso de producción de las placas de cáscaras de maní, la adecuación del proceso de producción de las placas a las variables climáticas de la zona, Las Junturas, Córdoba y a una baja dependencia con las energías no renovables tales como los combustibles y el gas, sabiendo que sólo se implementa electricidad en la producción de las placas de cáscaras de maní.

## **Bibliografía**

*Bongiovanni, R.; Tuninetti, L. 2017. "Análisis del Ciclo de Vida de la cadena del maní de Córdoba". Revista Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales - N°9 - MANÍ ISSN1853 -7677.*

*Bongiovanni, R.; Tuninetti, L.; & Garrido, G. 2016. "Huella de Carbono de la cadena de maní de Argentina", revista RIA <http://ria.inta.gov.ar/>. ISSN edición impresa 0325-8718 ISSN en línea 1669-2314. Recibido 15 de marzo de 2016 // Aceptado 12 de agosto de 2016 // Publicado online 14 Diciembre 2016.*

*Maureen Puettmann, Elaine Oneil y Jim Wilson, Agosto 2013. "Cradle to Gate Life Cycle Assessment of U.S. Medium Density Fiberboard Production".*

*UNE-EN ISO 14040:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia.*

*UNE-EN ISO 14044:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices.*

# Análisis de Ciclo de Vida de Organizaciones (ACV-O): Aplicación a Reciclaje de Plásticos

Clarisa Alejandrino  
Irma Mercante

Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. clarisa.alejandrino@ingenieria.uncuyo.edu.ar,

## Resumen

*Desde hace varios años el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se ha afianzado mundialmente por ser una herramienta sólida para la valoración cuantitativa del impacto ambiental. Sin embargo, su aplicación para evaluar el comportamiento ambiental de organizaciones es un campo de investigación menos desarrollado. Este trabajo tiene por objetivo analizar los antecedentes del Análisis de Ciclo de Vida de Organizaciones (ACV-O) y aplicarlo a un caso de una organización perteneciente al sector del reciclaje de plástico. Éste es un sector industrial que requiere fortalecerse y mejorar sus procesos. El volumen mundial anual de plástico reciclado representa menos del 5% de la producción de plásticos nuevos, que cada año aumenta. La mayor parte de este residuo termina depositado en vertederos en vez de reciclado o valorizado energéticamente. La metodología empleada consistió en una revisión exhaustiva de antecedentes de la metodología ACV-O en paralelo con un relevamiento de campo de organizaciones representativas del reciclaje de plástico de Mendoza, Argentina y la posterior selección de un caso de estudio para la aplicación de la metodología analizada. Como resultados se identificaron las diferencias metodológicas entre ACV y ACV-O, se propusieron adaptaciones para la implementación de ACV-O a organizaciones de reciclaje de plástico y se identificaron puntos críticos del desempeño ambiental de la organización analizada. Se concluye que la evaluación del desempeño ambiental de organizaciones dedicadas al reciclaje de plástico mediante ACV-O presenta mucho potencial. Finalmente se identifican los beneficios de ampliar el modelo de ACV-O hacia las perspectivas económicas y sociales con el objeto de analizar la sostenibilidad de la organización desde una perspectiva holística.*

**Palabras clave:** ACV-O, organizaciones, reciclaje, plástico.

## Introducción

Durante los últimos años la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha tomado importancia mundial por ser una herramienta sólida para la valoración cuantitativa del impacto ambiental desde una perspectiva de ciclo de vida. Tradicionalmente su aplicación ha sido en la evaluación ambiental de productos o servicios. Sin embargo, los beneficios del enfoque de ciclo de vida pueden extenderse para evaluar el comportamiento ambiental de organizaciones (ACV-O) que es un campo de investigación poco desarrollado. Al considerar una organización, hay aspectos metodológicos del ACV que es necesario adaptar, ya que normalmente se ven involucrados varios productos distintos, con ciclos de vida también distintos lo cual (Manzardo et al. 2018).

Existen diversos antecedentes de análisis de organizaciones según un parámetro en particular, como la huella de carbono o la huella hídrica, que han servido como pilares para el ACV-O. Recientemente, la organización para estandarización internacional (ISO) ha publicado especificaciones técnicas para el ACV-O, donde lo define como “compilación y evaluación de entradas, salidas y potenciales impactos ambientales de todas las actividades asociadas a la organización o de una porción, a través de la adopción de una perspectiva de ciclo de vida” (ISO, 2014). A su vez, el Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP) junto con la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) desarrollaron una guía que explora las capacidades

y aplicabilidad del ACV-O (UNEP, 2015). Ambas publicaciones han fundado las bases del ACV-O sobre las cuales se han publicado antecedentes y casos de estudio posteriores.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar las diferencias metodológicas entre ACV y ACV-O, y proponer las adaptaciones necesarias para aplicar la metodología ACV-O a organizaciones relacionadas con la valoración de residuos post consumo. Particularmente se analizarán organizaciones pertenecientes al sector de reciclaje de plástico, ya que es un residuo que abunda en las ciudades tanto como fracción de residuo municipal como industrial. Además, es importante mencionar que éste es un sector industrial que requiere fortalecerse y mejorar sus procesos, ya que actualmente el volumen mundial anual de reciclado plástico representa menos del 5% de la producción de plástico virgen y la mayor parte de este residuo termina depositado en vertederos o contaminando el medio en vez de ser valorizado.

## **Metodología**

La primera etapa de la presente investigación se realizó mediante una revisión exhaustiva de antecedentes de la metodología ACV-O en paralelo con un relevamiento de campo de organizaciones representativas de la industria del reciclaje de plástico de la Provincia de Mendoza (República Argentina).

La revisión de antecedentes se inició con las especificaciones técnicas y guías metodológicas realizadas por organismos internacionales (ISO, 2014, UNEP, 2015 y 2017). Además, se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas para lo cual se utilizó el buscador Scopus. Las palabras claves aplicadas para la búsqueda fueron “O-LCA” y “Organizational Life Cycle Assessment”. A continuación, se realizó un análisis exhaustivo de las recomendaciones metodológicas y casos de estudio con el objeto de identificar puntos clave y diferencias respecto al ACV tradicional.

El relevamiento de organizaciones comenzó con una búsqueda de todas las organizaciones de reciclaje de plástico del Área Metropolitana de Mendoza, luego se contactó a cada una de ellas y finalmente, se realizaron visitas y entrevistas.

La segunda etapa de la investigación consistió en la selección de una organización y la aplicación de la metodología previamente analizada.

## **Resultados y Discusión**

### ***Revisión de antecedentes***

Se encontraron menos de 20 antecedentes entre desarrollos metodológicos y casos de estudio (Tabla 1), todos publicados durante la última década. Esto implica que es una técnica en pleno crecimiento.

Tabla 1. Listado de antecedentes

Referencia	Mét.	Caso	Descripción
Finkbeiner and König, 2013	X		Adaptaciones de ISO 14040 y 14044 a ACV-O
ISO, 2014	X		Requerimientos y guía para ACV-O
UNEP, 2015	X		Guía Metodológica
Martínez-Blanco et al., 2015a	X		Desviaciones en Alcance respecto a ISO (2014)
Martínez-Blanco et al., 2015b	X		ACV-O con enfoque social
Resta et al., 2016	X	X	Toma de decisiones para industria textil basado en ACV-O
Manzardo et al., 2016	X	X	Aplicación a envasadora de bebidas
Martínez-Blanco et al., 2016	X	X	Aplicación a cadena hotelera y fábrica de elementos de higiene
UNEP, 2017		X	Aplicación a 12 organizaciones
Lo-lacono et al., 2017	X	X	Aplicación a instituciones de educación superior
Manzardo et al., 2018a	X	X	Aplicación a constructora de barrio turístico
Manzardo et al., 2018b		X	ACV-O de envasadora de bebidas a lo largo de dos años
Moreira de Camargo et al., 2019		X	Aplicación a fabricación de cosméticos con amplia variedad de productos

Se puede apreciar que los antecedentes presentan recomendaciones metodológicas y/o casos de aplicación. Se observó que a partir de la publicación de ISO (2014) y UNEP (2015) todos los estudios posteriores las tomaron como referencia. Se identificó que el ACV-O cumple con la estructura básica de ACV basada en ISO (2006a, b). Según Finkbeiner and König (2013) la mayoría de los requerimientos de ISO (2006b) son transferibles directamente de productos a organizaciones, sin embargo algunos deben ser adaptados. Los puntos clave de la metodología ACV-O y sus diferencias con ACV para cada etapa del análisis son descritos en detalle en los párrafos que siguen. Además se detallan las adaptaciones necesarias para su aplicación a organizaciones de reciclaje de plástico también para cada etapa.

**Objetivo:** El ACV permite la evaluación individual de un producto o la comparación entre dos productos que tengan la misma función. En cambio, cada organización posee una cartera de productos que puede ser muy compleja o tener diferentes funciones, como es el caso presentado por Moreira de Camargo et al. (2019). Además aunque dos organizaciones tuvieran los mismos productos pueden ser muy diferentes en tamaño, ubicación, modelo de negocio u otras características. Es por esto que los estudios de ACV-O no se utilizan para realizar comparaciones entre organizaciones orientadas a hacer públicos los resultados (ISO, 2014). Algunos objetivos usuales son el seguimiento del desempeño durante un periodo determinado (Manzardo et al., 2018b) o la identificación de puntos críticos dentro la empresa (UNEP, 2017 y Moreira de Camargo et al., 2019).

**Alcance:** El alcance es una etapa muy importante del ACV y donde más diferencias se presentan respecto al ACV-O. Se expresan dichas diferencias en los párrafos que siguen:

- Límites del Sistema: El 65% de los antecedentes identificados considero los límites del sistema from cradle-to-grave y el 35% from cradle-to-gate. El caso de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), donde en general la producción está más concentrada, puede ser más fácil la aplicación de ACV-O. Sin embargo la falta de información disponible y la menor influencia

sobre las partes interesadas pueden representar un desafío. UNEP (2015) presenta una serie de recomendaciones particulares para la aplicación de técnicas de ACV-O en PyMEs. Un modelo usual es que la PyME sea proveedora de una empresa de mayor tamaño que vende sus productos a consumidores finales, en esos casos puede resultar difícil obtener la información necesaria sobre las etapas de consumo y disposición final por lo que muchas optan por un sistema con alcance “de la cuna a la puerta” (Resta et al., 2016). Además, en estos casos no es posible implementar modificaciones en el producto por lo que el ACV de productos no tiene gran utilidad, en cambio el ACV-O permite mejorar el impacto de la organización sin alterar las características del mismo.

**Unidad de Reporte:** Para el desarrollo de ACV-O es necesaria la definición de la unidad de reporte, (sustituye la unidad funcional de ACV). En ISO (2014), la unidad de reporte se define como “expresión cuantificada de rendimiento de la organización bajo estudio que será utilizada como referencia”. Según recomienda UNEP (2015) la unidad de reporte se debe dividir en la definición de la unidad (denominada organización de reporte) y la cuantificación de esta unidad (flujo de reporte). Esta definición es fundamental para organizaciones que fabrican productos heterogéneos o productos que cambian a lo largo del tiempo (Manzardo et al., 2018).

Dentro de la definición de la organización de reporte se debe definir el enfoque de consolidación a aplicar cuando la organización cuenta con más de un sitio o fábrica (ISO 2014) Los tres métodos definen la consolidación basados en el control de operaciones y financiero, los sitios y la participación accionaria (UNEP, 2015). Cuando la organización tiene un solo sitio o tiene control total sobre todos los sitios, no es necesario utilizar métodos de consolidación. Además, en ACV-O es posible circunscribir el estudio a una parte de la organización, ya sea una instalación, una división de negocio o cualquier porción de la misma siempre que represente una unidad de operación. ISO (2014) no recomienda la exclusión de partes de la organización sin justificación, ya que puede dar lugar a resultados no representativos.

- **Periodo de reporte:** Este aspecto del alcance que no es necesario en ACV resulta muy importante y debe ser definido desde el comienzo del ACV-O (Manzardo et al., 2018), particularmente para el seguimiento del rendimiento de una organización y para contextualizar los resultados en organizaciones donde productos y procesos cambian a lo largo del tiempo (Manzardo et al., 2016). El 75% de los casos de aplicación identificados en los antecedentes toman un año completo para el periodo de reporte.

**Inventario de Ciclo de Vida:** Esta etapa no presenta diferencias importantes con el ACV excepto en la recolección de datos, que en ACV-O permite diferentes enfoques. El enfoque “top-down” se recomienda cuando la organización a analizar es considerada integralmente desde el comienzo del estudio o cuando cuenta con Sistema de Gestión Ambiental (SGA) (Lo Iacono et al., 2017). El enfoque “Bottom-up” es útil cuando la organización tiene datos de ACV de sus productos y mediante ponderación y agregación obtiene los datos de toda la organización. El tercer enfoque propuesto por ISO (2014) es un intermedio entre los anteriores, basado en organizaciones con ACV de alguno de sus productos que pueden extrapolar los datos para el resto de la organización. En los antecedentes identificados se aprecia preponderancia de dos enfoques de recolección de datos: top-down (40%) and hybrid (45%).

En muchos casos los datos obtenidos se relacionan directamente con la unidad de reporte por lo que esta etapa puede verse facilitada. En ACV-O la asignación de cargas se realiza cuando la organización analizada consume solo algunos productos de un determinado proveedor o cuando comparte instalaciones o procesos con otra organización (Martínez-Blanco 2015b).

Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida: Esta etapa tampoco presenta grandes diferencias respecto al ACV. Lo Iacono et al. (2017) remarcan la importancia de definir las categorías de impacto a analizar en base a las características del análisis y de la organización. Manzardo et al. (2016) recomiendan la revisión de las categorías de impacto una vez obtenidos los resultados, ya que el ACV-O es un procedimiento dinámico e iterativo. El método más aplicado en los antecedentes de ACV-O es ReCiPe Midpoint, con el 35% de los casos.

Interpretación del Ciclo de Vida: Respecto a la etapa de interpretación, 20% de los estudios han realizado un seguimiento de los resultados a lo largo del tiempo y solo dos estudios implementaron un análisis de sensibilidad, uno sobre los supuestos sobre el uso de energía en la etapa de uso y otro considerando un escenario alternativo de aumento en la capacidad de producción en la instalación. Al respecto, ISO (2014) recomienda analizar la adecuación de las definiciones de unidad de reporte, del límite del sistema, evaluar la calidad de los datos, realizar un análisis de sensibilidad y un chequeo de consistencia en esta etapa.

Otras consideraciones: Finalmente, resulta importante mencionar los resultados presentados por Martínez-Blanco (2015b). Los autores fundamentan que el ACV Social está siendo muy estudiado en los últimos años, por lo que proponen fundamentos para ampliar el ACV-O para incluir la dimensión social. Complementario al análisis ambiental (ACV) y social (ACV-S) es posible realizar el análisis de Costos de Ciclo de Vida (CCV) que permitiría abordar las tres dimensiones de la sostenibilidad.

### ***Relevamiento de organizaciones de reciclaje***

El relevamiento de organizaciones comenzó con una búsqueda de todas las organizaciones de reciclaje de plástico del Área Metropolitana de Mendoza para luego contactar a cada una de ellas. De las siete organizaciones que se lograron contactar sólo seis aceptaron la realización de una entrevista y cinco permitieron una visita a las instalaciones. Los datos principales de cada organización se presentan en Tabla 2.

**Tabla 2. Organizaciones relevadas**

Org.	Materia prima	Proceso	Producto final
1	Residuo industrial	Clasificación, aserrado, triturado, lavado, molienda, pelletizado y embolsado.	Pellets de PP
2	Botellas de PET	Clasificación, trituración, lavado, flotación, molienda y pelletizado.	Pellets de PET
3	Envases	Recolección, acopio, clasificación y enfardado.	Fardos de envases compactados
4	Envases	Recolección, transporte, compactación, trituración, hormigonado, armado de ladrillos y fraguado.	Ladrillos de cemento con plástico triturado.
5	Bolsas de PEBD	Clasificación, agrumado, trituración, molienda y pelletizado.	Pellet de PEBD

En la Figura 1 se aprecian los productos de las organizaciones, a excepción de la Organización 2 donde no se permitió la toma de fotografías.

*Figura 1. Productos de (a) Organización 1 (b) Organización 3 (c) Organización 4 (d) Organización 5*



### ***Caso de Estudio***

De las organizaciones relevadas se seleccionó la Organización 4 como caso de estudio para aplicar el ACV-O.

**Objetivo:** En las organizaciones de reciclaje de plástico relevadas, tanto los procesos como las características de la materia prima y el punto del proceso en el cual el material reciclado sale de la organización presentan diferencias. Por lo cual se realizó el ACV-O orientado a la identificación de puntos críticos dentro la organización para la posterior propuesta de mejoras.

#### **Alcance:**

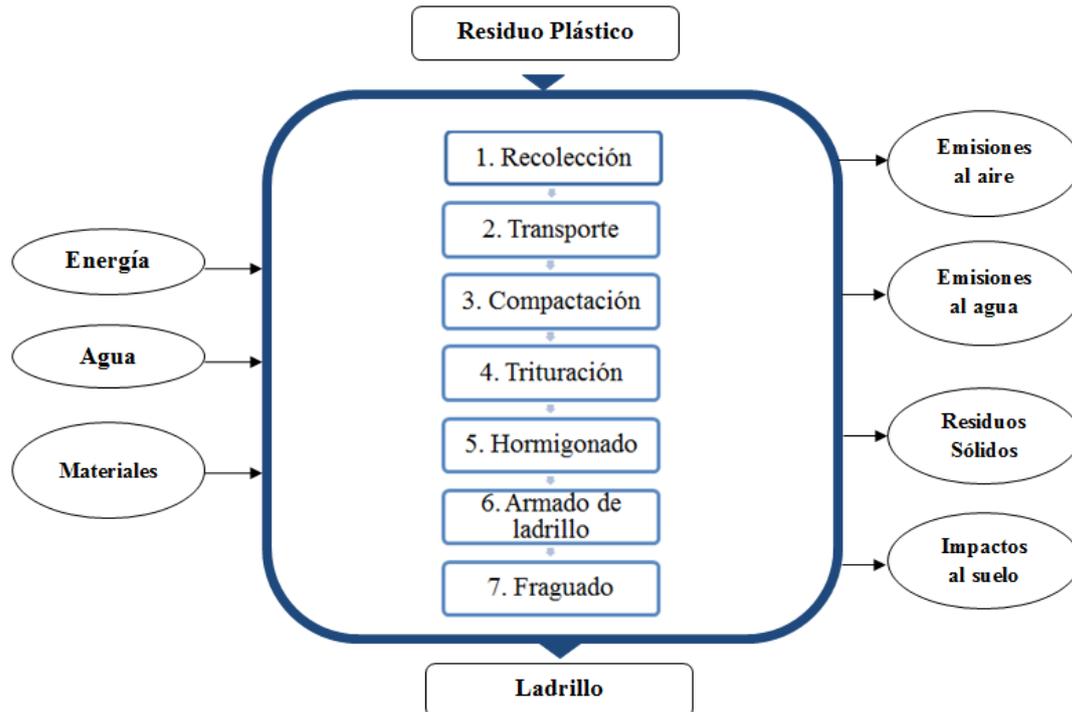
**Límites del Sistema:** Tal como se recomienda para casos donde los impactos durante las etapas de uso y de fin de vida del producto resultan de difícil previsión, en el presente análisis se consideró un alcance “cradle-to-gate”. Los límites del sistema analizado y actividades incluidas se presentan en la Figura 2.

**Unidad de Reporte:** Se tomó como unidad de reporte la producción anual de la planta del año 2018, la cual corresponde a 48.000 ladrillos para el caso de estudio.

**Periodo de reporte:** Se utilizó un año completo (2018).

**Inventario de Ciclo de Vida:** Se utilizó un enfoque top-down ya que la organización no posee antecedentes en ACV o en SGA. Las fuentes utilizadas para la confección del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de la presente investigación se resumen en Tabla 3.

*Fig. 2. Límites del sistema.*



Fuente: Elaboración propia.

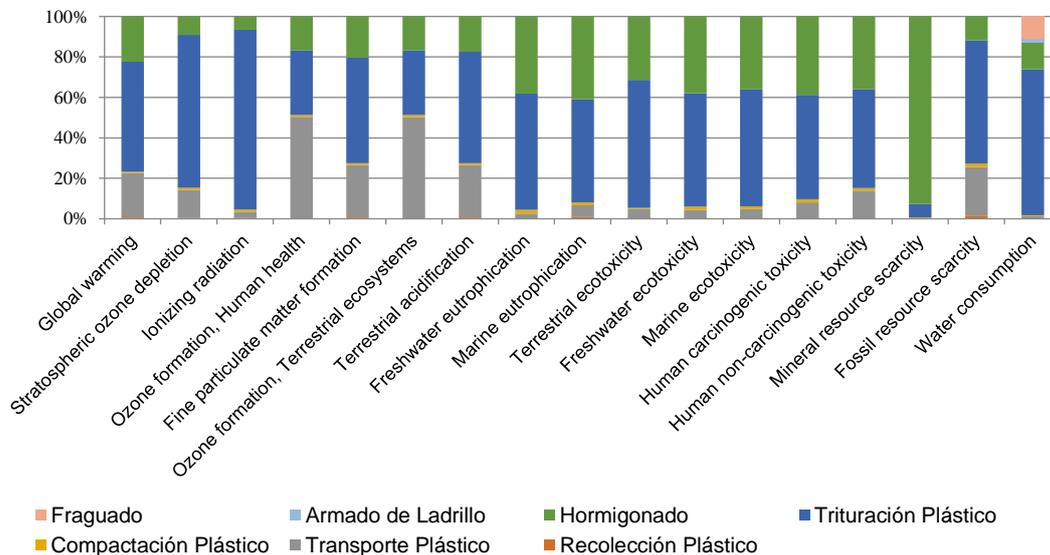
Tabla 3. Fuente de Información por etapa

Etapa	Fuente de datos
Recolección	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta
Transporte	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta
	Ecoinvent 3.5 para producción de Diesel modificados para inclusión de matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
Compactación	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta
	Ecoinvent 3.5 para producción y transporte de energía eléctrica modificados para inclusión de matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
	Ecoinvent 3.5 para producción de aceite lubricante modificados para inclusión de matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
Trituración	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta
	Ecoinvent 3.5 para producción y transporte de energía eléctrica modificados para inclusión de matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
Hormigonado	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta
	Ecoinvent 3.5 para producción y transporte de energía eléctrica modificados para inclusión de matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
	Ecoinvent 3.5 para producción de cemento portland modificados para inclusión de transporte hasta planta y matriz eléctrica Argentina (CAMMESA 2016)
	Datos producción de arena para construcción de la Provincia de Mendoza (Mercante 2014)
Armado y fraguado	Recolección de datos en planta y comunicaciones con encargado de planta

**Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida:** En el caso de aplicación se utilizó el método ReCiPe Midpoint por ser el más aplicado para ACV-O. El Indicador Land Use no fue tenido en cuenta ya que los datos del IVC resultan insuficientes para obtener resultados concluyentes en este indicador. Se utilizó el Software Simapro 9

para la cuantificación de impactos. En la Figura 4 se aprecian los resultados finales de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV) para cada una de las categorías de impacto consideradas. Los resultados se presentan en porcentaje con el objeto de cuantificar la contribución de cada etapa, tal como lo expresa el objetivo inicialmente definido.

**Fig. 3. Resultados de Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida. Fuente: Elaboración propia.**



**Interpretación:** Los resultados del ACV-O demuestran gran variabilidad en las contribuciones de los procesos al impacto en cada categoría. A pesar de esto, es posible identificar tres procesos predominantes, el triturado del plástico, el hormigonado y el transporte del residuo plástico desde los puntos de recolección hasta la planta.

Basado en los hallazgos de la presente investigación, se recomienda implementar mejoras en la etapa de trituración del plástico por su gran influencia en la mayor parte de las categorías analizadas. El principal impacto de esta etapa se debe al gran consumo eléctrico del equipo de trituración. En este caso una alternativa que podría reducir el impacto es el reemplazo de energía eléctrica de red por la generación in situ utilizando fuentes de energía renovable. La etapa de hormigonado también constituye un importante aporte al impacto, sin embargo en este caso la principal fuente de impactos es la extracción de materias primas necesarias para la fabricación del producto que no pueden ser reemplazadas sin modificar drásticamente las características del producto. El proceso de transporte del residuo presenta un desafío de logística reversa, posibles mejoras en esta etapa son la utilización de un vehículo con equipo de compactación incorporado o el rediseño del sistema de recolección y de la ubicación de la planta de reciclaje para disminuir las distancias de transporte.

## Conclusiones

La revisión de antecedentes permite concluir que el ACV-O ha logrado un desarrollo importante aunque más investigaciones son necesarias. El análisis comparativo realizado entre ACV y ACV-O muestra diferencias conceptuales entre ambos métodos. Las principales discrepancias corresponden a las etapas de definición de objetivos y alcance mientras que las etapas de análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación son similares.

El AVC-O permite la evaluación de organizaciones de manera integral considerando toda su cartera de productos y resulta de gran utilidad cuando no es posible modificar las características del producto o influir en las etapas posteriores de la cadena de valor pero sí en el proceso de producción. La evaluación del desempeño ambiental de organizaciones dedicadas al reciclaje de plástico mediante ACV-O presenta mucho potencial y se requieren más investigaciones al respecto. A futuro se desarrollarán otros casos de aplicación en organizaciones de reciclaje de plástico relevadas para dar continuidad al presente trabajo.

Los resultados del caso de estudio demuestran gran variabilidad en las contribuciones de los procesos al impacto en cada categoría. A pesar de esto, se identificaron tres procesos predominantes, el triturado del plástico, el hormigonado y el transporte del residuo plástico desde los puntos de recolección hasta la planta. Se recomienda implementar mejoras en la etapa de trituración del plástico. Los procesos de hormigonado y transporte presentan grandes contribuciones al impacto total del sistema en estudio pero poseen menores posibilidades de optimizar su desempeño ambiental sin afectar otras prestaciones del producto

Finalmente, se plantea como inquietud la posibilidad de ampliar el alcance del ACV-O para abordar las perspectivas económicas y sociales con el objeto de analizar la sostenibilidad de la organización holísticamente.

## Referencias

ISO (2006)a 14040 *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*.

ISO (2006)b 14044 *Environmental management - Life cycle assessment – Requirements and guidelines*.

Finkbeiner, M., & König, P. (2013) *Carbon Footprint and Life Cycle Assessment of Organizations*. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 1:55-63 DOI:10.5890/JEAM.2013.01.005

ISO (2014) *ISO/TS 14072: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment*.

Mercante, I. (2014) *Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición*. Tesis doctoral. Doctorado en Ingeniería ISBN 978-987-27642-3-4

Martinez-Blanco, J., Inaba, A., Finkbeiner, M. (2015a) *Scoping organizational LCA—challenges and solutions*. *Int J Life Cycle Assess*. 20:829–841. DOI 10.1007/s11367-015-0883-x

Martinez-Blanco, J., Lehmann, A., Chang, Y., Finkbeiner, M. (2015b) *Social organizational LCA (SOLCA)—a new approach for implementing social LCA*. *Int J Life Cycle Assess*. 20:1586–1599. DOI 10.1007/s11367-015-0960-1

Martinez-Blanco, J., Inaba, A., Quiros, A., Valdivia, S., Milà-i-Canals, L., Finkbeiner, M. (2015c) *Organizational LCA: the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative guidance document*. *Int J Life Cycle Assess*. 20:1045–1047. DOI 10.1007/s11367-015-0912-9

UNEP (2015). *Guidance on Organizational life cycle assessment*. United Nations environment Programme – Life Cycle Initiative

Resta, B., Gaiardelli, P., Pinto, R., Dotti, S. (2016) *Enhancing environmental management in the textile sector: An Organisational-Life Cycle Assessment approach*. *Journal of Cleaner Production*. 135:620-632. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.135>

Manzardo A., Loss A., Mazzi A., Scipioni A. (2016) *Organization Life-Cycle Assessment (OLCA): Methodological Issues and Case Studies in the Beverage-Packaging Sector*. In: Muthu S. (eds) *Environmental Footprints of Packaging. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*. Springer, Singapore.

Martínez-Blanco J., Inaba A., Finkbeiner M. (2016) *Life Cycle Assessment of Organizations*. In: Finkbeiner M. (eds) *Special Types of Life Cycle Assessment. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*. Springer, Dordrecht

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico - CAMMESA (2016) *Informe Anual*. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>

UNEP (2017). *Road testing organizational life cycle assessment around the world: Applications, experiences and lessons learned*. United Nations environment Programme – Life Cycle Initiative

Lo-Iacono-Ferreira, V., Torregrosa-López, J.I. & Capuz-Rizo, S. (2017) *Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems*. *Int J Life Cycle Assess.* 22:1928–1943 DOI 10.1007/s11367-017-1289-8

Forín, S., Martínez-Blanco, J., Finkbeiner, M. (2018) *Facts and figures from road testing the guidance on organizational life cycle assessment*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1533-x>

Manzardo, A., Loss, A., Jingzheng, R., Zuliani, F., Scipioni, A. (2018a) *Definition and application of activity portfolio and control/influence approaches in organizational life cycle assessment*. *Journal of Cleaner Production*. 184, 264-273. . <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.262>

Manzardo, A., Loss, A., Niero, M., Vianello, C., Scipioni, A. (2018b) *Organizational Life Cycle Assessment: the introduction of the production allocation burden*. *Procedia CIRP* 69. 429 – 434. doi: 10.1016/j.procir.2017.11.002 doi: 10.1016/j.procir.2017.11.002

Martínez-Blanco, J., Forin, S., Finkbeiner, M. (2018) *Launch of a new report: “Road testing organizational life cycle assessment around the world: applications, experiences and lessons learned”*. *Int J Life Cycle Assess.* 23:159–163. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1409-5>

Moreira de Camargo, A., Forin, S., Macedo, K., Finkbeiner, M., Martínez-Blanco, J. (2019) *The implementation of organizational LCA to internally manage the environmental impacts of a broad product portfolio: an example for a cosmetics, fragrances, and toiletry provider*. *Int J Life Cycle Assess.* 24:104–116. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1502-4>

# Huella de Agua de Escasez en Propuesta de Mejora de Uso y Consumo de Agua en Urbanizaciones de Baja Densidad Edilicia

Bárbara Civit<sup>1</sup>  
 Lorena Córca<sup>2</sup>  
 Melisa Paris<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CEDS Grupo CLIOPE FRM-UTN, CONICET Mendoza, Argentina

<sup>2</sup> PhD., INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina

<sup>3</sup> Lic., INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina

barbara.civit@gmail.com (corresponding author)

## Resumen

*En las últimas décadas, los modelos territoriales han sufrido grandes transformaciones evolucionando desde modelos urbanos compactos, de centros definidos y carácter autónomo, a modelos de ciudad difusa, motivado por los procesos de innovación tecnológica y por la universalización del acceso al automóvil. Estos procesos se han manifestado con la expansión y de des-densificación de las áreas centrales, y como consecuencia, los suelos agrícolas o naturales se convierten en suelos urbanos. En tierras secas, uno de los recursos más vulnerables, es el agua, y se vuelve imperioso encontrar estrategias que permitan la reducción de su consumo tanto en las urbanizaciones como en las zonas rurales. Ante esta problemática, el objetivo del trabajo radica en cuantificar el impacto asociado al uso y consumo de agua en planificaciones barriales de baja densidad edilicia (difusa) y proponer estrategias de mejoras tendientes a reducir los impactos encontrados. Se propone la determinación de la huella de agua de escasez, de un sector urbano de tipología barrial que dispone el agua gris (AG) de las viviendas en tres escenarios: a) conjunto de viviendas tradicional sin recuperación de AG; b) conjunto de viviendas con recuperación de AG para riego de espacios vegetados internos y arbolado urbano, y c) conjunto de viviendas con recuperación de AG para uso interno y para riego de las fincas aledañas a la urbanización. Para el caso de estudio, se definió como Unidad Funcional “la dotación de servicio residencial y su correspondiente porción de espacio público”. Se consideró un conjunto habitacional ubicado en las afueras de la ciudad de Mendoza, Argentina. Los lotes individuales tienen entre 600 a 1300 m<sup>2</sup>, con viviendas de aproximadamente 190 m<sup>2</sup> y el resto es espacio vegetado. Se contabilizó el requerimiento hídrico de los servicios sanitarios, de riego de jardines y arbolado público y de uso residencial por persona. También se asumió que las fincas aledañas están implantadas con vides y se consideró su requerimiento de riego. Los resultados obtenidos demuestran que los ahorros de agua, y por tanto la disminución en el impacto por escasez, alcanza son significativos para el caso de riego interno, pero también cuando se utiliza para complementar el riego agrícola, volviéndose una alternativa muy atractiva desde el punto de vista de la planificación territorial y la asignación del recurso hídrico en las nuevas urbanizaciones en tierras secas.*

**Palabras Clave:** Escasez de agua, baja densidad edilicia, recuperación agua gris.

## Objetivo

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), ubicada en el Oasis Norte de la provincia, es en la actualidad el mayor centro urbano del centro oeste de Argentina. Se trata de un conglomerado conformado por seis departamentos, que definen un espacio urbano continuo y un área de influencia directa que se expande sobre hacia el este y sur de la zona urbanizada.

En las últimas décadas, el AMM ha ido adquiriendo las características propias de las denominadas ciudades dispersas (Higuera, 2006; Rueda, 2002). La zona urbana crece a un ritmo mucho mayor que el incremento de la población, superando los tiempos de los entes de planificación, a partir de distintos factores (sociales y económicos) que influyeron en gran medida en la expansión de la mancha urbana sobre el oasis. Uno de los principales factores fue la crisis de la vitivinicultura en la década de los 80, que incidió la disminución del valor de la tierra productiva, dándoles la posibilidad a muchos habitantes de comprar terrenos para viviendas de fin de semana, residencias permanentes o simplemente por especulación inmobiliaria. En la

búsqueda de zonas más seguras, sin contaminación y en mayor contacto con la naturaleza, intentando mejorar su calidad, se dio una migración de los sectores medios y altos de la población en extensión hacia la periferia. Se dio el surgimiento entonces a un fenómeno de crecimiento acelerado, no solo en número, ocupándose nuevos territorios, que hasta hacía poco tiempo estaban destinados a la producción rural. El crecimiento se vio reflejado en una expansión urbana de baja densidad —por construcción individual o a través de barrios—, en donde entidades cerradas constituyeron las zonas residenciales. a través del desarrollo de condominios (Mesa, 2014).

Todo esto ha dado como resultado un territorio heterogéneo, disperso, en el que se yuxtaponen situaciones contrastadas, lotes residenciales, viñedos, bodegas, barrios de viviendas sociales y conjuntos residenciales cerrados, compartiendo el paisaje, los recursos y las vías de comunicación (Mesa, et.al, 2010; Córica 2018). Los núcleos urbanos, se extendieron absorbiendo zonas productivas y esta convivencia entre la actividad vitivinícola y los asentamientos humanos es un aspecto que caracteriza a estos paisajes (Figura 1).

*Figura 1. Crecimiento del área urbana en zona históricamente vitícola. a) Ubicación del caso de estudio, un viñedo rodeado de urbanización reciente (Google Earth®, Luján de Cuyo, Mendoza, accedido en enero de 2019); b) Venta del viñedo, transformación del uso de suelo. Imagen tomada en enero de 2019.*



Teniendo en cuenta el uso consciente de los recursos escasos como consecuencia de las condiciones geográficas y climáticas naturales, el agua ha sido y es un factor esencial en la posibilidad de desarrollo de la zona, por eso la importancia de cuantificar la disponibilidad, el impacto sobre la escasez y dar recomendaciones que permitan regular su manejo.

El propósito de este estudio es cuantificar el impacto por escasez asociado al uso de agua en planificaciones barriales de baja densidad edilicia (difusa) en tierras secas y proponer alguna estrategia de manejo residencial tendiente a reducir los valores encontrados. Para ello, se ha considerado un caso de estudio ubicado en Luján de Cuyo, uno de los departamentos del AMM, que ha sufrido cambios muy significativos en el uso del suelo en las últimas 3 décadas, y donde se ha modificado también el uso del agua por el reemplazo.

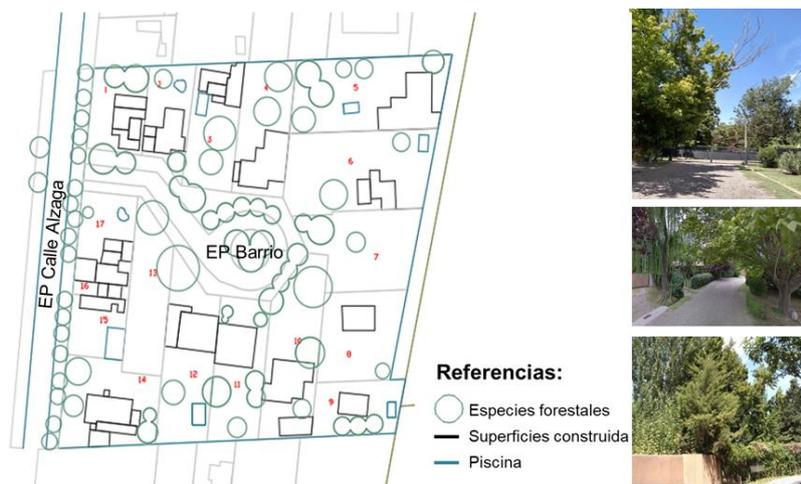
## Metodología

Para determinar las consecuencias del uso del agua doméstico se eligió seguir la metodología de huella de agua con enfoque de ciclo de vida, y las implicancias que esto trae consigo. La huella de agua con enfoque de ciclo de vida está pensada para determinar los impactos asociados al uso de agua a lo largo del ciclo de vida de productos, procesos y servicios, y en nuestro caso de estudio, se deben proponer algunas consideraciones que permitan adaptar la metodología según corresponda. Los lineamientos ofrecidos por la ISO 14046 (ISO, 2014) han servido de guía para llevar adelante este estudio.

### ***Caso de Estudio***

Se trata de un sector correspondiente a la periferia de la mancha urbana, donde conviven desarrollos inmobiliarios con cultivos, escenarios característicos de las tendencias actuales de expansión difusa. A la hora de realizar la selección del caso de estudio se tuvo en cuenta el crecimiento poblacional del AMM que se está desarrollando en los departamentos de Luján y Maipú, registrando aumentos de hasta el 30 % en los últimos treinta años. Sobre esta base, se identificó un caso de estudio con localización en el distrito Chacras de Coria, departamento de Luján (Figura 2).

**Figura2. Caso de estudio: Arreglo barrial difuso, en Luján de Cuyo, Mendoza**



Corresponde a una urbanización barrial cerrada, de baja densidad edilicia, cuyo ordenamiento es de orden privado, con perímetro definido. La superficie total del complejo es de 1,8 ha, y presenta un parcelario de 17 lotes con viviendas de uno y dos niveles en torno a una calle interna y rotonda de circulación, correspondientes al Espacio Público del barrio. Presenta un acceso sobre calle lateral al oeste y colinda con una finca de cultivos de vid de 10,8 ha.

Los lotes individuales varían entre 600 y 1300 m<sup>2</sup>, con viviendas, en promedio, de 193 m<sup>2</sup> construidos y el resto es espacio vegetado (aproximadamente un 78% de la superficie total del terreno) (Figura 3). Se ha considerado que son viviendas unifamiliares con 4 habitantes por vivienda, dando un total de 60 personas y una densidad poblacional de 0,0033 habitantes/m<sup>2</sup>.

### ***Definición del Sistema***

Definimos el caso de estudio como un servicio, y el sistema que hemos considerado incluye como flujos de entrada la provisión de agua potable para uso doméstico y agua de riego para jardines privados y espacios verdes comunes.

La Unidad Funcional (UF) la definimos como *“dotar de servicio de agua para uso residencial privado y su correspondiente porción de espacio público en un arreglo barrial difuso ubicado en Luján de Cuyo, durante 1 año”*. Se incluye la superficie con edificación, espacio verde privado y espacio público conexo (calzada, sendas peatonales, arbolado urbano), las entradas y salidas de agua para cumplir con la UF definida.

### ***Limitaciones***

En esta primera fase del estudio, no se han tenido en cuenta la infraestructura de potabilización de agua para uso residencial, el sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua para riego, cuyas pérdidas se estiman superiores al 40% y tampoco la infraestructura y procesos de tratamiento de aguas grises y negras, que serían etapas y procesos de alto valor en el ciclo de vida del servicio analizado. Por otra parte, se ha dejado afuera del sistema, el agua necesaria para la extracción y producción de los materiales con que se ha construido la vivienda y los espacios urbanos comunes, el agua durante la construcción de la vivienda, y el agua asociada al consumo de energía durante el período de tiempo considerado

### ***Inventario***

Se ha considerado el agua necesaria para abastecer a una vivienda habitada por 4 personas que incluye agua de bebida, agua de limpieza e higiene personal, agua para limpieza y cocción de alimentos, agua para lavado de indumentaria y agua para riego de jardines o espacios vegetados internos, durante 1 año. Los datos fueron recopilados mediante encuestas a la población, que tuvieron lugar en 2015 (Civit et al, 2015), y una actualización en 2017 (Civit et al 2017). Las salidas de agua del sistema las dividimos en agua gris (AG, la que sale del lavarropas y el lavamanos), la evaporación, evapotranspiración e infiltración que pueda producirse en los espacios vegetados, y agua negra (AN, inodoro, ducha, lavado alimentos y vajilla).

La hipótesis de trabajo es que el agua gris producida por persona en el arreglo barrial considerado, y reutilizada para riego de espacios vegetados privados y públicos, reduce el impacto de escasez de huella de agua asociado a la UF considerada. Los volúmenes de agua gris (AG) por persona y en un año es de 16534,5 litros/persona/año. Si extendemos el cálculo a la población total estimada que reside en el barrio, este valor asciende a 992070 litros/año.

### ***Evaluación de impactos***

La huella de agua de escasez, siguiendo la metodología propuesta por Boulay et al (2018) es una medida del impacto sobre la disponibilidad de agua remanente de un determinado lugar que considera los flujos elementales de agua asociados a un producto/servicio, una vez que ha satisfecho la demanda para abastecer a la población y a los ecosistemas. Los factores de caracterización usados fueron extraídos de <http://www.wulca-waterlca.org/aware.html> AWARE\_v1\_2April\_7th (accedido en febrero y marzo de 2019).

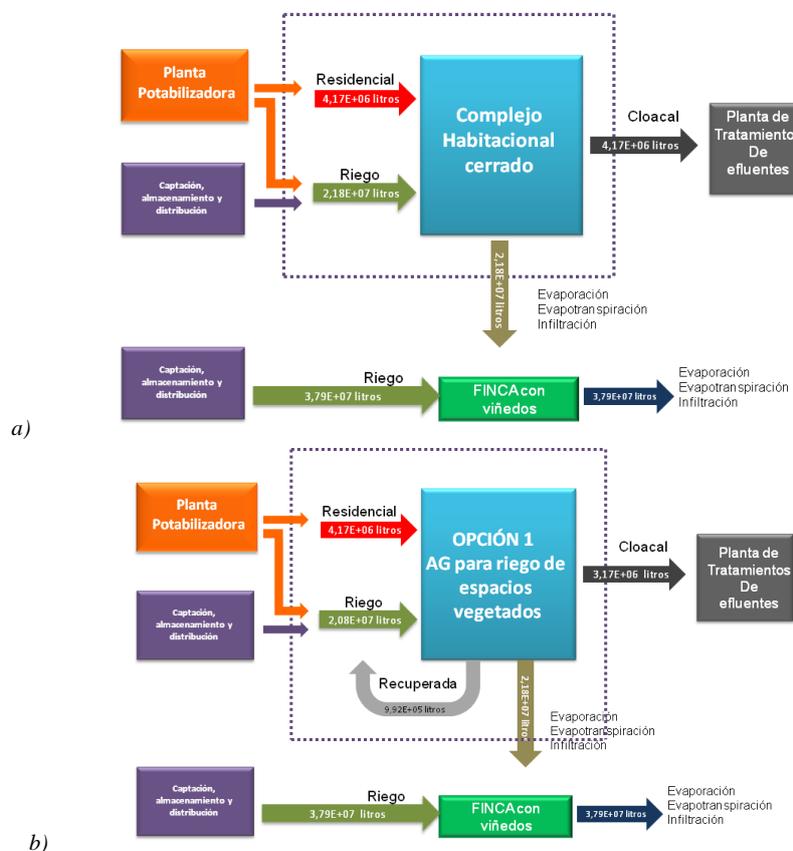
## Resultados y discusión

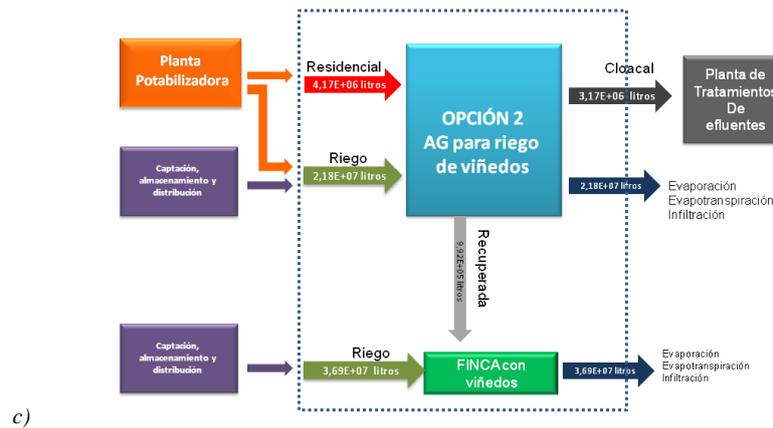
El agua que entra al sistema para uso residencial para las 60 personas durante un año es de  $4,17E+06$  litros/año. El agua necesaria para riego de los espacios verdes vegetados privados es de  $2,14E+07$  litros/año y de los espacios vegetados públicos de  $3,45E+05$  litros/año, y el total requerido para espacios verdes privados y comunes asciende a  $2,18E+07$  litros/año.

El impacto sobre la disponibilidad por escasez de agua en la cuenca donde se emplaza el AMM es de  $8,58E+05$  m<sup>3</sup>- world eq y  $1,38E+04$  m<sup>3</sup>- world eq para jardines privados y espacios públicos respectivamente. Por otra parte, el impacto del uso residencial de agua es de  $1,67E+05$  m<sup>3</sup>- world eq.

Considerando la alternativa de reuso de agua gris para riego de espacios vegetados, el impacto asociado a la extracción se reduce en un 5%. Si en cambio, se considera la alternativa de usar el agua gris recuperada para ingresar a otro sistema, como es el caso de una finca aleña, y así disminuir el uso de agua de riego, el impacto disminuye en un 3%. Esto nos lleva a pensar que la recuperación de agua gris podría ser una opción atractiva para reducir los impactos asociados a la huella de agua de escasez, siempre y cuando exista una relación recuperación de agua gris/superficie a irrigar óptima, que permita evitar los impactos asociados a la extracción, almacenamiento, distribución y aplicación del agua para riego en la agricultura existente, y usar el agua que queda disponible para otros fines, o para ampliar la frontera agrícola.

**Figura 3. Sistemas y principales flujos de agua. a) Sistema base considerado; b) Recuperación de agua y riego de jardines y espacio público; c) Recuperación de agua y riego de parcelas cultivadas aleña.**





## Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que para planificaciones barriales de baja densidad edilicia correspondientes a modelos de expansión difusa, las alternativas de reúso de agua gris para riego de espacios vegetados pueden producir una reducción de un 5%, y para el caso de uso en riego agrícola, del 3%. Si bien estos valores no parecen muy prometedores, es necesario contemplar las características del escenario planteado. Esto implica grandes superficies de terreno, edificaciones dispersas y aisladas con densidades mínimas de población (33 hab/ha) que promueven un gran consumo de recursos naturales y el desarrollo ineficiente de aquellas funciones ligadas a los flujos metabólicos y servicios ecosistémicos.

Se podrían obtener impactos muy significativos en la recuperación de agua con fines de irrigación agrícola, si se alcanza una mayor densidad poblacional. En nuestro caso de estudio, se necesita una relación de 206 personas para irrigar con AG 10000 m<sup>2</sup> de viñedo, es decir, que la relación óptima es de 206 personas/ha.

En este sentido, los formas de ocupación del territorio teniendo en cuenta el urbanismo sustentable, se configuran como un modelo de ocupación “compacta” buscando aumento de densidad poblacional, reducción de ocupación de suelo, máxima eficiencia de los recursos disminuyendo la presión de los sistemas urbanos sobre los sistemas de apoyo. Se pretende a futuro, poder desarrollar de manera comparativa estos estudios para distintas tipologías y densidades edilicias y de esta forma poder realizar propuestas de mitigación eficientes. Por otra parte, es necesario incorporar al análisis de impacto, los flujos relacionados a la infraestructura de provisión y tratamiento de agua, la calidad del agua de salida del sistema barrial y la entrada a los sistemas opcionales, y su impacto sobre la calidad de los ecosistemas, la salud humana y la disponibilidad de los recursos. Por último, sería pertinente, conjugar este enfoque con los impactos asociados al uso del suelo y los cambios en el uso de suelo, no solamente desde el punto de vista hídrico, sino teniendo en cuenta un enfoque holístico.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen la colaboración a Dra. Anne-Marie Boulay (CIRAIG, Canadá), Ing. Claudia Peña Urrutia (EPD System Latinamerica, Chile), Dra. Roxana Piastrellini (UTN FRM, Argentina) y Dra. Nydia

Suppen Reynaga (CADIS, México) especialistas en ACV y Huella de Agua por su colaboración y tiempo entregado a la discusión de aspectos metodológicos que se consideraron en este trabajo. Por otra parte, destacamos la colaboración en la determinación de los requerimientos de agua de jardines, espacios parqueados y arbolado urbano al Ing. Agr. Paisajista Martín Balash porque con su ayuda pudimos validar los resultados de las encuestas realizadas y calcular los requerimientos de agua faltantes.

## Referencias

BOULAY, A.M., BARE, J., BENINI, L., BERGER, M., LATHUILLIÈRE, M.J., MANZARDO, A., MARGNI, M., MOTOSHITA, M., NÚÑEZ, M., PASTOR, A.V., RIDOUTT, B., OKI, T., WORBE, S., PFISTER, S., 2018. *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)*, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, online (doi10.1007/s11367-017-1333-8).

CIVIT, B; GÓMEZ PIOVANO, J y MESA, NA (2015) *Uso de agua y ordenación del territorio. Estudio preliminar sobre patrones de consumo de agua por tipología de vivienda en el AMM*, en Duarte O, Díaz E y Carñel G (2015) *Anales de Resúmenes XXV CONAGUA, Tomo I, 1º Edición*, Editorial Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino, ISBN 978-987-27407-4-0

CIVIT B, GÓMEZ PIOVANO J y ORTIZ N (2017) *Buscando la sustentabilidad del uso de agua en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. Publicado en actas de la VII International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America CILCA 2017; Medellín, Colombia, Junio de 2017.*

HIGUERAS, ESTER. *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona. Gustavo Gili, 2006

ISO (2014) *ISO 14046: Environmental management Water footprint Principles, requirements and guidelines*. International Organization for Standard

MESA, ALEJANDRO Y GIUSSO, CECILIA (2014). *Modelos de urbanización en tierras de alta vulnerabilidad ambiental. Análisis de la ocupación de la periferia del área metropolitana de Mendoza. Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad - ISSN 1666-6186. Volumen 16 N.º 16. pp. 005-026.*

MESA, ALEJANDRO; ARBOIT, MARIELA; DE ROSA CARLOS (2010) *LA SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL COMO BASE PARA EL DESARROLLO URBANO EN ZONAS DE OASIS ANDINOS. CUADERNO URBANO. Espacio, Cultura, Sociedad - VOL. 9 - N° 9. pp. 35-60.*

CÓRICA, LORENA; GOMEZ PIOVANO, JIMENA (2019). *Diseño de guía metodológica en base a indicadores del urbanismo sustentable. Caso de aplicación: renovación urbana Aeroparque Mendoza. XXII Congreso Arquisur : la dimensión pública de la Arquitectura : libro de ponencias. Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño. UNR. ISBN 978-987-702-311-4 PP. 637-645*

RUEDA, Salvador. *Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja : una visión de futuro más sostenible*. Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona; Agencia de Ecología Urbana, 2002. 87 p.

# Evaluación del Impacto de Parámetros Claves en el Modelado Ambiental con Análisis de Ciclo de Vida de un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

---

Sebastián Emilio Antonini

Universidad Nacional de Córdoba – IPQA (CONICET-UNC)  
 Av. Vélez Sarsfield 1611 - X5016GCA Córdoba - Argentina  
 sebastian.antonini@unc.edu.ar  
 +5493513270544

## Resumen

*En el presente trabajo se presenta un modelo de optimización de un sistema de GIRSU para la ciudad de Córdoba, Argentina; que incluye desde la generación hasta la disposición final; y propone soluciones que pretenden servir para la toma de decisiones y la determinación de políticas y normativas a implementar para lograr una gestión eficiente buscando reducir el daño ambiental provocado.*

*Se propuso una superestructura correspondiente a una cadena de suministro inversa (CSI) que contempla nodos de generación, con posibilidad de compostaje domiciliario, plantas de selección y acondicionamiento, planta de transferencia, plantas de reciclaje y un predio de tratamiento con operaciones de: selección mecánica, biogasificación, purificación de biogás, generación de energía eléctrica, bioestabilización y predio de disposición final con enterramiento sanitario. Para la estimación del impacto ambiental se utilizó la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con ReCiPe (Huijbregts et al., 2016) haciendo uso de los softwares SimaPro (SimaPro, 2019) e IWM-2 (Integrated Waste Management IWM-2, 2001) y de publicaciones específicas (Morero, Groppelli, & Campanella, 2015). El modelo de la superestructura mixto entero lineal fue implementado en el utilitario matemático de optimización GAMS (GAMS, 2017) y se optimizó el sistema minimizando en cada caso uno de los tres indicadores de punto final de la metodología ReCiPe. Los resultados encontrados en cada caso fueron comparados con el escenario actual en el cual se estima que sólo un 3% de los RSU se reciclan y el resto se envía a enterramiento sanitario.*

*La aplicación del modelo al caso concreto de la ciudad logró configurar un sistema de GIRSU que permite importantes mejoras en el impacto ambiental modificando los flujos destinados y procesados por cada nodo.*

**Palabras claves:** GIRSU, ACV, optimización ambiental, reciclaje, biogás, compostaje domiciliario.

## Introducción

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) es una de las actividades con mayor impacto ambiental dentro de las gestionadas por los municipios. Se estima que aproximadamente genera el 3% de las contribuciones de gases de efecto invernadero, pero que representa un gran potencial de reducción a un costo relativamente bajo.

Actualmente llegan al predio de enterramiento 772.000 toneladas/año de residuos que se recolectan de la ciudad de Córdoba y de los municipios de Alta Gracia, Villa Allende, La Calera, Unquillo, Malvinas Argentinas, Estación Juárez Celman, Despeñaderos, Villa La Bolsa, Villa Los Aromos, Valle de Anisacate y San Clemente. El 54% de éstos corresponden a los residuos de origen domiciliario (RSU) (Pettigiani & Garrido, 2017) cuyos putrescibles son susceptibles de ser compostado en el domicilio (INTI, 2015).

Córdoba cuenta con 3 plantas de selección y acondicionamiento (PSA) ubicadas en la zona sur, norte y centro de la ciudad. Estos centros de procesamiento se encargan de separar y procesar los RSU de forma de

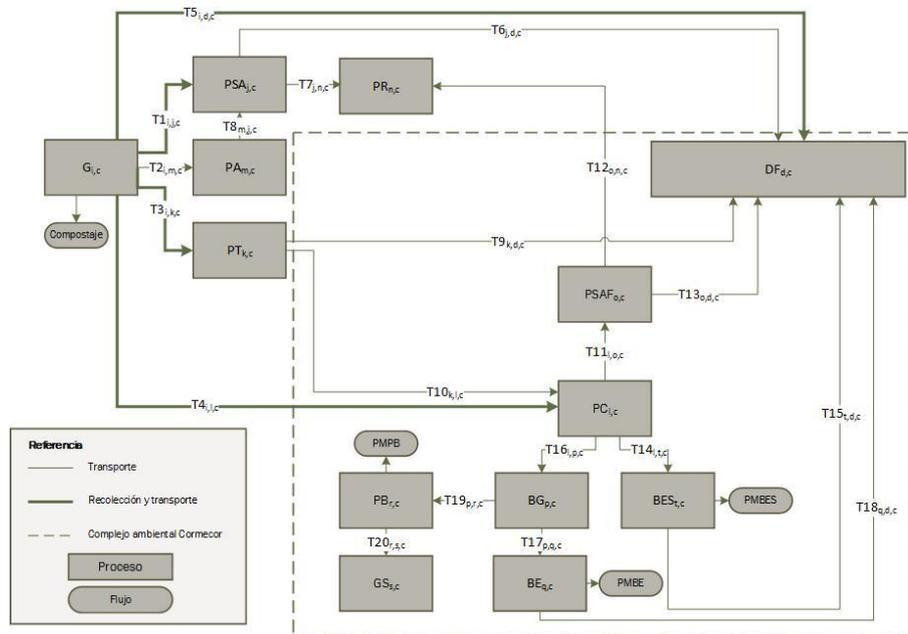
acondicionarlos para el posterior reciclado. También en Córdoba hay diversas instituciones públicas como privadas que cuentan con contenedores de acopio de materiales como papel, cartón, vidrio, aluminio, PET y PEHD para su posterior tratamiento y reciclado, que funcionan como puntos de aporte al reciclaje. Córdoba cuenta con plantas de reciclaje (PR) de cartón, papel y PET.

El Complejo ambiental de tratamiento, valorización y disposición final CORMECOR aún no está construido, pero se proyectan diversas plantas, equipos y espacios para el tratamiento de los RSU, como una planta de separación mecánica con un trommel, una planta de selección y acondicionamiento de materiales reciclables y un sitio de disposición final.

## Descripción del Problema y Objetivo

En el presente trabajo se utilizó para modelar la gestión de los RSU de la ciudad de Córdoba la cadena de suministro inversa que se muestra en la Figura 1:

*Figura 1: Flujo de la cadena de suministro inversa*



Para el modelado de los RSU se utilizarán las 16 categorías para la clasificación de los diferentes tipos de residuos adaptadas de las normas IRAM 25.523 (Plataforme D'Innovation Technologique Rhone-Alpes, 2015) : c1, putrescibles; c2, textil sanitario; c3, films; c4, otros incombustibles; c5, papel; c6, vidrio; c7, cartón; c8 otros combustibles, c9, textiles; c10, otros plásticos; c11, PET; c12, metales ferrosos; c13, metales no ferrosos; c14, Telgopor; c15, PEHD; c16, aluminio.

La estructura del sistema cuenta con tres áreas de generación G, 3 plantas de selección y acondicionamiento, 7 plantas de reciclaje PR (algunas se encuentran en la provincia de Córdoba mientras otras se encuentran principalmente en la provincia de Buenos Aires), 17 puntos de aporte PA, una planta de transferencia PT ubicada en la zona norte de la ciudad y el complejo CORMECOR S.A. (CORMECOR, 2015). Si bien como ya se ha mencionado, éste aún no está construido, pero se consideraron disponibles las instalaciones proyectadas según el proyecto, que contempla una planta de separación mecánica con un

trommel (PC), una planta de selección y acondicionamiento de materiales reciclables (PSAF) y un sitio de disposición final. Como propuesta de mejora a este complejo, se contemplan procesos de biogasificación (BG), bioestabilización del digestato (BA) y purificación del biogás (PB) y cogeneración eléctrica (GS).

El material que se dirige de un nodo a otro requiere de un transporte que depende de los nodos involucrados. Por ejemplo, para el transporte de material de un nodo G a un nodo DF se consideran camiones de recolección con capacidad de 7 toneladas mientras que para el transporte desde el nodo PT a PC, se considera un camión genérico de 16 toneladas.

Los impactos ambientales considerados corresponden al flujo, tratamientos, transportes, reutilización y disposición del material a tratar; o sea que se considera que todas las instalaciones y transportes a utilizar ya existen, es decir, no se considera en el ACV el impacto de construcción, mantenimiento, reutilización o disposición final de equipos, camiones y plantas de tratamiento.

## Metodología

### *Modelo matemático*

#### *Conjuntos*

Los conjuntos que se utilizan en la formulación del problema son: c para las categorías de residuos, i para los nodos de los puntos de Generación, j para las PSA, k para la Planta de Transferencia, n para los nodos de Plantas de Reciclaje, o para el nodo de PSAF, l para nodo del Trommel, p Biogasificación, r Purificación, s Cogeneración, q Bioestabilización y d Disposición Final. Dadas las limitaciones de espacio se presentan algunas de las variables y restricciones del modelo.

#### *Variables, Restricciones y Función Objetivo*

Se definen variables continuas positivas para representar los flujos de materiales de cada categoría entre los diferentes nodos, los totales procesados en cada nodo y magnitudes relacionadas a los balances de materias necesarios. En la Figura 1 se muestran con sus correspondientes subíndices.

Ejemplos de variables continuas positivas que representan los flujos entre nodos

$T_{i,j,c}$  son las cantidades transportadas desde cada centro de generación i, de cada categoría de RSU c, a cada planta de separación y acondicionamiento (PSA) j en [t/año];

$T_{l8q,d,c}$  son las cantidades de bioestabilizado transportado de la planta de bioestabilización q, de cada categoría de RSU c, al enterramiento sanitario d en [t/año].

#### *Ejemplos de variables continuas positivas que representan la masa procesada en los diferentes nodos de la cadena*

$C_{d_i,c1}$  son las cantidades de la categoría c1 de RSU compostada de forma domiciliaria en cada centro de generación i, en [t/año]

$PSA_{j,c}$  son las cantidades de cada categoría de RSU c procesada en cada PSA j, en [t/año]

$BG_{p,c}$  son las cantidades de cada categoría de RSU c procesada en la planta de Biogasificación p, en [t/año]

$DF_{d,c}$  son las cantidades de cada categoría de RSU c dispuesta en el enterramiento sanitario d, en [t/año]

### ***Ejemplos de ecuaciones de balance de masa de operación y transporte entre nodos***

La ecuación (1) estima la cantidad de putrescibles, categorizados como c1, compostados en cada i.

$$CD_{i,c1} = G0_{i,c1} * vh * tactd * factorcomp_{i,c1} \quad \forall i \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde  $G0_{i,c1}$  es la cantidad de RSU de cada nodo i, que corresponde a la categoría C1, vh es el porcentaje de habitantes que viven en casas, tactd es la tasa de adhesión al compostaje domiciliario y  $factorcomp_{i,c1}$  es la fracción de c1 que puede ser compostada.

La ecuación 2 limita la cantidad de RSU aportados por la recolección diferenciada a las PSA j en función de los parámetros de tasa de recolección diferenciada trd y la tasa de captura de cada categoría capc.

$$\sum_j T1_{i,j,c} = G_{i,c} * trd * cap_c \quad \forall i, c \quad \text{Ecu. 2}$$

La ecuación (3) calcula el material recuperado en cada PSA j para luego ser vendido para su reciclaje en función del parámetro que representa la fracción de recuperación de cada categoría Frec<sub>c</sub>.

$$\sum_n T7_{j,n,c} = PSA_{j,c} * Frec_c \quad \forall j, c \quad \text{Ecu. 3}$$

Las ecuaciones (4) y (5) determinan el destino de la masa procesada en cada Planta de Separación Mecánica 1 cuya fracción gruesa, determinada por el factor FracG<sub>c</sub> que representa la fracción de cada categoría que pasa el trommel, es derivada a las PSAF o, y cuya fracción fina, es derivada a las Plantas de Biogasificación BG p.

$$\sum_o T11_{l,o,c} = PSA_{l,c} * CompG_c \quad \forall l, c \quad \text{Ecu. 4}$$

$$\sum_t T14_{l,t,c} + \sum_p T16_{l,p,c} = PSA_{l,c} * (1 - CompG_c) \quad \forall l, c \quad \text{Ecu. 5}$$

### ***Ejemplos de ecuaciones de cálculo del Impacto ambiental como Punto Final de la operación de cada nodo***

La ecuación (6) calcula el impacto ambiental del procesamiento en las PSA j donde EPCEa es el impacto unitario del kWh, y Rrb, Rct, Rcompc y Rmv corresponde a los consumos por tonelada procesada del Rompe Bolsas, Cinta Transportadora, Prensa y Moledora de vidrio, respectivamente.

$$\begin{aligned}
 \text{IPSAep}_a &= \text{EPCE}_a * \sum_j \sum_c \text{PSA}_{j,c} * (\text{Rrb} + \text{Rct}) + \text{EPCE}_a & \text{Ecu. 6} \\
 &* \sum_j \sum_c \text{PSA}_{j,c} * \text{Frec}_c * \text{Rcomp}_c + \text{EPCE}_a \\
 &* \sum_j \text{PSA}_{j,c6} * \text{Rmv} \quad \forall a
 \end{aligned}$$

### ***Ejemplo de Impacto ambiental como Punto Final de la recolección y el transporte entre nodos***

La ecuación (7) calcula el impacto ambiental de la recolección.

$$\text{IRecep}_a = \text{EPRT}_a * \sum_i G_{i,c} * \text{fdr} * \text{DR} \quad \forall a \quad \text{Ecu. 7}$$

La ecuación (8) calcula el impacto ambiental del transporte de T1.

$$\text{IT1ep}_a = \text{EPRT}_a * \sum_i \sum_j \sum_c T1_{i,j,c} \quad \forall a \quad \text{Ecu. 8}$$

### ***Función objetivo***

El objetivo es determinar la gestión óptima minimizando el impacto ambiental total, que se calcula como la suma de los impactos ambientales que contempla la contribución de la recolección, el transporte y la operación de cada nodo, expresados en uno de los tres indicadores de Impacto de Punto Final de la metodología ReCiPe, que son (a1): daño a la salud humana, (a2) daño a los ecosistemas y (a3) daño a la disponibilidad de recursos. El modelo se resuelve para tres funciones objetivo, minimizando en cada caso uno de estos tres indicadores.

### **Resultados y discusión**

El modelo fue implementado en GAMS 24.8.3 y se usó CPLEX como algoritmo de resolución. El modelo requiere 1.466 ecuaciones y 3.648 variables continuas, y el tiempo aproximado de resolución fue de 1 segundo para cada caso de estudio.

Para poder evaluar la reducción de los indicadores de cada caso de optimización con la situación de GIRSU actual, se utilizó el modelo para simular los indicadores ReCiPe del ACV del escenario actual, en el que se estima que un 97% se destina a disposición final y 3% a reciclaje. La simulación del modelo dio un valor de 395 DALY, para el indicador a1-daños a la salud humana; un valor de 1,08 especies/año del indicador a2- daño a la diversidad de los ecosistemas y un valor de 5.300.000 USD2013 del indicador a3-daño a los recursos.

Se observó que las soluciones obtenidas para cada caso, no diferían sustancialmente, por lo que se presentan solo las soluciones para caso 1.

### ***Caso 1: Optimización del indicador a1-daños a la salud humana***

Para el caso 1, optimizando el modelo en base al indicador a1, minimizando los daños a la salud humana, el valor de la función objetivo resultó de 63.7 DALY. Los flujos totales procesados en los diferentes nodos y sus respectivas reducciones de masa se muestran en la Tabla 1.

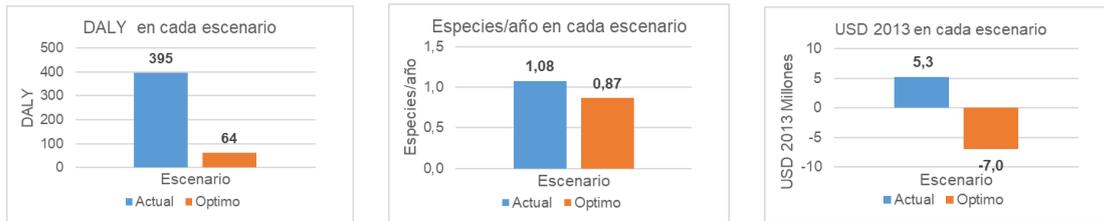
**Tabla 1: Flujos procesados en cada nodo y sus respectivas reducciones de masa**

Nodo	Toneladas/año	% de masa
Total generación	410 400	-
Compostaje domiciliario	27 332	6.7
Generación neta a recolectar	383 070	-
Planta de transferencia	88 188	-
Plantas de selección y acondicionamiento	211 500	-
Planta de reciclaje	65 779	16.0
Planta de separación mecánica	171 570	-
Biogasificación	100 860	-
Bioestabilización	97 241	-
Pérdida de masa en Bioestabilización	38 600	9.4
Proceso de purificación de biogás	30 005	-
Pérdidas de masa en la purificación del biogás	12 002	2.9
Generación de energía eléctrica	18 003	4.4
Disposición final en enterramiento sanitario	248 980	60.7

En amarillo se marcan las disposiciones finales o salidas de la cadena de suministro inversa. Note que el compostaje domiciliario que requiere esta solución, es de 27.332 toneladas anuales, lo que correspondería al 6,7 % de los RSU considerados. Esto significaría lograr que el 30% de los hogares, composten sus residuos. La solución implica reciclar 65.779 toneladas anuales, lo que implica una tasa de captura media de 50% y, Biogasificar 100.860 toneladas anuales del material fino, rico en putrescibles, saliente de planta de separación mecánica.

Esta solución también arroja una reducción de los otros dos indicadores, computando un valor de 0.52 especies/año del indicador a2- daño a la diversidad de los ecosistemas y un valor de -7.019.000 USD<sub>2013</sub> del indicador a3- daño a los recursos. En la Figura 2 se pueden observar los ahorros significativos en los tres indicadores de punto final, con respecto al escenario actual.

**Figura 2: Indicadores de punto final del escenario actual y el óptimo**



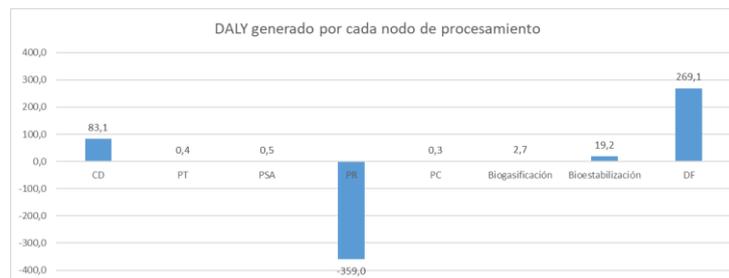
La Figura 3 muestra los impactos diferenciados entre los generados por los procesamientos y los asociados a recolección y transporte para la solución óptima del caso 1.

**Figura 3: Indicadores de punto final según tipo de actividad**



En la Figura 4 se detallan el indicador de punto final DALY asociado a cada nodo de procesamiento.

**Figura 4: DALY generados por cada nodo de procesamiento**



## Conclusiones

La optimización del modelo de GIRSU propuesto para la ciudad de Córdoba, demuestra que distintas mejoras en la gestión operativa del sistema, reflejadas en la variación de los flujos de cada categoría a los nodos utilizados, pueden generar significativas disminuciones en el impacto ambiental generado por el sistema. Las soluciones encontradas suponen lograr que el 30 % de los hogares, composten sus residuos, se recicle un 50% de potencial total y se genere biogás con un 90% de los putrescibles, entre otras estrategias, para lo cual habría que evaluar si las disminuciones en estos indicadores justifican las inversiones requeridas.

Es importante el rol del reciclaje y la biogasificación para la disminución del impacto global. Como trabajo futuro se propone complementar el análisis con una perspectiva económica que valore las inversiones requeridas y los costos operativos del sistema propuesto.

El presente trabajo y las soluciones encontradas pretenden servir de herramienta para la toma de decisiones y la determinación de políticas y normativas a implementar para lograr una gestión eficiente buscando reducir el daño ambiental provocado.

## Referencias

CORMECOR. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Complejo Ambiental de Tratamiento, Valorización y Disposición de los RSU del Área Metropolitana de Córdoba.*

GAMS. (2017).

Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., ... van Zelm, R. (2016). *ReCiPe 2016 v1.1*. Retrieved from [www.rivm.nl/en](http://www.rivm.nl/en)

*Integrated Waste Management IWM-2*. (2001).

INTI. (2015). *Encuesta sobre intención de compostaje domiciliario*.

IRAM. (2003). *IRAM 29523: Determinación de la composición de residuos sólidos urbano sin tratamiento previo*. IRAM.

Morero, B., Gropelli, E., & Campanella, E. A. (2015). *Bioresource Technology Life cycle assessment of biomethane use in Argentina*. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 182, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.077>

Pettigiani, E., & Garrido, G. (2017). *Caracterización global de los residuos recibidos en el enterramiento sanitario de Piedras Blancas*. Córdoba.

Plataforme D'Innovation Technologique Rhone-Alpes. (2015). *Estudio de caracterización de los Residuos Sólidos Municipales de la ciudad de Córdoba Informe final*.

SimaPro. (2019).

## Análisis de Ciclo de Vida: Experiencia Educativa en la Universidad Nacional de Luján

Oscar Pastorutti  
Leila Schein  
Marcelo Ponti  
Sofía Jiménez  
Sol Montechiari Herman  
María Laura Pamparato

Universidad Nacional de Luján, Depto. de Ciencias Básicas  
oscarpastorutti@gmail.com

### Resumen

*El presente trabajo expone la experiencia educativa registrada a partir de la incorporación del dictado del seminario optativo semestral vinculado al pensamiento de ciclo de vida, en la carrera de Licenciatura en Información Ambiental de la Universidad Nacional de Luján (UNLu): Introducción al Pensamiento de Ciclo de Vida: Métricas de sustentabilidad. Huellas y Análisis de Ciclo de Vida. Con el objetivo de indagar sobre su efecto en la formación profesional de los alumnos participantes en el curso, se llevaron a cabo una serie de encuestas de evaluación, centrándonos en el aspecto relativo a la transferencia de los conceptos trabajados en el Seminario a sus tareas profesionales. La experiencia resultó muy positiva, la temática era poco conocida por los estudiantes antes de comenzar el curso, pese a estar en su mayoría avanzados en su carrera. Tal situación se extiende a otros grupos docentes e investigadores dentro de la universidad, lo que dificulta la propuesta de actividades de investigación y extensión integradas. Ante esta situación, se propuso realizar una comparación de nuestra experiencia con la oferta académica de nuestro país.*

**Palabras claves:** ACV, huella ambiental, educación superior.

### Introducción

El Seminario optativo “Introducción al Pensamiento de Ciclo de Vida: Métricas de sustentabilidad. Huellas y Análisis de Ciclo de Vida”, pertenece a la oferta educativa de la Carrera de Grado Licenciatura en Información Ambiental de la Universidad Nacional de Luján desde el año 2018. Es una propuesta actualizada de la materia optativa “Introducción al Uso de las Normas ISO 14040” dictado desde 2008, y donde también se extendió en un momento a la carrera de Ingeniería Industrial.

La Licenciatura en Información Ambiental fue creada, según se informa en el sitio oficial de la carrera: “con el objetivo de contribuir a la incorporación de la dimensión ambiental tanto en la gestión pública como privada, a través de la formación de profesionales comprometidos con el logro del desarrollo sustentable. Es considerada pionera en la escala nacional y latinoamericana dentro de la Formación Superior Ambiental”

Los licenciados en Información Ambiental están capacitados “para acceder al conocimiento de las relaciones sistemáticas entre las actividades humanas y el medio físico biológico, en sus implicaciones socio-económicas y en la producción y aplicación de la información para el análisis, la corrección y prevención de los problemas ambientales” dentro de estas capacidades resulta especialmente valioso y significativo para su desempeño profesional una aproximación al pensamiento de Ciclo de Vida y su metodologías.

Estas metodologías cuantitativas para el diagnóstico de desempeño ambiental de productos y servicios, se encuentran actualmente en pleno desarrollo y constituyen extraordinarias herramientas de análisis con

múltiples aplicaciones en diversos sectores desde la gestión ambiental corporativa, el reporte de desempeño ambiental, el ecoetiquetado de productos, el ecodiseño y la economía circular, entre otras.

El seminario tuvo como objetivo principal el iniciar a los alumnos avanzados en la comprensión y utilización de un enfoque metodológico, Análisis de Ciclo de Vida. No solo por su contribución a la Gestión Ambiental, evaluaciones de Impacto Ambiental, o como análisis necesario para la obtención de distintas certificaciones ambientales, sino también como una forma integral de abordaje para la toma de decisiones que involucran variables ambientales.

Se buscó que los alumnos puedan lograr los conocimientos necesarios como para comprender informes que hayan sido realizados con la metodología ACV, interpretar los resultados que se adjuntan a tales informes y desarrollen la suficiente capacidad crítica como para detectar el cumplimiento de los parámetros de calidad de datos y transparencia de procedimiento que la herramienta exige.

Este propósito, originó el diseño y desarrollo de esta experiencia educativa entendida desde diferentes perspectivas, entre ellas la fenomenología y política-educativa, todas perspectivas que la construyeron y enriquecieron en su diseño. Desde la dimensión fenomenológica entendemos que la experiencia educativa está relacionada a la percepción e incorporación de saberes, conocimientos y nuevas capacidades generadas por la práctica educativa, la cual no es homogénea en los individuos, de acuerdo a las diferentes subjetividades, estímulos y receptividad de cada uno, así mismo, esta experiencia fue pensada como una aporte enriquecedor al currículo de la carrera, con la fuerte convicción de la necesidad de que los futuros profesionales se acerquen a estos contenidos, actuales y de gran proyección. Esta perspectiva política-educativa llevó a la necesidad de generar este espacio curricular, su diseño, desarrollo y en este momento, su valoración.

La experiencia se configuró como una propuesta de Seminario optativo para los futuros Licenciados, donde se desarrollaron los temas teóricos en formato de clases presenciales e intervenciones virtuales, se propuso un acercamiento a un Análisis de Ciclo de vida y su complejidad a través de casos de estudio propuestos por los alumnos y llevados adelante en grupos de trabajo los cuales se presentaron oralmente hacia el final formal del curso. De acuerdo a la base fuertemente técnica del ACV como herramienta práctica, que requiere de un objeto particular de estudio, sin dejar de lado, como parte esencial, el análisis crítico de la información necesaria, sus fuentes y calidad.

Formalmente, consta de clases teórico-prácticas de tres horas semanales durante un cuatrimestre. En el caso del último curso dictado en 2018, el trabajo de seminario fue un estudio exploratorio enfocado en la generación de un inventario preliminar de ciclo de vida y la cuantificación de algunos aspectos de interés: el potencial de calentamiento global y consumo de agua. Se desarrollaron 3 casos de estudio: queso ricota, producción de cerveza artesanal, y pallets de madera, en los cuales surgieron diferentes problemáticas asociadas a las potencialidades, y dificultades de estas herramientas. Esto permitió, además de discutir posibilidades de aplicaciones, poner en práctica técnicas de búsqueda y tratamiento de información, generar consultas a técnicos y productores y experimentar situaciones que se pueden presentar en ámbitos laborales y de investigación, que suelen ser muy poco habituales en las prácticas de las asignaturas de las carreras de grado.

A partir del desarrollo del Seminario y considerando que el ACV es una herramienta que tiene una demanda de profesionales capacitados en la misma (varios informes institucionales así lo mencionan, por

ejemplo INTA (“ACV: hacia un abordaje institucional”), por lo tanto, se propuso realizar una búsqueda sobre la oferta académica relacionada en instituciones educativas superiores de nuestro país, considerando además, que las carreras ambientales corresponden de forma significativa con áreas de vacancia identificadas por el Ministerio de Educación.

La definición de cada área de vacancia es “resultado de la lectura conjunta de las características de las economías regionales y las distribuciones de ofertas de títulos y estudiantes universitarios en el territorio”. Se identifican las posibilidades de expansión de las actividades productivas nacionales las cuales dependen en gran medida de la capacidad del sistema de educación superior de formar los técnicos y profesionales con las competencias necesarias. En este sentido, el informe Capacidades 2020 del Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET, 2016), “advierte el desacople entre la formación impartida por el sistema educativo y las demandas del mercado laboral, especialmente con respecto a la formación de perfiles técnicos y operativos y que la falta de competencias técnicas y de experiencia de los aspirantes son preocupaciones que atraviesan a todos los sectores, tanto a nivel de la producción primaria como en la transformación industrial y en las industrias de servicios, impactando sobre la competitividad de las empresas, afectando la productividad laboral y encareciendo los costos”.

En este contexto, decidimos comenzar por la oferta de grado, realizando una revisión sistemática de información publicada en línea, sobre las distintas instituciones de educación superior universitaria. Se relevaron las carreras en más de 40 instituciones públicas y privadas, buscando en incumbencias, contenidos mínimos, oferta de materias y programas contenidos vinculados a análisis de ciclo de vida, huellas ambientales y de sustentabilidad, como estaban planteados y su relevancia.

## Resultados y conclusiones

Habiendo puesto en valor y en contexto la experiencia de oferta del seminario, destacamos que nuestros alumnos valoraron positivamente la experiencia. En los años venideros, seguiremos desarrollando las encuestas valorativas de los contenidos y abordaje para gestionar la calidad de nuestra tarea.

En cambio, el relevamiento no fue lo esperado, debido a la escasa, o difícil de encontrar, información referida a los detalles de la oferta académica en los sitios oficiales de las universidades. Asimismo, es importante señalar que, así como nuestro seminario no apareció en la búsqueda online que llevamos adelante, es posible que haya otros cursos y seminarios e incluso contenidos a los que no tuvimos acceso en nuestro relevamiento remoto.

Sería deseable que la RACV tuviera una comisión de Educación que pudiera vincular y articular la oferta académica presente, y sobre todo ayudar a desarrollar la futura, para contribuir al fortalecimiento de capacidades en análisis de ciclo de vida y herramientas vinculadas entendiendo que la necesidad de profesionales dedicados a la Metodología de ACV estaría generando una vacancia, dentro de las carreras ambientales las cuales consisten, singularmente también, en áreas de vacancia.

## Bibliografía

*Tavela, Danya y Catino Magali “Áreas de vacancia, vinculación, pertinencia y planificación del sistema universitario: una herramienta para abordar la expansión de la educación superior en territorio” 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Ministerio de Educación de la Nación, 2018.*

*Velásquez, Jorge Ramírez. "Notas acerca de la noción de experiencia educativa" Revista educación y ciudad. N° 11, 2006.*

*Della Torre, Virginia; Garimaldi, Lucia; Palioff, Claudia. "Análisis de Ciclo de Vida: Hacia un abordaje institucional" INTA.*

*"DEMANDA DE CAPACIDADES 2020" Análisis de la demanda de capacidades laborales en la Argentina. INET. 2016*

## Plataforma “Huellas Ambientales” del INTA

**Rodolfo Bongiovanni<sup>1</sup>**  
**Jorge Hilbert<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Ruta 9, km 636. (5988) Manfredi, Córdoba. Cel. 3572528646  
bongiovanni.rodolfo@inta.gob.ar

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Ingeniería Rural, Av. Pedro Díaz N° 1798 (1686) Hurlingham Buenos Aires.

### Introducción

El INTA aprobó recientemente la Plataforma “Huellas Ambientales”, a través de la Resolución 2019-210-APN-CD#INTA del Consejo Directivo, del 21 Marzo 2019, con una duración de cuatro años.

Según consta en los documentos de gobernanza de la nueva cartera de proyectos 2019, las Plataformas Temáticas son ámbitos de articulación de capacidades, de colaboración y coordinación entre diferentes actores del Sistema Agropecuario, Agroalimentario y Agroindustrial Argentino –SAAA (instituciones públicas nacionales y locales, empresas, asociaciones por producto/cadena, entre otros), con el propósito de abordar oportunidades y problemas, consensuar acciones prioritarias y establecer mecanismos para resolverlos.

Estas plataformas atienden demandas y oportunidades de carácter estratégico, abarcan dos o más regiones, con alcance nacional o regional, articulan capacidades intra e interinstitucionales y en su constitución, la Dirección Nacional del INTA y el Consejo Directivo tienen un rol clave para conectarla a la estrategia Institucional de Innovación y Desarrollo. Se proyectan acorde a los plazos de los planes estratégicos institucionales y son coordinadas por profesionales referentes temáticos del INTA. El equipo técnico de la Plataforma trabaja en red con los Directores de Centros, Coordinadores de Programas, participantes de la Dirección Nacional y actores referentes del SAAA. La Dirección Nacional asigna los recursos de acuerdo a la disponibilidad presupuestaria. El seguimiento y evaluación de las plataformas es responsabilidad de la Matriz Nacional (conjunto de Directores y de Coordinadores de Programas).

### Justificación

Existe una creciente preocupación de la sociedad con respecto a los impactos de las actividades humanas sobre los recursos naturales. Dichos impactos se pueden estimar a través de indicadores o “huellas ambientales” con el método “Análisis de Ciclo de Vida, ACV”, el que trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la obtención de la materia prima, pasando por la producción, utilización, consumo, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (es decir, “de la cuna a la tumba”) (ISO, 2006).

Las huellas ambientales no sólo transparentan la información sobre el impacto de los sistemas productivos, sino que también detectan oportunidades de mejora de la eficiencia, las que posteriormente pueden ser aprovechadas con herramientas de la “Economía Circular”, la que busca conservar y mejorar el capital natural, optimizar el uso de los recursos y minimizar los riesgos del sistema (ONU, 2018) (EllenMacArthur Foundation, 2019).

## Problemas y Oportunidades de los que surge la Plataforma

En el INTA, la propuesta de la Plataforma “Análisis de Ciclo de Vida y Huellas Ambientales” surge de la identificación de las siguientes oportunidades en el proceso de planificación de la cartera 2019 de proyectos:

- **Oportunidad #25.** Demanda de sistemas de producción con menor huella ambiental y capacidad institucional para generarlos.
- **Oportunidad #56.** Vacancia de conocimiento sobre el impacto del Cambio global en los sistemas productivos ganaderos, con énfasis en huella de carbono y estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Oportunidad #138.** Desarrollar e implementar estudios sobre las diferentes cadenas de producción de biomasa y productos agroindustriales siguiendo la metodología de análisis de ciclo de vida y determinando las diferentes huellas ambientales de los principales productos de exportación del país.
- **Oportunidad.** Evaluar la sostenibilidad de las cadenas agroindustriales, a través del ACV.
- **Oportunidad.** Determinar las huellas ambientales de los productos seleccionados en las cadenas de valor priorizadas identificando oportunidades de mejora ambiental en alguna de las etapas.
- **Oportunidad.** Proponer mejoras a las ineficiencias detectadas, desde el punto de vista de la sostenibilidad y de la mejora de las huellas ambientales.
- **Oportunidad.** Generar propuestas de Economía Circular, entendiéndose por tal aquella economía que se propone: a) mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos, b) preservar y aumentar el capital natural, controlando los stocks finitos y equilibrando los flujos de recursos renovables, c) optimizar el rendimiento de los recursos, circulando siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad, y d) optimizar el rendimiento de los recursos, circulando siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad, en los ciclos técnico y biológico (Cerdá Tena & Khalilova, 2016).

## Contexto y Fundamentación

El cambio climático y su manifestación más notoria, el calentamiento global, son los desafíos ambientales más abrumadores que enfrenta la humanidad y es una realidad en la cual se desarrollarán las actividades humanas y los intercambios económicos en los próximos años. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generadas principalmente por la actividad humana, contribuyen de manera muy significativa al cambio climático (Field, y otros, 2014).

Un efecto indirecto ha llegado vía el comercio internacional y la preocupación de los consumidores, sobre todo de los países desarrollados, por las emisiones generadas en la producción e importación de los bienes que consumen. La sensibilidad respecto de la huella de carbono y de agua de los alimentos es especialmente significativa (Frohmann, Herreros, Mulder, & Olmos, 2012). De acuerdo con el inventario 2014 de GEI de la Argentina informado en la Tercera Comunicación Nacional para el Cambio Climático, el

51% de las emisiones del país están vinculadas al sector energético; el 39% agricultura, ganadería y silvicultura y otros usos de la tierra; el 4% a la industria y el 4% restante a los residuos (Dirección Nacional de Cambio Climático, 2019).

Para reducir y manejar los riesgos del cambio climático existen dos estrategias complementarias: la mitigación y la adaptación. Si en los próximos decenios se reducen sustancialmente las emisiones, se podrán lograr disminuciones en los riesgos climáticos a lo largo del siglo XXI y posteriormente, ampliar las perspectivas de una adaptación efectiva, reducir los costos y los desafíos de mitigación a largo plazo y contribuir a que las trayectorias de desarrollo sostenible sean resilientes al clima. El primer paso en ese sentido es la determinación de las huellas.

En los mercados ligados a los bioproductos, los criterios ambientales repercuten cada vez con mayor frecuencia en la elección de los consumidores al adquirir variedad de productos, actitud que fomenta la producción y el consumo sostenible y responsable a través de diferentes mecanismos, entre los que se destaca el cálculo de las huellas ambientales (siendo las más conocidas la huella de carbono y la huella de agua). La reducción de estas huellas puede ser una oportunidad para hacer más competitivas las exportaciones del sector, especialmente las de alimentos, en el marco de los acuerdos Mercosur-Unión Europea. Estas tendencias también se evidencian en crecientes regulaciones de tipo comercial por bloque o por países, así como también una gran dispersión de estándares y regulaciones del ámbito privado. Dado que el mercado europeo es el que mayor importancia les da a las huellas ambientales, la competitividad de las cadenas productivas argentinas dependerá casi en mayor medida de la capacidad para mostrar mayor sustentabilidad ambiental, a pesar de las emisiones del transporte en las enormes distancias entre Sudamérica y Europa para productos como la carne vacuna, los vinos, el aceite de oliva y el maní. Cumplir con el Acuerdo del Clima de París es estratégico. Convencer de que lo estamos haciendo, todavía más. Para ello es fundamental publicar en las revistas de mayor impacto. Esto traccionará toda la cadena de valor derivada de la producción agropecuaria, desde los proveedores de insumos para la producción, pasando por la agroindustria, los transportes, hasta llegar a la etapa de descarte posterior al uso o desperdicios, es decir, “desde la cuna hasta la tumba”, lo que se estudia mediante el ACV.

El método ACV es un enfoque sistémico y complejo de evaluación de uso, cargas e impactos de todo el intercambio existente entre los sistemas productivos y el medio ambiente del territorio donde se sitúan. El método emplea inventarios realizados específicamente para cada producción y en los casos de no existir dicha información, se usan referencias internacionales incluidas en bases de datos, construidas para procesos de producción y productos originados en países desarrollados, con sus especificidades agroecológicas y tecnológicas. Además de ser un requerimiento creciente en muchos mercados de exportación (Conte Grand & D’Elia, 2017), es una herramienta para mejorar la sustentabilidad de productos y servicios, fronteras adentro.

En algunos casos puntuales como los biocombustibles, estas demandas se traducen en la apertura o cierre de la comercialización y el INTA viene trabajando en la medición y caracterización de nuestros productos usada en las negociaciones bilaterales.

Sin embargo, no hay una metodología científica clara para medir el impacto en la sostenibilidad, de las correcciones propuestas basadas en los ACV. Esta Plataforma también aborda esta cuestión abierta con el objetivo de determinar el potencial de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero, a través de medidas de eficiencia de recursos en las cadenas agroindustriales priorizadas.

Vinculado directamente a las huellas ambientales surgió la Economía Circular como herramienta para optimizar la eficiencia en el uso de recursos, la que propone un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema al gestionar una cantidad finita de existencias y unos flujos renovables. A través de la comunicación de información verificable, clara y precisa, fomenta la demanda y oferta de aquellos productos y servicios que causan menos estrés ambiental, estimulando así el potencial del mercado para impulsar la mejora ambiental continua (EllenMacArthur Foundation, 2019).

Por lo arriba expuesto, existe entonces la imperiosa necesidad a nivel nacional de validar y adecuar en forma consensuada interinstitucionalmente los desarrollos metodológicos internacionales con el propósito de proporcionar información ambiental consistente de productos nacionales, que sean de referencia en los inventarios internacionales. Son prioritarios la producción de energía, y los productos de las cadenas de valor agropecuarias y agroindustriales.

La información de las huellas ambientales de productos genera conciencia entre los productores, industriales, comerciantes y consumidores, ya que promueve tendencias de producción y consumo responsable y sostenible, aportando al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” planteado por Naciones Unidas.

### **Antecedentes metodológicos**

En el INTA los investigadores relacionados con este tema integran la Red Argentina de Análisis de Ciclo de Vida (RACV) (<https://analisisciclodevida.wixsite.com/inicio>), que nuclea investigadores e instrumentadores de ACV de distintas instituciones del país (Universidades Nacionales, INTI, CONICET) y tiene como propósito aunar esfuerzos para avanzar en el desarrollo de este tipo de estudios, en orden a hacer frente a la necesidad del contexto. Como actividades principales de la red se pueden mencionar las reuniones periódicas, la organización y facilitación de workshops referentes a las metodologías y la organización anual de un encuentro nacional donde los participantes muestran los trabajos y proyectos en los que se está trabajando y expertos muestran los avances metodológicos que se suscitan a nivel mundial.

El INTA cuenta con personal capacitado en la realización de estudios de análisis de ciclo de vida y cálculo de huellas ambientales, con amplio manejo de bases de datos y softwares de cálculo, lo que ha llevado a la publicación de numerosos trabajos en revistas y sitios de difusión nacional e internacional. Asimismo, el INTA posee grupos especializados en alternativas técnicas para valorización de residuos en el agro y la generación de marcos regulatorios.

En 2017, el INTA realizó un primer relevamiento sobre la importancia del tema, de donde surge la necesidad de creación de esta Plataforma (Della Torre, Garimaldi, & Paliuff, 2017).

### **Objetivos y resultados esperados**

#### ***Hipótesis***

Las huellas ambientales y las propuestas de economía circular agregan valor ambiental y generan ventajas competitivas.

### ***Objetivo general de la Plataforma***

Coordinar actividades de análisis de huellas ambientales y propuestas de economía circular en las cadenas agroindustriales priorizadas. Los resultados obtenidos deberán servir para caracterizar los productos y sistemas productivos, así como evaluar tecnologías alternativas, encontrar los puntos de debilidad y mejora en las eficiencias de las cadenas de valor. En su diseño se plantearán acciones coordinadas con áreas intra y extra-institucionales de competencias afines.

### ***Objetivos específicos***

- Coordinar acciones para evaluar la sostenibilidad de las cadenas agropecuarias y agroindustriales, a través del Análisis de Ciclo de Vida.
- Acompañar los estudios en los equipos de trabajo para la determinación de las huellas ambientales de los productos agroindustriales priorizados, creando valor agregado “ambiental” y valor agregado “creado” a los productos, generando ventajas competitivas a las empresas por la producción y comercialización de productos intrínsecamente más valiosos, al mismo tiempo que se incentivará la adopción de métodos de producción que satisfagan a las preocupaciones de los consumidores por los temas ambientales.
- Proponer mejoras a las ineficiencias detectadas, desde el punto de vista de la sostenibilidad, trabajando en conjunto con los productores y la agroindustria en la búsqueda consensuada de alternativas de manejo o de innovaciones tecnológicas.
- Formular planes de negocios vinculados a la Economía Circular para: a) Promover la reutilización de los recursos y la sustitución de materias primas, creando condiciones para la regeneración; b) Optimizar el rendimiento de los recursos a través de la rotación, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos; c) Reducir las externalidades negativas de la actividad humana en términos de contaminación.

### ***Impacto esperado***

El impacto de la Plataforma está directamente relacionado al objetivo general de agregar valor ambiental y generar ventajas competitivas a los productos de las cadenas de valor agroindustrial, a través de la **determinación de las huellas ambientales y de las propuestas de economía circular** para aumentar la eficiencia de uso de los recursos. En línea con lo previsto en la pág. 40 del Plan Estratégico Institucional del INTA 2015-2030 (en lo referido a la gestión por resultados) y en el “Modelo para una Gestión de Excelencia” de la Fundación Premio Nacional a la Calidad ([http://fpnc.org.ar/wp-content/files/MODELO\\_PNC\\_OSFL\\_2017.pdf](http://fpnc.org.ar/wp-content/files/MODELO_PNC_OSFL_2017.pdf)), el impacto de esta Plataforma radica en la orientación hacia los resultados. La aplicación consistente de los principios de un sistema de gestión conduce a resultados. La sostenibilidad también se manifiesta en el logro de los resultados buscados en forma consistente en el tiempo.

El impacto se podrá verificar en número de productos con huellas ambientales publicadas, y en número de propuestas de mejora. Los indicadores de impacto se encuentran vinculados a los planes de trabajo que se llevarán adelante en cada una de las cadenas de valor que participan de la Plataforma, y se encuentran detallados en los anexos de este documento.

En un sentido amplio, cabe destacar que la huella de carbono se encuentra en el centro de las discusiones relacionadas con el impacto ambiental de los productos, en conjunto con otros criterios ambientales incipientes que también podrían tener un impacto en las exportaciones agroalimentarias, biomateriales, biocomustibles, etc. en el futuro inmediato. En Europa, por ej., se destaca el papel del Estado como impulsor de este tipo de preocupaciones ambientales en el consumidor, aun cuando estas normas presentan todavía un carácter voluntario. Se observa, además, que si bien las iniciativas sobre etiquetado de huella de carbono abordan una amplia gama de productos y servicios, se les presta especial atención a los productos alimenticios comercializados en grandes cadenas minoristas. Estas discusiones se están extendiendo hacia una gama más amplia de criterios de desempeño ambiental al contemplar no sólo las emisiones de carbono de los productos, sino que también se consideran otros criterios –i.e., relacionados con la calidad del agua o con la biodiversidad– como en el caso de la iniciativa de Huella Ambiental de los Productos (PEF) de la Unión Europea.

Se espera, por lo tanto, que las tendencias en los próximos años apunten a: (i) una internacionalización de los estándares y etiquetados de los productos, (ii) una creciente demanda por parte de los consumidores de información sobre el contenido de carbono de los productos y sobre otros criterios de sostenibilidad y (iii) una creciente complejización y proliferación de metodologías para la medición de la huella de carbono que podría traducirse en crecientes costos, en especial para los productores pequeños y medianos y/o que exportan a diversos mercados.

En este sentido, para Argentina, el diseño y la aplicación de sistemas privados de certificación ambiental y de etiquetado deben ser cuidadosamente evaluados dado que podrían constituir el primer paso para el establecimiento futuro de prescripciones obligatorias, con repercusiones mucho más amplias que un sistema privado y voluntario. Muchas de estas prescripciones privadas y voluntarias son diseñadas en base a métodos elaborados por países desarrollados y se aplican en especial a los alimentos, los biocombustibles y los productos orgánicos, que son sectores de gran importancia y que además son eficientes en materia agropecuaria, como la Argentina.

Las Huellas Ambientales constituyen una temática dinámica, que se ha ido modificando en el tiempo y que requiere un seguimiento constante de su evolución debido a las distintas consecuencias que podría tener en el sector exportador argentino. El grado de vulnerabilidad de la economía argentina fue estudiado por Lottici (2012). De este análisis se observa que la canasta de exportaciones potencialmente afectada por esquemas de medición de huella de carbono de los productos representa alrededor de un cuarto de las exportaciones argentinas. Los sectores productivos más vulnerables corresponden a la miel, jugos de frutas, té y manzanas y peras como así también a las carnes bovina, porcina, ovina y sus preparaciones, cítricos, frutas, hortalizas y sus conservas y aceite de oliva. Los biocombustibles también están sujetos al escrutinio ambiental.

Del análisis de Lottici (2012) también se desprende la relevancia que tiene la Unión Europea dentro de los mercados de destino de las exportaciones argentinas de productos potencialmente afectados por estándares o etiquetados de huella de carbono, que representa el 29,1% de las exportaciones argentinas de productos afectados al mundo. Los Estados Unidos, por su parte, explican el 11,1% de las exportaciones totales de productos afectados, mientras que Japón sólo representa el 2,1%.

Otros países de Latinoamérica ya han avanzado en el análisis de medidas para anticiparse a la medición de la huella de carbono de sus principales productos de exportación. En vista de esto, Argentina no puede quedar atrás y debe avanzar tanto en conocimiento como en aplicación de métodos de medición de huella de carbono como medio para agregar valor ambiental y generar ventajas competitivas.

Consecuentemente, los destinatarios de la Plataforma son los diferentes actores del SAAA: productores agrícolas, agroindustrias, proveedores, cámaras, asociaciones vinculadas, etc., quienes podrán utilizar los resultados: a) para que las propias empresas trabajen en la mejora continua de la gestión ambiental interna; b) para analizar el desempeño interno de la cadena o en comparación con otros países; c) como herramienta de marketing, competencia, y diferenciación, d) para brindar información a los consumidores, a los mercados nacionales/internacionales; o e) como herramienta para gestionar políticas de apoyo al sector y/o a la región para el uso de tecnologías más eficientes.

Las empresas y actores intervinientes en la producción, transporte y transformación de productos del agro encuentran importantes beneficios de los resultados de este tipo de análisis, pero también del ordenamiento interno que requiere su ejercicio. Es así que varias empresas mantienen y repiten los estudios anualmente como una forma de evaluar las mejoras y los impactos alcanzados. La reducción de residuos, emisiones y vertidos hacia el medio también implican un considerable beneficio económico.

Desde el lado de desarrollo e implementación de mejoras tecnológicas, manejo agronómico, innovación genética, procesos, etc., el Análisis de Ciclo de Vida cumple un rol fundamental al cuantificar las mejoras en cada uno de los indicadores sobre los cuales trabaja. Por otro lado, permite sostener una visión sistémica, ubicando a estas mejoras dentro del proceso total productivo hasta el producto final comercializable.

Siguiendo la recomendación de la Secretaría de Comercio de la Nación (Conte Grand & D'Elia, 2018), Argentina debería llevar a cabo varias tareas. Por un lado, estar atento a que sus socios comerciales no le fijen aranceles de importación ligados a listados de bienes supuestamente con riesgo de fuga de carbono. Por otro lado, con la ayuda de los sectores productivos privados, debería hacer un seguimiento de procedimientos de ecoetiquetado para saber cómo los distintos tipos de métodos afectan sus productos exportables, y participar de los grupos de trabajo en esta temática. Luego, debería mejorar la información ambiental, haciendo que estén disponibles los datos que se necesitan cuando algún productor quiere acceder a un etiquetado basado en el ciclo de vida de su producto. Este es un rol del Estado y particularmente del INTA en el sector agroalimentario, ya que se trata de información que abarca a varios productores, que no es específica de uno (ejemplos podría ser los factores de emisión de dióxido de carbono o el destino de los residuos). Finalmente, el INTA también puede tener un rol más activo, a través del armado de una base de datos de los productos que tienen cálculo de huella ambiental ya realizados y de las etiquetas que se certifican en el país. Eso daría un panorama más realista de la situación ante posibles políticas ambientales que afecten el comercio.

## **Estrategia y organización**

### ***Actividades para poner en marcha la Plataforma en el INTA***

La propuesta de creación de la Plataforma “Huellas Ambientales” en el INTA está disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=7Xkq\\_BK8Uws&t=895s](https://www.youtube.com/watch?v=7Xkq_BK8Uws&t=895s). Se presentó en la Matriz Nacional en Febrero 2019 y fue aprobada por Resolución 2019-210-APN-CD#INTA, del 21 Marzo 2019. Ya se hizo un primer

relevamiento de productos priorizados de diferentes cadenas agroindustriales y de grupos de trabajo interesados en participar.

Las Plataformas Temáticas son ámbitos de articulación de capacidades, de colaboración y coordinación entre diferentes actores del Sistema Agropecuario, Agroalimentario y Agroindustrial Argentino –SAAA (instituciones públicas nacionales y locales, empresas, asociaciones por producto/cadena, entre otros), con el propósito de abordar oportunidades y problemas, consensuar acciones prioritarias y establecer mecanismos para resolverlos.

### ***Metodología***

El ACV es la metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas de existencia de un producto, evaluando diversos criterios ambientales y cuantificando tanto los recursos requeridos, como la generación de residuos resultante de toda su existencia; desde la extracción de la materia prima, la producción, el empaque, el transporte, el consumo, el desecho, hasta el manejo ambiental como reciclaje o reutilización. La normativa aplicable para el ACV es la serie ISO 14040:2006 “Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y estructura”.

Conforme a las normas internacionales ISO 14040 e 14044, un ACV se realiza en cuatro etapas interrelacionadas:

- Definición del objetivo y el alcance.
- Inventario del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida.
- Interpretación del ciclo de vida.

Por último, los resultados del ACV o de la huella ambiental se comunican al mercado a través del etiquetado:

- Tipo I (ecoetiquetas)
- Tipo II (autodeclaraciones)
- Tipo III (declaraciones ambientales): son cuantificaciones ambientales sobre el análisis del ciclo de vida de los productos. Aplica la normativa ISO 14025.

Las declaraciones ambientales tipo III se basan en un análisis de ciclo de vida (ACV) de los productos, tales como el EPD. El EPD es una Declaración Ambiental de Producto certificada, que entrega información sobre los datos ambientales de ciclo de vida de un producto o servicio, en conformidad con la norma internacional ISO 14025 (<https://www.environdec.com/es/>), A su vez, el EPD debe ser compatible con la Single Market for Green Products Initiative (<http://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/index.htm>) o Product Environmental Footprint (PEF) de la Unión Europea.

### ***Cadenas identificadas***

1. Cadena de caña de azúcar de Argentina (azúcar, bioetanol y otros derivados). Huella ambiental: Equipo de trabajo: Gonzalo Pérez (INTA Famailá). Fernando Mele y Andrea Nishihara (UNT).

2. Cadena del limón de Tucumán. Huella ambiental y Huella Hídrica: Equipo de trabajo: Gonzalo Pérez (INTA Famaillá). Fernando Mele y Andrea Nishihara (UNT).
3. Cadena de frutas finas en Tucumán (frutilla y arándanos). Huella ambiental y Huella Hídrica: Equipo de trabajo: Gonzalo Pérez (INTA Famaillá). Fernando Mele y Andrea Nishihara (UNT)
4. Cadena de etanol de minidestilerías autónomas de etanol de caña en Tucumán. Equipo de trabajo: Gonzalo Pérez (INTA Famaillá). Fernando Daniel Mele y Andrea Nishihara Hun (UNT).
5. Cadenas de maíz de Argentina. Equipo de trabajo: Jorge Hilbert (IIR Castelar) Jonatan Andrés Manosalva (IIR Castelar).
6. Cadenas de soja de Argentina. Equipo de trabajo: Jorge Hilbert (IIR Castelar) Jonatan Andrés Manosalva (IIR Castelar).
7. Cadena de maní de Argentina. Equipo de trabajo: Rodolfo Bongiovanni (INTA Manfredi). Leticia Tuninetti (INTI Córdoba).
8. Huella de agua de 1 kW de energía eléctrica de cáscara de maní. Equipo de trabajo: Rodolfo Bongiovanni (INTA Manfredi). Leticia Tuninetti (INTI Córdoba).
9. Cadena de trigo de Argentina. Equipo de trabajo: Rodolfo Bongiovanni (INTA Manfredi). Leticia Tuninetti (INTI Córdoba).
10. Cadena de etanol de miniusinas de maíz de Córdoba. Equipo de trabajo: Rodolfo Bongiovanni (INTA Manfredi). Leticia Tuninetti (INTI Córdoba).
11. Cadenas de biocombustibles (biodiesel, biogas, bioetanol) de Argentina. Equipo de trabajo: Jonatan Andrés Manosalva (IIR Castelar) y Jorge Hilbert (IIR Castelar). Mariano Butti, Mariana Alegre, y Maria Emilia Negri (EEA Pergamino).
12. Cadena de té de Argentina. Equipo de trabajo: Emiliano Lysiak (INTA Cerro Azul).
13. Cadena de yerba mate de Argentina. Equipo de trabajo: Emiliano Lysiak (INTA Cerro Azul).
14. Cadena de tabaco de Misiones. Equipo de trabajo: Emiliano Lysiak, Silvia Albarracín (INTA Cerro Azul).
15. Cadena láctea de Argentina. Programa Leche: Equipo de trabajo: Karina García (garcia.karina@inta.gob.ar), Verónica Charlón (charlon.veronica@inta.gob.ar) y María Paz Tieri (tierimaria@inta.gob.ar) (INTA Rafaela) Claudia Faverín (INTA Balcarce). Como contacto del Programa Leche para las acciones de comunicación y transferencia: María Rosa Scala y Mariana Mascotti. Referentes del Centro Regional Buenos Aires Sur: Patricia Ricci y Pedro Errecart.
16. Cadena de la miel de Argentina. María Soledad García Paoloni (Hilario Ascasubi) y Carla Sandoval (INTA Balcarce) paoloni.soledad@inta.gob.ar sandoval.carla@inta.gob.ar. Referentes del Centro Regional Buenos Aires Sur: Patricia Ricci y Pedro Errecart.
17. Cadena carne bovina de Argentina. Equipo de trabajo: Claudia Faverín (INTA Balcarce) Gustavo Sebastián Cambareri (INTA Balcarce). Verónica Charlón y María Paz Tieri (INTA Rafaela). Referentes del Centro Regional Buenos Aires Sur: Patricia Ricci y Pedro Errecart.

18. Cadena fruticultura de pepita: peras y manzanas de Patagonia Norte. Equipo de trabajo: Sergio Romagnoli y Patricia Villarreal.
19. Cadena bovina - ovina de Patagonia Norte. Equipo de trabajo: Dra. Andrea Enriquez <enriquez.andrea@inta.gob.ar>; Magister Ezequiel Bernardo González <gonzalez.ezequiel@inta.gob.ar>; Med. Vet. Sofía Hara <hara.sofia@inta.gob.ar>; Nicolás Ernesto Paredero <paredero.ernesto@inta.gob.ar>; Ezequiel Gonzalez, Leg 22323, <gonzalez.ezequiel@inta.gob.ar>.
20. Cadena ovina de Patagonia Sur. Pablo L. Peri, Investigador INTA-UNPA-CONICET, Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina. Huella del carbono de la producción de carne y lana ovina y propuestas de mitigación a nivel predial. Huella hídrica: Boris Díaz.
21. Cadena de arroz de Corrientes. Licenciada en Ciencias Químicas Susana Maciel; Grupo de Cultivos Extensivos. Dra. Fernández López, Carolina; Agroclimatología, Grupo RRNN. Tec. Programadora de Unidades de Análisis, Natalia Retamozo, Luciana Herber, Daniel Rodríguez, EEA INTA-Corrientes.
22. Cadena avícola de Entre Ríos. INTA-EEA C del Uruguay- Entre Ríos. Almada, Natalia. Vaiman, Nicolás. Caluva, Emanuel. Gange, Juan Martin. INTI- C del Uruguay. Minaglia, Mariano. UNER- FCS (Emisiones). Orcellet, Emiliana; Juan Manuel Cantet. UTN Córdoba (Modelización); Diez, Sebastián
23. Maíz, trigo y soja de Entre Ríos. María Carolina Sasal, Mariela Seehaus; Ana Wingeyer; Natalia Van Opstal; Emmanuel Gabioud.
24. Logística (tonelada.km transportado). Equipo de trabajo: Juan Carlos Antuña (INTA Santiago del Estero).
25. Tecnologías para pequeños productores. Equipo de trabajo: Dis. Ind. Edurne Battista; Ing. Mco. Marcos HALL, INTA IPAF Región Pampeana.
26. Cadena vitivinícola Mendoza-San Juan. Equipo de trabajo: Analía Díaz Bruno Leg. 20374 de la EEA Mendoza.
27. Evaluación de desempeño ambiental de sistemas agro-industriales del sur de Santa Fe. Equipo de trabajo: Gloria Rótolo (INTA EEA Oliveros) Aranza Rodríguez (DNI: 37209890)
28. Cadena de arándanos del noreste argentino (NEA). Enrique Eduardo Sánchez: sanchez.enrique@inta.gob.ar. Equipo de trabajo: Por Fac. Agronomía UBA: Ing. Agr. Dr. Alejandro Pannunzio. Por INTA EEA Concordia: Ing. Agr. Alejandro Battistella, Ing. Agr. Daniel Paulino; Ing. Agr. Agustín Gollan, Biol. Pablo Cavigliasso, Lic. Adm. Rural Sebastián Trupiano, Cr. Luis Vera, Ing. Agr. Ma. Fernanda Rivadeneira. Por sector privado: Asociación de Productores de Arándanos de la Mesopotamia Argentina (APAMA).
29. PN Forestal: 1m3 de tabla de pino. Referente: Luis Colcombet, Montecarlo, colcombet.luis@inta.gob.ar
30. Cadena de soja – CRBAN. Referente: Maria Cecilia Paolilli, E.E.A. PERGAMINO paolilli.maria@inta.gob.ar Francisco Fillat y Leandro Pagliaricci.

31. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE AGROINDUSTRIA – Maquinaria agrícola de bajo impacto ambiental. Equipo de trabajo del IIR: Mario Omar Tesouro, Marcos Andrés Roba, Ángel Romito, Leonardo Venturelli, Adriana Peralta.
32. Cadena olivo: Aceitunas y aceite de oliva. Evelyn Vuksinic. Participantes INTA: Ing. Joaquín Gonzalez Ribot, Ing. Emanuel Guerrero, Dr. Luis Martín Agüero Alcaras; Dr. Roberto Esteban Miguel. Participante Extra INTA: Dra. María Cecilia Gareis
33. Hortícolas. Zapallo, ajo y cebolla. Jonatan Andrés Manosalva (IIR) – Juan Pablo Damico (EEA Ascasubi).
34. Carne bovina de San Luis. María Laura Guzmán. EEA San Luis
35. Agroecología vs. Agricultura tradicional. Alejandra López. Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow
36. Huella hídrica por cuenca. Equipo de trabajo: ICyA: Alicia Anschau, M. Victoria Feler, Nestor Barrionuevo, Aime Espindola y Sofía Havrylenko. EAA Santiago del Estero: Howard Van Meer.

## Bibliografía

Cerdá Tena, E., & Khalilova, A. (2016). *Economía Circular. Obtenido de Economía industrial Año 2016, Número 401*: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5771932&orden=0&info=link>

Conte Grand, M., & D'Elia, V. (2018). *Situación en los países del MERCOSUR de productos definidos por la UE como en riesgo de fuga de carbono y con metodología piloto de huella ambiental. Buenos Aires: Programa de Investigadores de la Secretaría de Comercio de la Nación, Documento de trabajo N°1.*

Conte Grand, M., & D'Elia, V. (2017). *Impacto potencial de las restricciones europeas por “fuga de carbono” en las exportaciones de América Latina. Nota técnica del BID, IDB-TN-1232. Buenos Aires, Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.*

Della Torre, V., Garimaldi, L., & Palioff, C. (2017). *Análisis de ciclo de vida. Hacia un abordaje institucional. Obtenido de INTA. Coordinación Nacional de Investigación y Desarrollo.:* <https://inta.gov.ar/documentos/analisis-de-ciclo-de-vida>

Dirección Nacional de Cambio Climático. (2019). *¿Qué es el cambio climático? Obtenido de Secretaría de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable de la Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS):* <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/cambioclimatico>

EllenMacArthur Foundation. (2019). *Economía Circular. Obtenido de* <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

FAO. (2015). *Desarrollo de cadenas de valor alimentarias sostenibles: principios rectores. Recuperado el 23 de Abril de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:* <http://www.fao.org/3/a-i3953s.pdf>

Field, C., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., . . . White, L. (2014). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Obtenido de Summary for policymakers in Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects:* [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf)

Frohmann, A., Herreros, S., Mulder, N., & Olmos, X. (2012). *Huella de carbono y exportaciones de alimentos. Guía práctica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile: ONU.*

ISO. (2006). *ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines*, International Organisation for Standardisation (ISO).

Lottici, M. V. (2012). *La huella de carbono y su impacto potencial sobre las exportaciones argentinas*. 1a ed. (Serie de estudios del CEI; 14). Buenos Aires: Centro de Economía Internacional, ISBN 978-987-23765-6-7.

ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Roma: ONU A/RES/70/1.

ONU. (2018). *¿Qué es la economía circular y cómo cuida del medio ambiente?* Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801>

Viglizzo, E. (2014). *Capítulo 1: Algo de historia y el presente*. En E. Viglizzo, *La huella de carbono en la agroindustria* (págs. 11-18). Anguil, La Pampa: Ediciones INTA.

WHO. (2013). *World Health Organization*. Obtenido de *Protecting health from climate change: vulnerability and adaptation assessment*: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/104200/1/9789241564687\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/104200/1/9789241564687_eng.pdf)

WHO. (2014). *World Health Organization*. Obtenido de *WHO guidance to protect health from climate change through health adaptation planning*: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/137383/1/9789241508001\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/137383/1/9789241508001_eng.pdf)



## RESÚMENES

# Inventarios de Ciclo de Vida de la Energía Eléctrica de un País. El Caso de Argentina

---

Alejandro Pablo Arena  
Bárbara Civit

---

Grupo CLIOPE, FRM-UTN/CONICET, Mendoza, Argentina  
barbara.civit@gmail.com (corresponding author)

## Resumen

*El inventario de la energía eléctrica de un país es probablemente el más requerido para la realización de estudios de Análisis de Ciclo de Vida de cualquier producto elaborado dentro de él. Cuando no existe, gran parte de las instituciones, consultores, investigadores y estudiantes que lo necesitan deben crear su propia versión, con una enorme dispersión de esfuerzos y variabilidad de resultados, que afectan luego todos los estudios de ciclo de vida en los que se utilice esta información. Esto determinó el objetivo de abordar el desarrollo del inventario de la energía eléctrica de Argentina, siguiendo una metodología y un procedimiento consistentes a lo largo de todo el procedimiento, que incluyera todos los componentes del sistema. Esto se concretó mediante la participación en el consorcio ALEC que elaboró inventarios de electricidad de Colombia, Brasil, Perú, y Argentina, dentro del programa de Industrias de reciclaje sostenible (SRI), financiado por la Secretaría de Asuntos Económicos del Estado de Suiza (SECO), e implementado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (Empa), el Foro de Recursos Mundiales (WRF) y Ecoinvent.*

*El sistema eléctrico argentino posee muchas características comunes con las de otros países, como la división de las fases de generación, transporte y distribución. Sin embargo, la extensa y variada geografía impone la existencia de una gran variedad de tecnologías de generación, incluyendo hidroeléctricas de embalse, de pasada y de bombeo funcionantes en distintos climas; centrales nucleares; centrales térmicas que utilizan Gas Natural, Fuel Oil, GasOil y Carbón; y una creciente cantidad de nuevas centrales funcionando con fuentes renovables de origen fotovoltaico y eólico. Los datasets han sido construidos siguiendo un enfoque bottom-up, utilizando estadísticas nacionales de energía de Argentina, a partir de las cuales se han recopilado la producción neta de electricidad y el consumo de combustible de 761 generadores, conformando 22 datasets describiendo cada tecnología generadora, niveles de tensión, e intercambios con los países limítrofes. La variedad de fuentes de información consultada, la gran cantidad de datos requerida, y la necesaria adaptación para modelar el sistema impone numerosos desafíos y estrategias de solución, que se describen en este trabajo.*

**Palabras Clave:** Análisis de ciclo de vida, Inventarios, Energía eléctrica.

# Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a la Producción de Electricidad a Partir de *Spartina Argentinensis*

Emiliano Jozami<sup>1,2</sup>  
Fernando Mele<sup>3</sup>  
Roxana Piastrellini<sup>4</sup>  
Bárbara Civit<sup>4,5</sup>  
Susana R. Feldman<sup>1,2,6</sup>

1 Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, Parque Villarino, Zavalla (S2125ZAA), 0341-4970080, ejozami@unr.edu.ar

2 CIUNR, Sede de gobierno, Maipú 1065, Rosario (2000), 0341-4201200

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

4 CLIOPE, UTN, FRM - CONICET, Cnel. Rodríguez 273, Mendoza (5500), 0261-5244693

5 INAHE-CONICET, Av. Ruiz Leal s/n, Pque. Gral. San Martín, Mendoza (5500), 0261-5244310

6 IICAR (Inst.UNR-CONICET).

## Resumen

*En el centro y norte de la provincia de Santa Fe se ubican los Bajos Submeridionales, una región de aproximadamente 3 millones de ha. Los suelos de esta región presentan elevada salinidad y se inundan con frecuencia por lo cual no son aptos para la producción agrícola. Una de las comunidades predominantes de esta región son pastizales donde la especie dominante es *Spartina argentinensis* (nombre vulgar: espartillo). Esta especie pertenece a la familia Poaceae y es un pasto perenne, nativo de muy baja digestibilidad por lo que su potencial uso para la ganadería resulta limitado. Los sistemas productivos prevalentes se basan en una ganadería de muy baja rentabilidad donde la quema del pastizal es una práctica frecuentemente utilizada para fomentar el crecimiento de un rebrote de mayor digestibilidad. En este marco proponemos aprovechar este pasto con fines bioenergéticos en lugar de quemarlo a campo generando emisiones al aire de gases y material particulado con el impacto ambiental que ello conlleva. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de calentamiento global (PCG) de la cosecha, transporte y gasificación de *S. argentinensis* para la producción de electricidad. Se obtuvieron datos reales de la etapa de campo y la mayoría de los procesos de la etapa industrial. Algunos de los procesos industriales fueron modelados en base a datos bibliográficos y a datos consultados al fabricante del gasificador. Para los co-productos se restaron las emisiones de los procesos y/o productos evitados: se plantea el uso del biochar en una cocombustión con carbón para generar energía eléctrica y el calor resultante de la combustión del gas de síntesis reemplazaría al proceso de producción de calor a partir de gas natural. Se plantearon tres escenarios de aprovechamiento del calor generado por la combustión del gas de síntesis: i- sin aprovechamiento del calor; ii- 50% del calor aprovechado; y 90% del calor aprovechado. Las emisiones de CO<sub>2</sub>eq fueron 45, -181 y -403 kg de CO<sub>2</sub>eq para los escenarios i, ii y iii respectivamente.*

# LCA de la producción de etanol y metano en una biorrefinería de limón

Jonathan Wheeler  
Lucas M. Machin Ferrero  
Fernando Daniel Mele

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, (T4002BLR), San Miguel de Tucumán, Tucumán,  
0381-4364093, jwheeler@herrera.unt.edu.ar  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

## Resumen

*En los últimos años han aumentado los esfuerzos hacia una economía de base biológica que reemplace los recursos no renovables en las actividades humanas. En este contexto, los desechos de la industria de limones (DL) de Tucumán aparecen como una materia prima interesante dado su bajo costo, el gran volumen que se genera durante el proceso de industrialización (50% de lo que ingresa en base seca) y el alto contenido de carbohidratos. Esta vía productiva se ve favorecida por la posibilidad de convertir los DL en azúcares fermentables mediante procesos que operan en condiciones moderadas de temperatura y presión, lo que reduce sustancialmente los costos de producción. De esta manera, podría verse a una planta procesadora de limones como una biorrefinería con diferentes procesos para la valorización de los cítricos, ej.: ácido succínico, etanol, biogás, pectina, enzimas, proteína celular, y terpenos (limoneno).*

*Sin embargo, se necesita un análisis ambiental para garantizar la sustentabilidad de estas alternativas de producción a lo largo del ciclo de vida. Son pocos los estudios de análisis de ciclo de vida (LCA) de una biorrefinería basada en DL y la mayoría de ellos se refieren a procesos basados en naranjas. Al analizar la industrialización del limón, especialmente en América del Sur, aparece una situación especial: la mayor parte de la cáscara de limón se deshidrata y se envía a Europa o a América del Norte para la producción de pectina, en un proceso no rentable y altamente dependiente de combustibles fósiles. Para cuantificar los beneficios ambientales de este cambio de paradigma en la industrialización del limón, se ha realizado un estudio de LCA para la producción de limoneno y biocombustibles (bioetanol y biogás) en una biorrefinería de limón, y un análisis comparativo con los esquemas de producción actuales. Se estudió una planta citrícola de Tucumán que genera aproximadamente 0,75 millones de toneladas de DL (al 20% de materia seca) que se pueden usar potencialmente para producir unos 16 mil millones de litros de etanol, 22 millones de metros cúbicos de biogás y 776 toneladas de limoneno. Los resultados constituyen el primer perfil ambiental local de limoneno, etanol y biogás calculado a partir del limón como materia prima.*

**Palabras claves:** limoneno; bioetanol; biogás; biocombustibles.

# Huella de agua de la industria del limón en la provincia de Tucumán

Paula Z. Araujo<sup>1</sup>  
Lucas M. Machin Ferrero<sup>1,2</sup>  
Andrea L. Nishihara Hun<sup>1</sup>  
Daniel H. Valdeón<sup>1</sup>  
Fernando Daniel Mele<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, Av. Independencia 1800, (T4002BLR) San Miguel de Tucumán, Tucumán, 0381-4364093, paraujo@herrera.unt.edu.ar

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

## Resumen

*La Argentina es uno de los mayores productores y exportadores mundiales de limón y Tucumán, la principal provincia productora del país. Las actividades de esta cadena de valor se inician con la producción primaria en fincas de limoneros de las que los limones son cosechados e industrializados, generándose productos de distinto valor agregado, a saber: fruta fresca, aceite esencial, jugo concentrado (turbio y clarificado) y cáscara deshidratada.*

*El cultivo del limón se realiza bajo riego por goteo y por micro-aspersión, tarea que se concentra durante la estación seca de la provincia de Tucumán (junio a septiembre). Una vez que se estima el consumo de agua asociado a un producto o proceso, cobra importancia analizar los resultados a la luz de índices de escasez de agua de la zona en la que el cultivo se desarrolla (o de aquellas zonas en las que la actividad induce un efecto extractivo importante del recurso).*

*En este trabajo se presenta un estudio de la huella de agua de los productos derivados del cultivo del limón mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en las etapas campo e industria. Los resultados se expresan en términos de indicadores de punto medio de escasez (AWARE) y degradación del agua (eutrofización de ReCiPe, ecotoxicidad de USEtox), siguiendo los lineamientos de la Guía de Huella de Agua para Latinoamérica. Por razones de espacio sólo se detallan los valores obtenidos para el indicador de escasez.*

*Para el cálculo de este indicador se han excluido el agua de lluvia y el uso de agua en turbinas y para refrigeración. El agua para irrigación y el agua de dilución*

*ENARCIV 2019*

*de agroquímicos en el campo y el agua de proceso en la industria son los contribuyentes más importantes para el consumo total de agua. El consumo de agua en la producción de uno de los fungicidas utilizados en el campo —pyraclostrobin—, impacta en el cálculo de la escasez. Como el agua se consume en distintas regiones, se utilizaron los factores de caracterización (AWARE) correspondientes a cada una.*

*Los resultados indican que el producto de mayor índice de escasez es el jugo concentrado claro (58,37%), seguido del jugo concentrado turbio (20,47%) y la cáscara deshidratada (19,55%) y, en menor proporción, la fruta fresca (1,47%). Debido a su baja producción anual relativa, el aceite responde sólo al 0,13%. Los resultados son muy sensibles al criterio de asignación de cargas escogido. Los aquí reportados son los obtenidos con un criterio de asignación por masa.*

**Palabras claves:** industria cítrica; Análisis de Ciclo de Vida; AWARE.

# Estimación de la Huella Hídrica de la Producción de Leche y Queso en un Tambo-Fábrica de Tandil

Jesica Pérez<sup>1</sup>  
Corina Iris Rodríguez<sup>1,2</sup>  
Nicolás Cisneros Basualdo<sup>1,3</sup>  
Macarena Arrien<sup>1</sup>  
Evelyn Vuksinic<sup>2,4</sup>

1 Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.  
2 CONICET. 3CICPBA. 4Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Chilecito.  
corodri@fch.unicen.edu.ar

## Resumen

*El agua es un insumo imprescindible en la producción de alimentos. En particular, la producción de leche y la fabricación de quesos demandan agua en cantidad suficiente para distintas etapas de su proceso productivo.*

*Este trabajo calculó la huella hídrica de la leche y el queso en un tambo-fábrica del partido de Tandil. Con el propósito de aportar información que favorezca a una mejor gestión del recurso hídrico subterráneo.*

*El caso de estudio incluye un tambo con 84 vacas en ordeño y una producción diaria de 2200 litros de leche que permite una fabricación de 200 kilos de queso.*

*La huella hídrica de los productos animales tiene tres componentes: a) el agua contenida en el alimento animal; b) el agua de bebida consumida por el animal; c) el agua de servicios requerida para mantener las diferentes actividades del proceso productivo. En este trabajo se tuvieron en cuenta los componentes verde (HH verde) y azul (HH azul).*

*Con respecto al agua contenida en el alimento, se calculó la HH verde considerando la composición de la dieta animal en el caso de estudio (combina pasturas, trigo, maíz y soja), partiendo de la evapotranspiración de cada cultivo y su rendimiento. Al tratarse de cultivos de secano, no se contabilizó la huella azul. A partir de los datos de ingesta de cada alimento, se obtuvo un resultado de demanda de agua de 35,34 m<sup>3</sup>/vaca/día.*

*La suma del agua de bebida más el agua de servicios constituyen la HH azul. El agua de bebida se calculó teniendo en cuenta el consumo de materia seca y de sodio en la dieta animal, y la producción de leche en litros. Se obtuvo un resultado de 89 litros de agua/vaca/día. El agua de servicios se estimó a partir de mediciones de consumos dentro de los procesos productivos. En el tambo, se cuantificaron las actividades de limpieza de pista e instalaciones y enfriamiento de la leche, alcanzando 4.870 litros/día. En la fábrica de quesos, se midieron los consumos de agua en limpieza interna, lavado de implementos y uso de la caldera, lo que sumó 15.002 litros/día.*

*Relacionando los valores obtenidos con la producción diaria de leche y quesos, se estimó la HH de este caso de estudio de 1.543 litros de agua/litro de leche y 14.981 litros de agua/kilo de queso. Cabe destacar que el 99% de la Huella Hídrica corresponde al agua verde necesaria para la producción de los alimentos.*

# Uso del Agua en Sistemas de Producción de Leche de Argentina y Uruguay

---

Verónica Charlón<sup>1</sup>  
Alejandro La Manna<sup>2</sup>  
María Paz Tieri<sup>3</sup>

---

1 INTA EEA Rafaela charlon.veronica@inta.gob.ar +543492440121  
2 INIA La Estanzuela alamanna@inia.org.uy +59845748000  
3 INTA EEA Rafaela – UTN Rafaela tieri.maria@inta.gob.ar +543492440121.

## Resumen

*El objetivo del trabajo fue estimar y comparar el uso del agua en sistemas de producción de leche de Argentina y Uruguay. En el caso de Argentina se consideró como base el modelo de sistemas de producción elaborado por INTA-SAGPyA para el cálculo del costo del litro de leche. Luego se seleccionaron las cuencas y la escala de Producción de los sistemas con mayor participación en la producción nacional de leche (ONCCA, 2010), y se actualizaron los modelos con referentes técnicos regionales. Los siete sistemas de producción elegidos concentran aproximadamente más del 54% de la producción de Argentina. En el caso de Uruguay se estableció un predio promedio a partir de la encuesta DIEA (2007) y se discutió con técnicos referentes, para luego realizar el cálculo del uso del agua. La unidad funcional definida fue Kilo de leche corregido por grasa y proteína (LCGP) (FIL, 2010). Los datos climáticos fueron obtenidos de referencias de cada región (ClimWat 2.0 © y Cropwat 8.0 © (FAO). Los valores obtenidos de Huella Hídrica (HH) (Enfoque WFN) fueron similares a los obtenidos en estudios previos y bibliografía internacional. Para ambos países, más del 99% de HH es agua verde, de la cual entre 54-86% proviene de alimentos internos al predio y el 14-41% de externos. Siguiendo referencia ISO14046 (2014) el valor de inventario de Huella de Agua obtenido para Argentina fue 5,3 L Agua/Kg LCGP (máximo: 8,54 (modelo con riego) mínimo: 4,08), donde el 70% (83-43) se debe a la bebida animal, el 29% (10-83) es usado en el proceso (limpieza y riego) y menos del 2% en alimentos propios y externos. Para Uruguay, en el tambo promedio el valor estimado fue de 5,47 L Agua/Kg LCGP, donde el 88% es de bebida animal, el 10% se da en el proceso y un 1,2% se refiere a los alimentos propios y externos. Las diferencias de huellas entre y dentro cada país, resultan de las diferentes de estructuras de los modelos y a las características agroecológicas de las regiones estudiadas. La adecuación de las metodologías a las realidades tecnológicas y productivas de cada región, permitirá generar resultados precisos del indicador de Huella.*

**Palabras claves:** huella hídrica, usos de agua, lechería.

# Valorización Ambiental de Distintos Compost Obtenidos a Partir de Residuos de la Producción Porcina

Laura Magri<sup>1</sup>  
Leila Schein<sup>2</sup>  
Jonatan Manosalva<sup>3</sup>  
Milagros Olleac<sup>1</sup>  
Diego Castro<sup>1</sup>

1 AER Luján-EEA AMBA-INTA- C.P 6700- Luján, Buenos Aires, Argentina Tel: 2478520236  
magri.laura@inta.gob.ar

2 Dpto. Cs. Básicas- Universidad Nacional del Luján, C P 6700

3 Instituto de Ingeniería Rural INTA c.c. 25 1712

## Resumen

*El sistema de producción porcina en cama profunda genera un residuo sólido (RCP), constituido por el estiércol y orina animal, y un material vegetal utilizado como cama. El compostaje es una tecnología factible para el tratamiento de estos residuos, generando un nuevo producto que puede sustituir parcialmente materiales como la turba. Cuando se reemplaza la turba por compost, se evita su uso y todos los impactos ambientales asociados a su extracción y transporte, los cuales pueden ser considerados como un crédito para las cargas del ciclo de vida del compost. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto ambiental del tratamiento y valorización de distintos compost obtenidos a partir de los RCP. Las compost se diferenciaron de acuerdo a la metodología de aireación utilizada en el tratamiento: aireación mecánica (AM), forzada (AF) y pasiva (AP). Para cuantificar el impacto ambiental de cada sistema se efectuó un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) considerando los impactos evitados por la utilización de los compost como componentes de sustratos. Los principales flujos involucrados en los tres sistemas de tratamiento se obtuvieron a partir de un ensayo de compostaje realizado al aire libre. Una vez obtenidos los compost, el porcentaje de sustitución fue validado en un ensayo a campo, considerando su uso para la producción de plantas ornamentales. De acuerdo al porcentaje de sustitución y la cantidad de compost generado en cada sistema, se calculó la cantidad de litros de turba que se evitarían extraer y transportar. Los impactos evitados se restaron a los generados por cada sistema de compostaje para así obtener los impactos netos de cada tratamiento.*

*Los tres compost obtenidos permitieron sustituir en un 20% el uso de turba, lo que redujo los impactos asociados al tratamiento de los residuos de cama profunda. Dado que los mayores impactos de la turba estuvieron asociados al transporte del material desde la zona de extracción al sitio de formulación de sustrato, los impactos evitados se asociaron a las categorías: agotamiento de combustibles fósiles, agotamiento de la capa de ozono y formación de smog. Para el compostaje realizado con aireación pasiva, y para estas categorías, los impactos evitados por el reemplazo de la turba fueron mayores que los generados por este sistema de tratamiento, lo que demuestra que esta técnica puede generar ganancias ambientales netas. El compostaje AF fue el que generó mayor impacto neto para la mayoría de las categorías estudiadas.*

# Uso de los límites planetarios para el diseño de cadenas de suministro sustentables basadas en biomasa

**Jonathan Wheeler<sup>1,2</sup>**  
**Ángel Galán Martín<sup>3</sup>**  
**Fernando Daniel Mele<sup>1,2</sup>**  
**Gonzalo Guillén-Gosálbez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, Av. Independencia 1800, (T4002BLR) San Miguel de Tucumán, Tucumán, 0381-4364093, [jwheeler@herrera.unt.edu.ar](mailto:jwheeler@herrera.unt.edu.ar)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup> ETH Vladimir-Prelog-Weg 1-5/10, 8093 Zúrich, Suiza

## Resumen

*Recientemente se han definido límites planetarios que establecen restricciones globales a las actividades humanas de tal forma que se preserven los procesos críticos de la tierra como sistema. En consecuencia, los impactos antrópicos deberían estar por debajo de límites específicos para considerar que la intervención humana en el planeta se hace de manera totalmente sustentable.*

*En el presente trabajo se propone incorporar los límites planetarios al diseño estratégico de cadenas de suministro sustentables siguiendo una metodología ad hoc de optimización del ciclo de vida cuyo objetivo es minimizar la transgresión de estos límites ecológicos. El enfoque permite identificar aquellos diseños de cadenas de suministro que aseguren que éstas operan dentro de los límites planetarios, con costos totales mínimos. Para ilustrar cómo funciona este marco, se estudia un caso real basado en el sector del bioetanol de caña de azúcar en la Argentina, analizando las políticas locales que buscan aumentar la mezcla de gasolina y etanol del 12% al 20% en los próximos años, a través de la lente de la sostenibilidad global. La unidad funcional para este estudio se estableció como el transporte de pasajeros en el país mediante vehículos que usan una mezcla de nafta y etanol, siguiendo un enfoque del pozo a la rueda (well-to-wheel). El modelo de optimización ha resultado ser un modelo de programación lineal mixto entero (MILP).*

*De los resultados obtenidos se observa que no existe un diseño de cadena de suministros de bioetanol de caña que no transgreda alguno de los ocho límites planetarios analizados, aunque existen alternativas que minimizan sustancialmente la transgresión a expensas del aumento de los costos. Los resultados destacan la necesidad de incorporar límites planetarios en el diseño de cadenas de suministro sostenibles y de adoptar el concepto de sostenibilidad absoluta en la ingeniería de sistemas de procesos en general.*

**Palabras claves:** sustentabilidad absoluta; biocombustibles; bioetanol.

# Análisis Ciclo de Vida de un Revoque Fino Pre-Elaborado a Base de Arcilla de la Marca

Guillermo Garrido<sup>1</sup>  
Patricia Narbona<sup>2</sup>  
Gabriel Vaccaro<sup>1</sup>  
Ignacio Serrallonga<sup>3</sup>  
Christian Lico<sup>3</sup>

1 Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Av. Vélez Sarsfield 1561 - Córdoba, 0351 4684835 int 152  
ggarrido@inti.gov.ar

2 FAUDI, de la Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 264 - Córdoba,  
03562 - 155 19269

3 Biocorralón Hombre de Barro, Villa General Belgrano, Córdoba, 03546 464383

## Resumen

*En este estudio de caso se calculan impactos ambientales desde la “cuna a la tumba” de 1 m<sup>2</sup> de revestimiento final de la cara interior de un muro construido en base a la técnica de la bio-arquitectura. Par esto se utiliza una pre-mezcla en seco de tres materias primas naturales: arcilla molida, arena fina y microfibra de estiércol de caballo.*

*La extracción de la arena y la arcilla se hace con retroexcavadora, mientras que la cosecha del estiércol manualmente. El traslado hasta el bio-corralón, se hace en camión para las primeras y en camioneta para última. El procesamiento incluye operaciones de secado natural, limpieza, molienda, acopio y dosificación, mezclado, embolsado, embalado y acopio de la pre-mezcla.*

*El envasado de la pre-mezcla por 30 kg es en bolsas de papel tipo kraft, que se estiban en pallet y se envuelven con stretch film.*

*El traslado de la pre-mezcla hasta el punto de consumo es de 26 km. En la obra, la pre-mezcla de una bolsa se hidrata con 7,5 litros de agua y luego se aplica sobre el muro en un espesor promedio de 3 mm. Los envases y embalajes descartados se trasladan hasta la planta de Clasificación, en donde se rescata para reciclar el 50% de las bolsas papel y el 100% de los pallets y del film stretch.*

*El producto tiene una vida útil de 60 años, requiriendo operaciones de mantenimiento cada 10 años, por lo que se asume 25% adicional de producto para la etapa de uso. La deconstrucción del revoque se considera parte en la demolición de la vivienda, y la disposición de los residuos se asume en el mismo lugar de la obra donde se espera que sean asimilados naturalmente por el entorno.*

*El inventario se construyó con datos de diversos orígenes. Los datos principales fueron provistos por el bio-corralón Hombre de Barro, mientras que los auxiliares por terceros. Para cuantificar las emisiones asociadas a cada operación o insumo utilizado se tomaron perfiles de la base de datos de EcoInvent 3.4 (2017).*

*Los resultados se calcularon para las seis categorías de impacto obligatorias de la International EDP System y para las dos categorías de la metodología Ecosystem Damage Potential, todas presentadas como “caracterización”.*

*Los resultados calculados muestran los mayores impactos, para todas las categorías analizadas, principalmente en las etapas de Obtención de Materias Primas y en la Elaboración del producto. La Distribución del producto, participa en tercer lugar en promedio en los impactos. En la etapa extractiva, el orden de significancia está asociada a la arena, luego la arcilla y finalmente por lejos al estiércol. Para las categorías uso y transformación del suelo, la significancia es también en el mismo orden que para la extracción de las materias primas.*

*Durante la Aplicación del producto en la obra, los residuos generados, incluido el transporte hasta el vertedero, son los que aportan mayor impacto en todas las categorías. La etapa de Uso de la vivienda, tiene un impacto asignado motivado por el mantenimiento, que representa un promedio proporcional a las cantidades que se asumen necesarias de reponer. En la etapa del Posconsumo, se dan debido a la asimilación en el sitio de la obra de la pre-mezcla luego de la demolición.*

**Palabras clave:** bioconstrucción, biocorralón, revoque, premezcla, acv.

# Evaluando el Segundo Uso. Análisis de Ciclo de Vida de Dos Baldes Plásticos de Pintura

Maximiliano Zito  
Justina Garro

Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
mzito@inti.gov.ar  
jgarro@inti.gov.ar  
(54 11) 4724 6387

## Resumen

*FAEN S.A. es una empresa de inyección que fabrica baldes plásticos principalmente para la industria de pintura. Desde el 2015 manifiesta un importante interés en cuestiones de sustentabilidad, materializado en la publicación de su primer Reporte de Sustentabilidad (2018), en base a la Guía G4 del Global Reporting Initiative. En este contexto la empresa solicita al INTI un estudio de Huella de Carbono y otro indicador ambiental para comparar su principal producto, el balde de 20 litros, con un equivalente realizado en base a un bioplástico.*

*El objetivo principal de este estudio comparativo fue cuantificar tres categorías de impacto ambiental –Calentamiento Global, Eutrofización y Acidificación asociadas a la fabricación, utilización y fin de vida en Argentina de dos versiones del mismo balde de 20 litros. Uno de ellos fabricado en Polipropileno – denominado Balde de Plástico Convencional-; el otro elaborado con una mezcla de Polipropileno y de Polietileno de origen vegetal –en adelante Balde de Bioplástico-, de manera de poder verificar si había beneficios ambientales en fabricar el balde de bioplástico.*

*Para calcular estas tres categorías de impacto, se utilizó la metodología basada en las normas ISO 14040:2006 Análisis de Ciclo de Vida-Principios y Marco de Referencia, y la 14044:2008 Análisis de Ciclo de Vida- Requisitos y Directrices, las cuales proponen evaluar los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.*

*Asimismo, y de manera específica para la categoría de Calentamiento Global se tomó como referencia la norma ISO 14.067:2018 -Huella de Carbono de productos – Requerimientos y pautas para cuantificarlos. Estas normas son las más reconocidas a nivel internacional para realizar este tipo de análisis.*

*Para el producto analizado, la etapa de Uso no presenta impactos ambientales dentro de las categorías de impacto analizados. Sin embargo, tiene la particularidad de que el primer uso es mucho menor temporalmente (máximo 6 meses) que el segundo uso (5 años promedio). Esto produjo una discusión muy interesante en relación a cómo cuantificar los beneficios de un segundo uso en un producto. Si desde la teoría se convalida extender todo lo posible la vida útil de un producto, esto debería verse reflejado de alguna manera en la cuantificación de los impactos ambientales.*

*Según este estudio, utilizar el llamado bioplástico no resulta en beneficios ambientales de manera clara. Por un lado, la cuantificación de tres categorías de impactos ambiental demostró que según cual se trate el resultado puede ser opuesto. Por otro, aun considerando solamente la categoría de Cambio Climático, el resultado es favorable si se cuantifican las absorciones de CO2 durante el cultivo de la caña de azúcar, algo que según la bibliografía revisada aún no tiene consenso científico.*

# Análisis Ambiental y Social de Ciclo de Vida de la Producción de Ladrillos Artesanales en Mendoza, Argentina

Silvia Curadelli<sup>1</sup>  
Roxana Piastrellini<sup>1</sup>  
Alejandro Pablo Arena<sup>1,2</sup>  
Miriam López<sup>1</sup>  
Bárbara Civit<sup>1,2,3</sup>

1 Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza-Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Mendoza, Argentina.

E-mail: silvia.curadelli@gmail.com

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)-CCT Mendoza  
Av. Ruiz Leal s/n, Mendoza, Argentina.

3 Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)-CONICET  
Av. Ruiz Leal s/n, Mendoza, Argentina.

## Resumen

*En Latinoamérica la industria de la construcción y el uso de mampostería de ladrillos cerámicos comunes aún están íntimamente unidos a una cultura artesanal. En El Algarrobal, se concentra la mayor cantidad de establecimientos productores de la provincia de Mendoza (Argentina). Allí, la fabricación de ladrillos se realiza se desarrolla siguiendo los mismos pasos que realizaban las comunidades que habitaban la zona desde la época de la colonia, empleando leña como combustible para la cocción de los ladrillos. Esto ocasiona, por una parte, la liberación de emisiones de material particulado y gases de efecto invernadero a la atmósfera y por otra, promueve la deforestación de bosques nativos. Además, la actividad se caracteriza por el uso intensivo de mano de obra, muy poca mecanización y por su informalidad desde el punto de vista legal, ambiental y comercial. El presente trabajo tiene como objetivo analizar los principales impactos ambientales y sociales de la producción artesanal de ladrillos en El Algarrobal, Mendoza, Argentina, desde una perspectiva de ciclo de vida. El sistema analizado incluye: procesos de extracción de materia prima, mezcla, secado, horneado y carga de camiones. La Unidad Funcional es 1m<sup>2</sup> de muro (50 ladrillos). Los datos de inventario se obtuvieron a través de visitas a distintos hornos de producción de ladrillos ubicados en la zona de estudio y mediante una encuesta realizada a 110 niños entre las edades de 13 y 17 años cuyos padres trabajan en la actividad. La evaluación ambiental se realizó según las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Se utilizó el software SimaPro V.8, y el método ReCiPe. Para la evaluación del impacto social se siguieron las directrices de UNEP-SETAC 2009 y se adoptaron recomendaciones de Hauschild et al. (2008) y Benoît et al. (2010) para seleccionar las categorías y subcategorías de impacto. Los resultados ambientales indican impactos potenciales más importantes en las categorías: Ecotoxicidad de agua dulce, Toxicidad humana y Formación de material particulado. Los impactos sociales más relevantes están asociados a las categorías Trabajadores y Comunidad local. Del estudio surge la necesidad de profundizar la aplicación del pensamiento de ciclo de vida en las economías regionales.*

**Palabras Clave:** impactos ambientales, impactos sociales, ladrillos artesanales, desarrollo regional sustentable.

# Análisis de Ciclo de Vida de un Módulo Habitacional de Emergencia. Resultados Preliminares

Silvia Curadelli<sup>1</sup>  
Roxana Piastrellini<sup>1</sup>  
Miriam López<sup>1</sup>  
Maximiliano Cadille<sup>1</sup>  
Alejandro Pablo Arena<sup>1,2</sup>

1 Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza-Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Mendoza, Argentina.  
E-mail: silvia.curadelli@gmail.com

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)-CCT Mendoza  
Av. Ruiz Leal s/n, Mendoza, Argentina  
silvia.curadelli@gmail.com; Tel. 5244693

## Resumen

*Cuando se planifican las acciones ante una situación de emergencia, además de la atención y traslado de heridos, limpieza de vías de comunicación, remoción, y transporte de residuos y escombros; un aspecto importante es brindar refugio y alimentos a los evacuados y damnificados de la catástrofe, durante el tiempo que se requiere para la reconstrucción de la zona afectada.*

*Observando la historia sobre las viviendas de emergencia, la misma se resuelve en el momento inicial de ocurrido el suceso, con un sistema constructivo básico, que garantiza las condiciones mínimas de intemperie, seguridad e higiene. Sin embargo, en muchos casos, esta precariedad del instante se prolonga en el tiempo (como las casas prefabricadas provisionales de la Primera y Segunda Guerras Mundiales en Inglaterra).*

*En general los campamentos de emergencias no responden a viviendas eficientes ambientalmente ni funcionalmente, como tampoco consideran el desarrollo sostenible como variable de diseño. Sólo resuelven la situación inmediata sin la asimilación posterior a la emergencia. Es así, que se pueden considerar albergues que configuren sistemas constructivos que sean perdurables en el tiempo y que puedan ser mejorados y ampliados progresivamente.*

*En el presente trabajo se presenta un análisis preliminar de un Análisis de Ciclo de Vida de los materiales requeridos y del proceso constructivo de un nuevo diseño habitacional de emergencia, en base a un sistema modular de 25 m<sup>2</sup>. Este módulo es la unidad funcional tomada para realizar el estudio. Se utilizó la herramienta informática, SimaPro® v9.0.0., utilizando como método de evaluación de impacto el modelo ReCiPe Midpoint y se adaptaron inventarios de la base de datos de Ecoinvent 3.5 (2018).*

*Los resultados obtenidos muestran que la producción de los elementos que conforman la estructura del módulo aportan alrededor del 72% de los impactos en las categorías de Calentamiento global y Material particulado fino, y un 90% en Ecotoxicidad (terrestre, de agua dulce y marina). Es interesante considerar los impactos en el Uso del suelo donde el piso del módulo contribuye con un 30%, con un 25% los muros interiores y con un 16% los muros exteriores.*

*Este análisis es un primer paso en la búsqueda de materiales que permitan reducir el impacto ambiental asociado a la construcción del módulo de emergencia.*

**Palabras Clave:** Viviendas de emergencia, Análisis de Ciclo de Vida, Construcción sustentable.

# Desempeño Ambiental de Viviendas Sociales en la Provincia de Mendoza (Programa AR-G1002)

Alejandro Pablo Arena<sup>1,2</sup>  
Roxana Piastrellini<sup>1</sup>  
Silvia Curadelli<sup>1</sup>  
Paula Rodríguez<sup>1,2</sup>  
Fernando Arce Bastias<sup>1,2</sup>

1 Grupo CLIOPE – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. Cnel. Rodríguez 273 – C. P. 5500 – Mendoza, Argentina. Tel. 5244693.  
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CCT – Avenida Ruiz Leal s/n. C. P. 5500 – Mendoza, Argentina.  
\*roxana.ppp@gmail.com; Tel. 5244693.

## Resumen

*El presente trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto GEF AR-G1002 “Eficiencia Energética y Energía Renovable en la Vivienda Social Argentina”, el cual pretende contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante la mejora de la eficiencia energética en la vivienda social.*

*Se realizaron Análisis de ciclo de vida comparativos entre el diseño típico del Instituto Provincial de la Vivienda-IPV (vivienda de referencia), prototipos con mejoras en la aislación térmica de muros y techos (viviendas mejoradas) y prototipos con incorporación de tecnologías solares pasivas y activas (viviendas rediseñadas). En total, se evaluaron 32 prototipos localizados en ocho provincias y seis regiones bioclimáticas. Se reportan en este trabajo los resultados obtenidos para Mendoza.*

*El estudio se desarrolló en base a las recomendaciones de las normas ISO 14040/44, a efectos de contar con un inventario y perfil ambiental de los materiales, tecnologías aplicadas y prototipos. Se trabajó con un esquema modular común, abordando las siguientes etapas: adquisición de materias primas, transporte hasta el sitio de manufactura, manufactura, transporte hasta sitio de construcción, construcción/instalación, ocupación de la vivienda (con consideración exclusiva del uso de energía). Los datos primarios fueron suministrados por el IPV y complementados con información obtenida mediante consultas a profesionales del sector. La información secundaria se obtuvo de bases de datos y, en la mayoría de los casos, se adaptó a las condiciones locales. Se evaluó el Potencial de Calentamiento Global con el método del IPCC 2013 y el Consumo Acumulado de Energía en base al poder calorífico inferior.*

*Se constató que la vivienda de referencia es el mayor contribuyente al impacto potencial sobre el calentamiento global, mientras que los prototipos rediseñados son los menos impactantes. Se determinaron ahorros de energía acumulada de 25 % para los prototipos mejorados y de al menos 55 % para los rediseñados, en relación a la vivienda de referencia.*

*El estudio abordado es sin duda inédito en el país, por su extensión, oportunidad y profundidad, tanto en este como en cualquier sector. La realización de estudios de esta naturaleza, la construcción de inventarios y su posterior análisis son elementos clave para lograr afianzar un camino hacia la sustentabilidad, a fin de que el proyectista, desarrollador o productor pueda avanzar en el conocimiento que posee de las implicancias de su producto, y de proveer al tomador de decisiones de todas las herramientas que ayuden a su gestión.*

**Palabras clave:** *análisis de ciclo de vida, edificación, cambio climático, eficiencia energética.*

# La Huella Hídrica del Proceso de Obtención de Agua Embotellada: Hacia un Uso Eficiente del Recurso

J.M. Mainardi-Remis<sup>1</sup>  
D. Gutiérrez-Cacciabue<sup>2</sup>  
V.B. Rajal<sup>3</sup>

1 Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa); Facultad de Ingeniería, UNSa. Salta, Argentina. tinchomainardi@gmail.com

2 INIQUI-CONICET- UNSa. Facultad de Ingeniería, UNSa. Salta, Argentina. dolo83@gmail.com

3 INIQUI-CONICET, UNSa; Facultad de Ingeniería, UNSa. Salta, Argentina; Singapore Centre for Environmental Life Sciences Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. vbrajal@gmail.com

## Resumen

*El agua embotellada es una de las bebidas de mayor consumo a nivel mundial ya que las personas no solo la asocian con un estilo de vida saludable, sino que además existe desconfianza con respecto a la calidad del agua de red. Sin embargo, es posible que la cantidad de agua involucrada en su fabricación sea mucho mayor que la esperada, convirtiéndolo en un proceso poco sustentable. La Huella Hídrica (HH) es un indicador útil en estos casos, ya que sirve para conocer el real consumo de agua involucrada y así poder proponer alternativas de mejora con respecto a su uso. El objetivo de este trabajo fue determinar qué tipo de HH incide más sobre la HH total de: el proceso (HHproceso), el producto (HHproducto) y la industria (HHindustria) de una embotelladora localizada en la ciudad de Salta. La HH total se calculó para cada caso como la suma de la HH directa (azul y gris) y la indirecta (HHI). La HH azul tiene en cuenta el consumo de agua dulce, la HH gris considera el agua necesaria para disminuir la carga de contaminantes en el efluente y la HHI incluye el agua necesaria en la fabricación de bienes y servicios utilizados en la industria. La HHproceso, incluyó la HH directa de todas las etapas (almacenamiento del agua de red, filtración, desinfección, lavado y envasado), y la HHI de los equipos y la electricidad. En la HHproducto se consideró la HHproceso (directa e indirecta) más la HHI debido a las materias primas. La HHindustria se determinó considerando la HHproducto (directa e indirecta) y la HHI de mobiliarios, insumos de oficina y electricidad. Se tuvo en cuenta también el consumo directo debido al uso de lavamanos, inodoros y duchas por parte de los empleados. Los resultados mostraron que la HHI es la que más influencia tuvo tanto en el proceso (64%), como en el producto (78%) y en la industria (78%). Con respecto a la directa, la HH azul tuvo un mayor aporte en el proceso (21%) debido al agua contenida en el producto. La HH gris fue la menor de todas, pero con mayor impacto en el proceso (15%) debido al lavado de los bidones. El conocimiento de los aportes de cada HH en el uso del agua favorecerá la toma de decisiones que logren llevar a cabo una gestión sustentable de dicho recurso.*

# Análisis de Ciclo de Vida de un Caso de Agua Potable de Red Filtrada en Domicilio

Guillermo Garrido<sup>1</sup>  
Leticia Tuninetti<sup>1</sup>  
Lucas Barrionuevo<sup>2</sup>

1 INTI Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1561, Córdoba, Argentina, Tel (+54 351) 460 3974  
2 AISA IONIC, Cnel Pringles 1785, Ramos Mejías, Buenos Aires, Argentina, Tel (+54 11) 36019977  
lucas.barrionuevo@aisaionic.com.ar

## Resumen

*Se presenta la medición de seis categorías de impacto ambiental, usando la metodología de análisis de ciclo de vida, bajo los lineamientos de la norma ISO 14040:2006(es), de un "sistema de agua potable de red filtrada en domicilio (SAR+Filtro)". Se analizaron los impactos: acidificación, eutrofización, calentamiento global, oxidación fotoquímica, agotamiento de combustibles fósiles y agotamiento de recursos abióticos.*

*El sistema considerado tiene la función de proveer hidratación a un habitante promedio de la ciudad de Buenos Aires a través de agua potable a temperatura ambiente y encuadrada en el art. 982 capítulo 12 del Código Alimentario Argentino y en el Marco Regulatorio de la Ley N° 26.221.*

*Los inventarios construidos y los impactos ambientales calculados para el sistema en consideración corresponden al período 2015-2018. La recolección de información y los cálculos fueron realizados por el INTI, mientras que la información referida al "filtrado doméstico" fue reportada por la empresa AISA IONIC S.A.*

*El agua considerada en el sistema proviene del río de La Plata, que pasa por una planta potabilizadora; luego se traslada hasta el punto de consumo por ducto, donde es filtrada en el domicilio con un equipo marca Pura modelo H2O SM.*

*La unidad funcional considerada para el caso son "dos litros de agua" y se incluyen los impactos asociados a las operaciones de extracción, potabilización y distribución del agua, gestión del agua en el hogar y los transportes necesarios en cada operación. No incluye los impactos asociados a la construcción de la maquinaria ni de la infraestructura del sistema, pero sí los asociados a la fabricación del equipo de filtrado, que se asumió con una vida útil de 40 000 litros, y la logística pre y pos consumo del equipo luego de finalizar su vida útil.*

*Análisis de la cadena del filtro doméstico. 1) El transporte representa entre 1-60% de los impactos considerados, destacándose los traslados en el Preconsumo que se llevan prácticamente el 100% de los impactos. Particularmente el delivery en moto, se lleva entre el 30 y el 70% de los impactos del transporte. 2) La fabricación de los componentes se lleva entre el 40 y el 99% del total de los impactos; la carcasa, los accesorios metálicos y el carbón del núcleo, aportan a casi la totalidad de ellos. 3) El Posconsumo (recolección, disposición o reciclado) representa valores menores al 1% del total en todos los impactos.*

*Análisis del filtrado doméstico al consumo de agua potable. La incorporación de un filtro doméstico al SAR, representa entre el 47% y 94% del impacto del sistema, es decir que multiplica entre 2 y 15 veces los impactos considerados.*

*Análisis comparativo con el impacto de una persona-promedio global. Considerando factores de normalización de la metodología CML-2001, con valores de referencia globales del año 2000, se estima que el consumo de dos litros diarios de agua con el SAR+Filtro representa menos del 0,05% del impacto total de una persona promedio-global.*

*Análisis comparativo con el impacto de agua provista en botella plástica descartable. Considerando todas las operaciones para disponer de un producto equivalente (comparable), que incluya la toma, tratamiento y envasado del agua, el envase y embalaje, y traslados en camión hasta el punto de venta (según informe técnico de INTI 24/04/2019 para AISA IONIC S.A.), sus impactos son entre 13 y 280 veces superior al del agua consumida a través del SAR+Filtro.*

**Palabras clave:** agua potable de red, filtro doméstico, análisis de ciclo de vida.

# Sustentabilidad Ambiental en la Industria Vitivinícola Provincial

**Andrea Rivarola<sup>1</sup>**  
**Carolina Barbuza<sup>2,3</sup>**  
**Mauricio Olmedo<sup>4</sup>**  
**Luis Romito<sup>5</sup>**  
**Alejandro Mónaco<sup>2</sup>**

1 Instituto Nacional de Tecnología Industrial. INTI. drivarola@inti.gob.ar  
2 Ingeniería Ambiental Consultora (IAC). cfbarbuza@gmail.com, monacoale@hotmail.com  
3 Facultad de Ciencias Agrarias (FCA). UNCuyo  
4 Consultora en Ambiente, Desarrollo y Sustentabilidad CADyS. molmendo@yahoo.com.ar  
5 Bodegas de Argentina AC. luis.romito@gmail.com

## Resumen

*Desde hace más de 15 años, el sector vitivinícola nacional ha mostrado una creciente conciencia y compromiso en el abordaje de temas relacionados con la Sustentabilidad Ambiental, como son: el uso racional del recurso hídrico superficial y subterráneo, el manejo de la canopia, la aplicación y disposición de residuos de agroquímicos, el tratamiento de efluentes líquidos, disposición de residuos, entre otros. En este aspecto, y con el objetivo de aunar criterios y buenas prácticas ambientales, en el año 2017, con la coordinación de BdA y con los aportes de INTI, INTA, FCA, se comienza a trabajar en la Guía para una Producción Sustentable: Sector Vitivinícola. Donde, se introducen temas como: Sustentabilidad y Ciclo de vida y Enfoque de Ciclo de Vida, para el sector. Luego en 2018, por iniciativa de INTI y BdA, se inicia un trabajo de sensibilización en la Provincia de Mendoza, sobre el tema Huella Ambiental de Producto (HAP) de la Unión Europea, dirigida al sector vitivinícola. Los Objetivos de este trabajo han sido: 1) Informar al sector sobre el estado del arte de la HAP y sus posibles impactos sobre las exportaciones 2) Definir una estrategia de trabajo interno para poder abordar estas exigencias en un mediano plazo. Este trabajo tuvo tres etapas sucesivas: a) Convocatoria y Sensibilización de Bodegas b) Encuestas realizadas a Bodegas a través del INTI y c) Convocatoria y participación de sectores potencialmente involucrados: INTA, CONICET, UTN, UNCuyo-FCA. Finalmente, a principios de 2019, se conforma dentro de la Comisión de Sustentabilidad Ambiental de BdA una Subcomisión para tratar el tema HAP Europea, donde a partir de una evaluación de la situación de las bodegas en materia de sustentabilidad ambiental se propone realizar un análisis preliminar sencillo y práctico basado en la metodología de la Huella Ambiental de Producto Europea. Las actividades realizadas, hasta la fecha, han sido: 1) la identificación de las Bodegas con participación activa, 2) el suministro de una plantilla para relevamiento de datos a Bodegas, con el objetivo de armar un inventario preliminar, 3) la identificación del grupo de proveedores de principales insumos para bodegas que participarán activamente en este trabajo, 4) el armado y suministro de una planilla para relevamiento de datos para proveedores, 5) el análisis de los datos suministrados por bodegas para el armado de una base de datos promedio de acuerdo a criterios establecidos en este trabajo, 6) la redefinición tanto del objetivo como el alcance del estudio.*

*A partir de los encuentros realizados, experiencias intercambiadas y datos aportados por las bodegas en esta etapa del trabajo podemos inducir que para el sector vitivinícola regional, la HAP tendría dos aspectos relevantes complementarios, uno interno y otro externo. En el Interno, la introducción de la HAP, ha permitido conocer el estado del arte de las prácticas que habitualmente realiza una bodega en un marco de sustentabilidad ambiental, el cual podría estar enmarcado dentro de la ISO 14001:2015. En este aspecto, existen más de 250 bodegas en Mendoza que cuentan con algún tipo de sistema de tratamiento de efluentes, como así también algunas que ya tienen calculadas sus huellas de agua y carbono o se encuentran en proceso como por ejemplo Bodega Salentein, Bodega Norton, Bodega Trivento. Cabe destacar que en materia de eficiencia energética también se están observando algunos avances en esta industria (Ley 27.191, Ley de Energías Renovables, decreto reglamentario 531/16). A partir de consultas realizadas en bodegas, alcanzar la certificación ISO 14001 o mantenerla, podría ser el primer incentivo interno de las empresas para comenzar a aplicar sistemas de gestión ambiental desde un enfoque integral tal como lo plantea la metodología de la HAP. Esto a la vez nos permitirá orientarnos hacia el aspecto externo de la HAP, ligado a una futura implementación obligatoria de las mismas, sus posibles consecuencias comerciales y ambientales para un producto nacional exportable a la UE pero sin perder de vista las necesidades identificadas como más urgentes para el sector vitivinícola.*

# Huella Ambiental de Productos de la UE. Un Análisis Crítico en el Sector Vitivinícola

Bárbara Civit<sup>1,2</sup>  
Paula Rodríguez<sup>1,2</sup>  
Roxana Piastrellini<sup>1</sup>  
Silvia Curadelli<sup>1</sup>  
Alejandro Pablo Arena<sup>1,2</sup>

1 Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional (FRM-UTN)  
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

## Resumen

*A partir de 2013, año en que la Comisión Europea estableció las pautas sobre “el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida”, se comenzó a gestar una metodología del Joint Research Centre (JRC) conocida como huella ambiental del producto (PEF). Su objetivo es proporcionar “una forma común de medir el desempeño ambiental” para las empresas que deseen comercializar sus productos dentro de la Unión Europea. La metodología PEF se basa en métodos existentes de análisis de ciclo de vida y busca aumentar la comparabilidad entre productos predefiniendo requisitos para ciertos aspectos metodológicos. La PEF obedece a reglas de categoría de producto (PEFCR) más rígidas que las existentes según la ISO 14025 (PCR), articuladas en un programa de certificación de una Declaración Ambiental de Producto.*

*Este trabajo compara las guías metodológicas propuestas por la “PCR wine of fresh grapes, except sparkling wine; wine must” (2010:02 versión 2.01) y la “PEFCR for still and sparkling wine” para la evaluación ambiental del vino y su cadena de suministro, desde la etapa de cultivo de la uva hasta la etapa de consumo y fin de vida del envase. Se analizan las limitaciones y ventajas derivadas de la aplicación de una u otra guía en Argentina con la finalidad de determinar cuál se ajusta mejor en el contexto nacional, siguiendo las exigencias del mercado internacional. Para ello, se estudiaron los documentos publicados por la Comisión Europea, por el International EPD System y por ISO. Las principales diferencias halladas radican en que la PEFCR determina métodos de evaluación de impactos de ciclo de vida y valores de referencia para los resultados de cada categoría de impacto, mientras que la PCR tiene flexibilidad en este aspecto. Además, la PEFCR establece que la extracción de materias primas y la producción pueden ocurrir fuera de la Unión Europea (UE) y, por tanto, los valores de referencia son un promedio de países extra UE, mientras que las etapas de uso y fin de vida ocurren en Europa, y los valores de referencia son promedios europeos. Esto no ocurre en la PCR analizada. Finalmente, el sistema de revisión crítica de las PEF no está establecido aún, mientras que el Programa de EPD describe el proceso completo hasta la obtención del sello ambiental, con varios años de ajustes que aseguran su buen funcionamiento.*

**Palabras clave:** huella ambiental, declaración ambiental de producto, vino, Argentina

# Extensión, Docencia E Investigación: La Huella Hídrica en la Producción de Leche y Quesos

C. I. Rodríguez<sup>1,2</sup>  
N.E. Cisneros Basualdo<sup>1,3</sup>  
A.A. Díaz<sup>1</sup>  
R. Banda Noriega<sup>1</sup>  
A. E. Tabera<sup>4</sup>  
M. Arrien<sup>1</sup>  
R.S. Barranquero<sup>1,2</sup>  
M. Cifuentes<sup>1</sup>  
C. Corengia<sup>5</sup>  
B. Nicora<sup>5</sup>  
J. Novo<sup>5</sup>  
J. Perez<sup>5</sup>  
R. Rolando<sup>5</sup>  
A. Ruiz De Galarreta<sup>1</sup>

1 Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN.  
Centro Asociado CIC-PBA.

2 CONICET.

3 CICPBA.

4 Facultad de Ciencias Veterinarias, UNICEN

5 Estudiantes de Lic. en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN.  
corodri@fch.unicen.edu.ar

## Resumen

*El ordeño bovino en tambo así como la elaboración de quesos son dos actividades de gran relevancia en el partido de Tandil (Buenos Aires). Para su desarrollo, requieren grandes volúmenes de agua para consumo animal, enfriamiento y pasteurización de la leche, higiene y limpieza de las instalaciones y maquinarias.*

*El cálculo de la huella hídrica es útil como indicador del desempeño ambiental de los procesos involucrados en la actividad, en particular relacionado con el uso y gestión del agua.*

*La experiencia presentada se realizó en 2018 en el partido de Tandil y tuvo como objetivo principal trabajar con productores en la evaluación de la huella hídrica de su establecimiento, buscando minimizar el consumo de agua, los efluentes generados y los impactos ambientales de la actividad.*

*Se conformó un grupo interdisciplinario de docentes, becarios y alumnos de la Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental en colaboración con la Licenciatura en Tecnología de los Alimentos, ambas carreras de la UNICEN. El trabajo se enmarcó en un proyecto de extensión el cual articula actividades docentes y de investigación e involucra actores sociales.*

*La metodología incluyó reuniones para coordinar actividades y selección de casos de estudio. Se visitaron dos tambo-fábricas, el N°1 con 80 animales y el N°2 con 300. Los alumnos trabajaron en los aspectos ambientales de la producción como práctica curricular en la formación de grado. Se realizaron entrevistas a productores sobre la modalidad y tecnologías de producción y uso del recurso. Se extrajeron muestras de agua subterránea y se realizaron determinaciones de iones de interés y parámetros microbiológicos, siendo una instancia de aprendizaje para los alumnos.*

*Se estimó el componente azul de la huella hídrica (referido al uso de agua subterránea) mediante mediciones de consumos de agua durante las actividades de refrigeración y pasteurización de la leche y limpieza de instalaciones y se estimó el agua de bebida de las vacas en ordeño.*

*Los resultados indicaron que en el tambo-fábrica N° 1 se requieren aproximadamente 14 litros de agua/litro de leche y 113 litros de agua/kilo de queso producido, mientras que los valores son menores en el caso N° 2 con 7,6 litros de agua/litro de leche y 87 litros de agua/kilo de queso.*

*Los estudiantes elaboraron informes indicando los puntos ambientales críticos de cada producción, focalizando en los consumos de agua y el manejo de los efluentes y propusieron mejoras en la gestión del agua de las actividades visitadas.*



*El presente volumen contiene una selección de trabajos presentados en el VIII Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y VII Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica - ENARCIV 2019.*

*Los trabajos aquí incluidos representan una porción significativa de los avances recientes en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales de productos, procesos y organizaciones en Argentina.*

**ENARCIV 2019 propició un espacio para:**

- *Difundir las actividades que se realizan en el contexto nacional, y fortalecer las capacidades existentes para la utilización de las herramientas concebidas con óptica de ciclo de vida, tales como las huellas de carbono e hídrica, el análisis de costo de ciclo de vida, el análisis social de ciclo de vida, y el análisis ambiental de ciclo de vida.*
- *Contribuir al establecimiento de sinergias entre los individuos e instituciones participantes, promoviendo el establecimiento de proyectos de cooperación, dirección conjunta de trabajos de tesis de distinto nivel académico, intercambio de datos, etc.*
- *Avanzar en el establecimiento de criterios comunes para el desarrollo de inventarios de ciclo de vida, tendientes a desarrollo de una base de datos nacional.*