

## ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

P. Galotti y E. Santalla  
Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA)  
Av. Del Valle 5737. B7400JWI. Olavarría. Argentina.  
Tel. 02284 – 451055 e-mail: pgalotti@fio.unicen.edu.ar

**RESUMEN:** Se determinaron los factores de emisión de metano de los efluentes industriales generados por las industrias azucarera, cítrica (limón) y frigoríficos con el objetivo de determinar el potencial de generación de biogás y su viabilidad como recurso energético renovable. Con datos de producción histórica de cada sector y utilizando la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, se obtuvieron los valores preliminares del factor de emisión de metano de la industria azucarera, cítrica (limón) y frigoríficos resultando 0,2, 0,2 y 0,05 kg CH<sub>4</sub>/kg DQO respectivamente lo que equivale a un potencial de producción de metano de 4.266, 627 y 24.688 ton/año respectivamente, sin considerar fugas. Este potencial representa una capacidad máxima de generación de electricidad variable entre 2.200 (industria del limón) y 87.000 (frigoríficos) MWh anuales asumiendo que toda la biomasa está disponible para su conversión anaeróbica de metano. Estos resultados son preliminares y constituyen una herramienta para incorporar en un análisis integral que incluya aspectos vinculados al tipo de tecnología a aplicar, la capacidad financiera, el fortalecimiento de capacidades en las comunidades productivas y la implementación de políticas energéticas en el sector productivo, entre otros.

**Palabras clave:** Efluentes industriales, metano, potencial de biogás, generación de electricidad.

### INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energías renovables constituyen una oportunidad para la generación de energía en circunstancias donde tanto en el ámbito local como internacional, los combustibles fósiles está en declinación. Identificar recursos renovables con potencial energético constituye un desafío que contribuye además al manejo sustentable de los procesos productivos. Los efluentes industriales son los líquidos provenientes de actividades en cuyos procesos de producción, transformación o manipulación se utiliza agua. Cuando estos efluentes tienen en su composición un contenido alto de materia orgánica pueden constituir una fuente de generación de energía renovable ya que si son tratados en forma anaeróbica, su descomposición produce biogás, cuyo principal componente es el gas metano.

Ha sido una práctica común durante muchos años en Argentina la descarga de efluentes industriales en cursos de ríos o aguas superficiales sin tratamiento previo (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*), generando externalidades negativas hacia el medio ambiente y desaprovechamiento de una fuente alternativa de energía.

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (*IPCC, 2006*) menciona como las fuentes más importantes de aguas residuales industriales con alto potencial de producción de gas metano, a las industrias manufactureras de la pulpa y el papel, al procesamiento de carne y aves (frigoríficos), a la producción de bebidas (alcohol, cerveza, vino), de almidón, de sustancias químicas orgánicas y al procesamiento de alimentos (frutas, harinas, aceite, jugos, leche).

El objetivo de este trabajo es determinar los factores de emisión de metano para las actividades industriales vinculadas a las industrias manufactureras de producción de azúcar, cítricos y carne y evaluar el potencial de generación de metano y de electricidad considerando las zonas donde la producción está más concentrada, con la finalidad de ofrecer una herramienta preliminar que contribuya a evaluar la factibilidad del uso del biogás como recurso energético.

### METODOLOGÍA

Se identificaron los volúmenes de producción, generación de efluentes y su contenido de materia orgánica para los sectores de la industria azucarera, de cítricos y frigoríficos por zona productiva de los últimos diez años, según información obtenida de las cámaras empresarias, organismos públicos y empresas privadas. Utilizando información obtenida hasta el año 2008 para la industria azucarera y cítrica, y hasta 2007 para los frigoríficos (ya que la de 2008 no se localizó desagregada por provincia), se analizaron las tendencias de evolución y se utilizaron correlaciones lineales para predecir el potencial de generación de biogás durante un horizonte temporal de 21 años (período habitualmente utilizado para proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> En los proyectos que se formulan dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio se utiliza un período no renovable de 10 años ó tres períodos renovables de 7 años cada uno.

Para la determinación de los factores de emisión de metano para cada sector, se utilizaron las Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006) según la siguiente metodología:

1) Estimación del total de carbono degradable orgánicamente  $TOW$  (en kg DQO/año) en cada efluente industrial  $i$  según:

$$TOW_i = P_i * W_i * DQO_i \quad (1)$$

donde  $P_i$  (ton/año) es el producto industrial total del sector industrial  $i$ ,  $W_i$  ( $m^3$ /ton producto) son las aguas residuales generadas y  $DQO_i$  (kg DQO/ $m^3$ ) cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica (componente industrial orgánico degradable en las aguas residuales).

2) Cálculo del factor de emisión de metano para cada sector industrial  $EF_i$  (kg  $CH_4$ /kg DQO) utilizando la capacidad máxima de producción de metano  $B_0$  (kg  $CH_4$ /kg DQO) y el factor de corrección de metano  $MCF$  (fracción), que representa las prácticas de manejo utilizadas por cada sector industrial según la ecuación siguiente:

$$EF_j = B_0 * MCF \quad (2)$$

El IPCC (2006) sugiere como buena práctica utilizar como capacidad máxima de producción de metano el valor por defecto 0,25 kg  $CH_4$ /kg DQO.

3) Estimar las emisiones de metano (kg  $CH_4$ /año) de cada sector ajustando en caso de haber separación de lodos  $S_i$  (kg DQO/año) y/o recuperación de metano  $R_i$  (kg  $CH_4$ /año) según:

$$Emisión\ de\ CH_4 = \sum_i^n [(TOW_i - S_i) * EF_A - R_i] \quad (3)$$

Donde  $EF_A$  (kg  $CH_4$ /kg DQO) es el factor de emisión para la industria  $i$ . El cálculo del potencial de producción de metano a lo largo del período de análisis (21 años) se realizó proyectando la tendencia de producción de cada sector (ton/año) ajustada linealmente. Los resultados globales representan el promedio de la producción de metano o de biogás, en el horizonte temporal evaluado.

Para la determinación de la generación de biogás, potencia a instalar y generación de energía eléctrica se consideró un factor de disponibilidad de la instalación del 75%, 8.760 horas anuales de actividad y una composición de metano en el biogás de 0,65. El cálculo de la potencia a instalar se realizó según:

$$Potencia\ Instalada = Q_{biogás} * fracciónCH_4 * poder\ calorífico\ CH_4 / heatrate \quad (4)$$

donde  $Q_{biogás}$  ( $m^3$ /h) es el caudal de biogás,  $fracciónCH_4/biogás$  es el porcentaje de metano en el biogás, un poder calorífico del metano de 33.900 kJ/ $m^3$  y generación de calor de 10.800 kJ/KWh.

## RESULTADOS

Como un primer avance en el estudio de los factores de emisión de metano del sector efluentes industriales, se estimaron los factores de emisión, el potencial de generación de biogás y la producción de energía eléctrica de la industria azucarera, de la industria del limón (por ser la más significativa dentro de la producción de cítricos), y de los frigoríficos de bovinos, porcinos, equinos, ovinos y caprinos utilizando además de la producción histórica de cada sector, datos sobre las tecnologías actualmente utilizadas para el tratamiento y/o descarga de los efluentes. A continuación se detallan las etapas desarrolladas para cada sector.

### Industria del Azúcar

La producción de azúcar en Argentina se concentra mayoritariamente en el noroeste argentino en la cual la provincia de Tucumán abarca aproximadamente el 61% de la producción nacional con 15 ingenios, seguida por las provincias de Salta y Jujuy (juntas abarcan el 37% de la producción y tienen 5 ingenios) y finalmente las provincias de Santa Fe y Misiones con el 2% de la producción nacional. El período de funcionamiento de las industrias azucareras es de Mayo a Noviembre (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*). Se consideró

la información reportada por el Centro Azucarero Argentino ([www.centrozucarero.com.ar/zafra1990-2008.html](http://www.centrozucarero.com.ar/zafra1990-2008.html)) para la producción de azúcar desde 1990.

Las características y volúmenes de los efluentes industriales generados en la industria azucarera comprenden las aguas provenientes del proceso a un volumen promedio de 10 veces la cantidad de caña procesada, y la vinaza, que es el efluente líquido más agresivo con altas concentraciones de carga orgánica. Dado que no es práctica habitual el reporte de información sobre volúmenes de efluentes que genera cada industria, ni su contenido en materia orgánica, en función de la información aportada por las fuentes consultadas se asumió:

a) valor de la carga orgánica de los efluentes de la industria azucarera en términos de demanda bioquímica de oxígeno  $DBO_5$  de 2.600 gr/ton de producto terminado (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*).

b) caudal de efluentes generados de 28,6 m<sup>3</sup>/ton de producto terminado (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*)

c) un valor de MCF correspondiente a 0,8 que se corresponde con lagunas anaeróbicas consideradas profundas (profundidad mayor a 2 metros) (*Cuadro 6.8: valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales, Directrices del IPCC, 2006*) considerando que las empresas azucareras con y sin destilería están comprometidas a través del programa de reconversión industrial al vuelco cero de cachaza y vinaza al Río Salí (*Programa de reconversión industrial Cuenca Río Salí. Síntesis de lo actuado Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Diciembre de 2007*), por lo que gran parte de ellas están desarrollando fertirriego y secado por evaporación natural de la vinaza en piletas.

d) que no hay separación de lodos ( $S_i=0$ ) ni recuperación de metano ( $R_i=0$ ) ya que no se dispone de información específica al respecto. A partir de la ecuación 3, se calculó el potencial de generación de metano que se muestra en la Figura 1 por provincia, obteniendo una proyección promedio (hasta 2029) para todo el sector azucarero de 4.266 ton CH<sub>4</sub>/año.

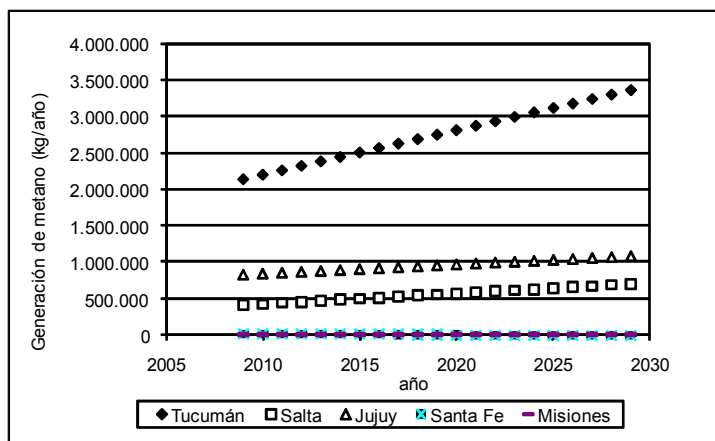


Figura 1: Generación de metano para el sector azúcar por provincia.

Se observa de la Figura 1 el alto potencial de generación de metano que presenta la provincia de Tucumán, concentrando junto con Salta y Jujuy el 87% de los ingenios azucareros del país. Aplicando la Ecuación 2 se determinó el factor de emisión para la industria del azúcar obteniendo un valor de 0.2 kg CH<sub>4</sub>/ kg DQO.

A partir del potencial de generación de metano y considerando la fracción de metano en el biogás se calculó la capacidad de la potencia a instalar y el potencial de generación de electricidad para la totalidad del sector azucarero y por provincia, considerando las de mayor producción (Tabla 1). Se destaca el potencial de generación de electricidad que presenta el sector en la provincia de Tucumán con una participación del 65% respecto del total.

Sector Azúcar	Biogás m <sup>3</sup> /h	Capacidad de la Potencia a instalar kW	Energía Eléctrica kWh
Total de generación	1.118	2.282	14.991.125
Tucumán	722	1.474	9.683.456
Salta	145	295	1.940.242
Jujuy	249	507	3.334.005
Santa Fe	2,25	4,59	30.144
Misiones	0,24	0,50	3.278

Tabla 1: Generación promedio de biogás, potencia a instalar y energía eléctrica para la totalidad del sector azucarero y desagregado por provincia.

De la Tabla 1 se observa que en términos globales el sector azucarero podría generar aproximadamente 15.000 MWh de energía a partir de un potencial de generación de biogás 1.118 m<sup>3</sup>/h. El consumo actual del sector debería ser comparado con la capacidad de la potencia a instalar a partir del aprovechamiento de este recurso energético renovable lo cual indicaría la disponibilidad del sector con fines de autoconsumo. El 65% del total de generación de biogás o energía eléctrica corresponde a la provincia de Tucumán, concentrando con Jujuy y Salta casi el 100% de la capacidad potencial del sector.

### Industria de los Cítricos

La República Argentina es el octavo productor mundial de cítricos y primer productor mundial de limón. La producción total de cítricos de Argentina es de aproximadamente 2.5 millones de toneladas anuales (*Federación Argentina del Citrus, FEDERCITRUS, 2008*), localizada en las regiones: del Noroeste (NOA), donde se producen naranjas, pomelos y principalmente en la provincia de Tucumán limones, y el Noreste (NEA), donde predominan los cultivos de naranjas y mandarinas. La actividad industrial del sector actualmente esta compuesta por 19 plantas industriales. Del total del limón producido un 70% se destina a la industrialización (*Programa de reconversión industrial Cuenca Río Salí. Síntesis de lo actuado Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Diciembre de 2007*). Con respecto a los demás cítricos, el 20,8% de la mandarina, el 23,04% de la naranja y el 37,46% del pomelo se destinaron a la industrialización durante el año 2008, (*FEDERCITRUS, Informe de Actividad, 2009*). En esta primera etapa se estudiará el potencial de generación de biogás y electricidad en la industria del limón, por ser la más significativa dentro del sector de procesamiento de cítricos. Para el cálculo del potencial de generación de metano se utilizó la información de producción reportada por *FEDERCITRUS, Informe de Actividad*, desde 1997 a 2009.

Los efluentes líquidos provenientes de la industrialización a gran escala de productos derivados del limón constituyen actualmente el principal efluente de esta industria. Gran parte de éstos se ha volcado a ríos u otros cursos de aguas superficiales y su tratamiento incompleto provoca producción de olores molestos con gran perjuicio a las comunidades vecinas, tanto por sus emanaciones como por la proliferación de insectos (*Programa de reconversión industrial Cuenca Río Salí. Síntesis de lo actuado Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Diciembre de 2007*). Para el cálculo del potencial de generación de biogás se asumen los siguientes parámetros:

a) composición: el agua contiene en suspensión productos biodegradables en forma de sólidos, representados por restos de pulpa y cáscara de cítricos (2%), líquidos como azúcares provenientes de los cítricos, ácido cítrico, pectinas y restos de aceites esenciales (*Programa de reconversión industrial Cuenca Río Salí. Síntesis de lo actuado Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Diciembre de 2007*). Según valores de las cargas contaminantes de los efluentes industriales de la industria procesadora de cítricos medidos en términos de DBO<sub>5</sub> resultan 10.000 gr/m<sup>3</sup> de efluente (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*).

b) período de funcionamiento anual de Mayo a Diciembre (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*)

c) factor de manejo para la industrialización del limón MCF 0,8 que corresponde a lagunas anaeróbicas profundas (profundidad mayor a 2 m). (*Cuadro 6.8: valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales, Directrices del IPCC, 2006*)

d) caudal de efluentes de 250 m<sup>3</sup>/día (*Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Diciembre 2007*). Para determinar el caudal por tonelada de producto se consideró el período de actividad productiva y la cantidad de limón a industrializar (se consideró el promedio entre 1997 y 2008). Se asumió que la industria del limón no hace separación de lodos ( $S_i = 0$ ) ni recuperación de metano ( $R_i = 0$ ) ya que no se dispone de información específica al respecto. Aplicando la ecuación 3, se calculó el potencial de generación de metano para la industria del limón, considerando un escenario de 21 años (Figura 2) y proyectando la producción según una tendencia lineal, obteniendo un promedio de 627 ton CH<sub>4</sub>/año.

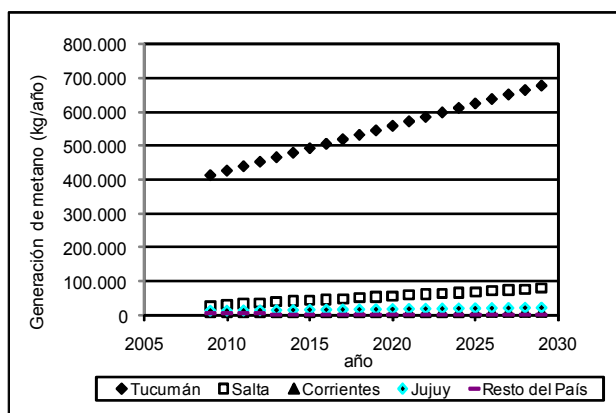


Figura 2: Generación de metano para la industria del limón por provincia.

De la Figura 2 se destaca el alto potencial de generación de metano, y en consecuencia para su aprovechamiento energético de la provincia de Tucumán, seguida por Salta y Jujuy, con participaciones interesantes.

El factor de emisión de metano para la industria de procesamiento del limón, calculado según la Ecuación 2 resultó 0.2 kg CH<sub>4</sub>/ kg DQO. Los resultados del cálculo de la potencia a instalar y la generación de electricidad para el sector y desagregada entre las tres principales provincias productoras se muestra en la Tabla 2 observando que representan el 98,1% del total del sector.

Sector industria del limón	Biogás m <sup>3</sup> /h	Capacidad de la Potencia a instalar kW	Energía Eléctrica kWh
Total de generación	164	336	2.204.603
Tucumán	142	291	1.908.827
Salta	14	28	186.959
Jujuy	5	10	65.998

Tabla 2: Generación promedio de biogás, potencia a instalar y energía eléctrica para el sector de industrialización del limón

La Tabla 2 detalla el potencial que tiene el sector de la industrialización del limón para el aprovechamiento energético del metano. En términos globales este sector podría generar aproximadamente 2.200 MWh de energía eléctrica equivalente a una capacidad de potencia a instalar de 0,3 MW. Estudios posteriores deberían orientarse a identificar los consumos energéticos por cluster productivo con la finalidad de analizar opciones para el autoconsumo de energía. También para este sector, la provincia de Tucumán absorbe el 88% de la capacidad de generar energía, seguida por Salta con 9% y Jujuy con 3%.

#### Faena de Bovinos

La faena de bovinos es una de las actividades que más auge ha desarrollado la Argentina. El 65% se distribuye en cuatro provincias, Buenos Aires (33%), Entre Ríos (12%), Córdoba y Santa Fe (10%) (*Resource Assessment for Livestock and Agro-Industrial Wastes – Argentina. USEPA. Mayo de 2009, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) 2008*). Para la estimación del potencial de generación de metano a partir del tratamiento de los efluentes del sector, se utilizó la información suministrada por *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) (2008)* referente a la faena de ganado bovino por provincia desde el año 1998. Del análisis de la misma surge que para el período 1998 a 2007 las provincias con mayor producción (Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos) concentran 95% de la faena. Para la proyección de la producción para el período de 21 años se tomaron tendencias lineales, y en los casos de tendencias decrecientes se tomaron valores constantes de faena de los últimos años.

#### Faena de Porcinos

La faena porcina anual ha superado los 3 millones de cabezas, número que equivale a 262.173 ton de carne. La provincia de Buenos Aires concentra el 61,85% de la faena nacional, seguida por Santa Fe (24,65%) y Córdoba (7,86%), representando el 94% de la faena porcina nacional (para el período Enero-Abril del 2008). El 71% de los frigoríficos se emplazan en las provincias de Buenos Aires (27%), Córdoba (17%), Entre Ríos (14%) y Santa Fe (13%) (*Resource Assessment for Livestock and Agro-Industrial Wastes – Argentina. USEPA. Mayo de 2009, SENASA, 2008*). Se tomó información de faena reportada por SAGPyA (2008) para la estimación del potencial de generación de metano a partir de los efluentes de los frigoríficos del sector.

#### Faena Equinos

La faena de equinos se distribuye principalmente (durante el año 2007) en tres provincias las cuales abarcan el 89,09% y son: Buenos Aires (44,75%), Córdoba (23,80%) y Entre Ríos (20,54%). La faena de equinos del año 2006 fue de 242.349 cabezas y la del 2007 de 230.216 (*SAGPyA 2006,2007*). Los frigoríficos están distribuidos mayoritariamente en la provincia de Chubut, Buenos Aires, Entre Ríos, Río Negro, Córdoba y La Pampa (*SAGPyA, SENASA 2008*). De la misma fuente (*SAGPyA, 2008*) se tomaron los datos de faena de equinos por provincia durante el período 2001 a 2007.

#### Faena Ovinos

La faena de ovinos se distribuye principalmente en las provincias de Santa Cruz con el 34,50% de la faena, Chubut con el 25,92% y Buenos Aires con el 24,15%, esto fue en el año 2007 y muy similar fue en 2006. La faena de 2006 fue de 1.620.005 cabezas y la de 2007 de 1.605.595 cabezas. La mayor cantidad de frigoríficos se distribuyen en las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires, Chubut y Santa Cruz. (*SAGPyA, 2006,2007,2008, SENASA 2008*). Para el período 1999 a 2007 se relevó la información de faena de equinos reportada por SAGPyA. Se consideró para el cálculo de metano todas las provincias a pesar de que el 97,84% de la faena se distribuye sólo 6 provincias.

#### Faena Caprinos

La faena de caprinos durante el año 2007 fue de 226.060 cabezas y de 179.156 cabezas durante 2006. En el año 2007 la distribución de la faena fue de 33,59% en Córdoba, 33,47% en Mendoza, 11,43% en Santiago del Estero, 9,90% en Neuquén y 6,47% en San Luis. Los frigoríficos caprinos se distribuyen principalmente en las provincias de Córdoba, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut.(SAGPyA, 2006,2007,2008, SENASA 2008). Para el periodo 1999 a 2007 se relevó la información de faena de caprinos reportada por SAGPyA. Se consideró para el cálculo de metano todas las provincias aunque el 98,5 % de la faena se distribuye en 8 provincias.

Los efluentes producidos por la industria frigorífica pueden ser clasificados en tres tipos de acuerdo con la naturaleza del contaminante. Básicamente se consideran los efluentes provenientes de los corrales, mangas de descarga del ganado, calles de circulación del mismo, baños prefaena, compuesto principalmente por orín y estiércol de los animales estabulados, los que contienen sangre, procedentes principalmente de la playa de faena y sus anexos y los efluentes grasos, procedentes de la playa de faena y sus anexos, y también de otros sectores de producción tales como la despostada. Dado que la información reportada por los sectores no incluye los volúmenes de efluentes generados en la faena, se asumieron los siguientes consumos de agua por animal faenado: 1.500 L (bovino), 1.200 L (equino), 500 L (porcino) y 200 L (ovino y caprino) y se adicionó un 20% teniendo en cuenta los líquidos provenientes de la sangre y deyecciones (Seminario: Industrias Cárnicas, residuos, su tratamiento y prevención de la contaminación. Diciembre de 2002).

Considerando que los frigoríficos no cuentan con sistemas de tratamiento anaeróbico o que cuentan con lagunas poco profundas (profundidad menor de 2 m) se consideró un factor de manejo MCF de 0,2 (Cuadro 6.8: valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales, Directrices del IPCC, 2006). Se asumió que los frigoríficos no hacen separación de lodos ( $S_i=0$ ) ni recuperación de metano ( $R_i=0$ ) ya que no se dispone de información específica al respecto.

En cuanto a la composición de materia orgánica del efluente, se considera que tanto en el sector de playa de faena como en las salas anexas, el principal contaminante es la sangre cuya concentración en  $DBO_5$  determinada por dilución es 170.000 mg/L. La industria frigorífica contribuye a la contaminación de las aguas con índices que podrían llegar hasta un 30% de la contaminación total. Un matadero en donde no se hace separación de sangre tiene una  $DBO_5$  de 4.000 a 5.000 mg/L. A medida que la industria se desarrolla y se van haciendo recuperaciones y se separa la sangre del agua, se produce una dilución de los desagües y estos valores bajan a 2.000 mg/litro. El factor preponderante en la  $DBO_5$  del líquido a tratar de un matadero es la sangre. (Arturo Shimamoto, Ecosignos Virtual, año 3, N° 3, Industria Matarife/frigorífica, Año 1998). En base a las fuentes mencionadas, se consideró un valor de carga orgánica de los efluentes de este sector en términos de  $DBO_5$  de 4.500 mg/litro, que se corresponde con el proceso de faena sin separación de sangre. En caso de que se separe la sangre los valores estimados de potencial de generación de metano serían sensiblemente menores.

A partir de la ecuación 3 se calculó el potencial de generación de metano correspondiente al sector faena de bovinos para las principales provincias productoras, las cuales representan el 93% de la generación de metano obteniendo un potencial promedio de 22.200 ton  $CH_4$ /año (Figura 3).

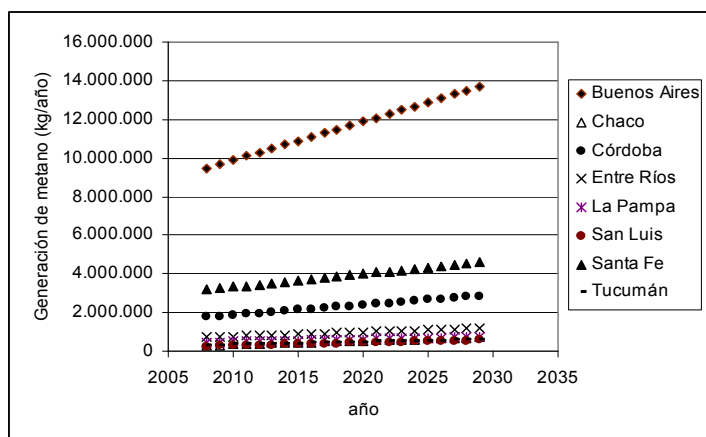


Figura 3: Generación de metano (kg  $CH_4$ /año) para la faena de bovinos.

A partir de la Figura 3 se observa el alto potencial de aprovechamiento de metano que presenta este sector. El desarrollo de tecnologías de captura de biogás tendría un alto impacto no sólo por la disponibilidad de una fuente alternativa de energía para autoconsumo sino también por el alto impacto que se alcanzaría a través de la mitigación de la contaminación por sus efluentes.

Aplicando la Ecuación 2 se determinó el factor de emisión para las faenas entregando un valor de 0,05 kg  $CH_4$ / kg DQO.

La Tabla 3 detalla el potencial de generación promedio de biogás, la potencia a instalar y la energía eléctrica para la totalidad de la faena de bovinos y desagregada para las principales provincia productoras.

Sector faena bovino	Biogás m <sup>3</sup> /h	Capacidad de la Potencia a instalar kW	Energía Eléctrica kWh
Total de generación	5.829	11.893	78.139.461
Buenos Aires	3.037	6.196	40.708.787
Santa Fe	1.019	2.080	13.662.575
Córdoba	606	1.236	8.118.408
Entre Ríos	249	509	3.342.224
La Pampa	158	321	2.111.395
Chaco	136	278	1.826.606
Tucumán	119	243	1.598.328
San Luis	107	218	1.431.083

Tabla 3: Generación promedio de biogás, potencia a instalar y energía eléctrica para el sector de faena de bovinos

Como puede observarse, la capacidad de este sector para generar energía resulta importante, representando más de 78.000 MWh de electricidad. Esto refleja una oportunidad de aprovechamiento y la posibilidad de alcanzar importantes porcentajes de reemplazo si se destina para el autoconsumo. La provincia de Buenos Aires representa el 56% de esta capacidad, seguida por Santa Fe (19%) y Córdoba (11%).

De la misma manera y en base a la información de producción de cada sector de faena se estimaron el potencial de producción de biogás, capacidad de la potencia a instalar y de generación de electricidad para las faenas de porcinos, ovinos, equinos y caprinos. La Figura 4 muestra la generación promedio de metano para un escenario de 21 años de producción.

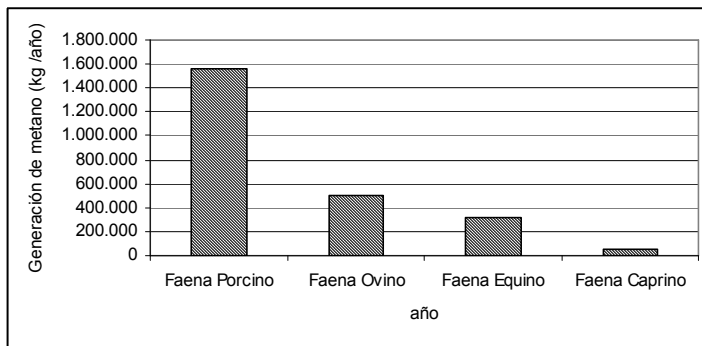


Figura 4: Potencial de generación de metano promedio por tipo de faena.

Este potencial de metano representa por ejemplo, una producción de biogás de 284 m<sup>3</sup>/h (para la provincia de Buenos Aires) a partir del tratamiento de efluentes de la faena porcina. En este sector, la posibilidad de contar con un recurso energético renovable representa una alternativa interesante, si se considera que este sector habitualmente utiliza calefacción en algunos de sus ciclos productivos. Para el resto de los sectores, debería analizarse la distribución geográfica de los frigoríficos para evaluar la factibilidad de la generación de electricidad o el aprovechamiento del biogás para uso directo. Los sectores de faena de equinos, ovinos y caprinos presentan un potencial menor aunque no menos significativo, ya que para las mismas se puede disponer de aproximadamente 77 m<sup>3</sup>/h de biogás, lo que puede resolver algunas cuestiones de provisión de energía térmica. La Figura 5 representa el potencial de generación eléctrica global de cada sector, destacando la relevancia del sector de faena de animales dentro de las explotaciones industriales estudiadas.

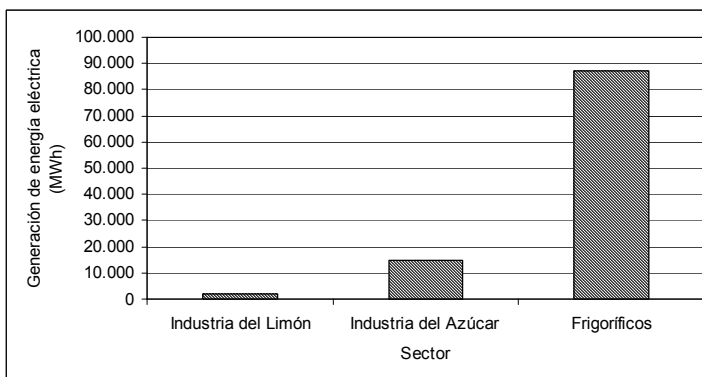


Figura 5: Potencial de generación de energía eléctrica promedio por sector estudiado

Del estudio surge un potencial total de aproximadamente 104.000 MWh para la generación de electricidad anual que se podría obtener a partir del adecuado manejo de los efluentes industriales. Este recurso podría también solucionar requerimientos de auto consumo, o bien puede convertirse en una alternativa para proyectos asociativos según la localización geográfica de las actividades.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se observa que el potencial de generación de metano del sector azucarero considerando una proyección de 21 años es de 4.266 ton/año, la de la industria del limón de 627 ton/año y la de los frigoríficos de 24.688 ton/año. Desde el punto de vista de la generación de biogás, el sector azucarero presenta un potencial de 1.118 m<sup>3</sup>/h, la industria del limón 164 m<sup>3</sup>/h y los frigoríficos 6.470 m<sup>3</sup>/h. Desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica, la industria del azúcar posee una capacidad de generación de aproximadamente 15.000 MWh, la del limón 2.200 MWh y finalmente los frigoríficos 87.000 MWh, cabe remarcar que en este último sector el 90% de la generación corresponde a la faena de bovinos. En cuanto a la capacidad de la potencia a instalar en términos globales representan aproximadamente 16 MW, correspondiendo el 83% a los frigoríficos, el 6,8% a la industria del azúcar y 2,13% a la industria del limón.

Del estudio realizado se observa que algunas provincias presentan ventajas significativas en relación a la escala de los potenciales proyectos de aprovechamiento energético, tales como Tucumán con el sector azucarero y de industrialización del limón o Buenos Aires en cuanto a los frigoríficos de carne bovina.

Los resultados obtenidos de la estimación del potencial de generación de biogás y electricidad muestran que el aprovechamiento de los efluentes industriales con alta carga orgánica representa una alternativa sostenible que además de reducir la contaminación de los cursos de agua superficial contribuye al desarrollo de energías renovables y a la reducción del uso de combustibles fósiles para la generación de energía.

Los resultados obtenidos en el presente estudio constituyen un primer avance en la identificación de fuentes potenciales de energía a partir del adecuado tratamiento de los efluentes industriales con alto contenido en materia orgánica y se considera que ofrecen una herramienta sistemática para el desarrollo de estudios de factibilidad más específicos para cada sector y por localización geográfica, pudiendo convertirse en una opción para generar energía para autoconsumo o promoviendo prácticas asociativas para los diferentes clusters productivos. Una segunda etapa del estudio deberá incluir el análisis de las tecnologías de captura de metano a implementar, formas de implementación del proyecto y aspectos sociales relacionados con la estructura de las comunidades productivas y legales vinculados a la generación de electricidad para autoconsumo y para la exportación a la red.

## REFERENCIAS

- Centro Azucarero Argentino [www.centroazucarero.com.ar](http://www.centroazucarero.com.ar).
- Directrices del Panel Intergubernamental para Cambio Climático de la Naciones Unidas (IPCC) para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. (IPCC 2006).
- Federación Argentina del Citrus (FEDERCITRUS) [www.federcitrus.org](http://www.federcitrus.org).
- Industrias Cárnicas, residuos, su tratamiento y prevención de la contaminación. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. (Diciembre de 2002). [www.ba.ucsba.edu.ar/ambiente/publieg/pegre004.doc](http://www.ba.ucsba.edu.ar/ambiente/publieg/pegre004.doc)
- Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. (Diciembre 2007). [http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformeMonitoreo\\_cap5.pdf](http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformeMonitoreo_cap5.pdf).
- Programa de reconversión industrial Cuenca Río Salí. Síntesis de lo actuado Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (Diciembre de 2007). <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=403>.
- Resource Assessment for Livestock and Agro-Industrial Wastes – Argentina. USEPA. (Mayo de 2009). [http://www.methanemarkets.org/m2m2009/documents/partners\\_argentina\\_res\\_assessment.pdf](http://www.methanemarkets.org/m2m2009/documents/partners_argentina_res_assessment.pdf)
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar).
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) [www.senasa.gov.ar](http://www.senasa.gov.ar).
- Shimamoto, A. (1998) Ecosignos Virtual, Industria Matarife/frigorífica, Año 3, N° 3. <http://www.salvador.edu.ar/vrid/publicaciones/ecsv3-3c.htm>.

**ABSTRACT:** Potential methane production factors from different food-processing industrial wastewaters were determined in order to assess their feasibility as a renewable energy source. Based on historical data and using the methodology suggested by the Intergovernmental Panel on Climate Change, preliminary emission factors calculated were 0.2, 0.2 and 0.05 kg CH<sub>4</sub>/kg COD for sugar factories, lemon processing plants, and slaughterhouses respectively. Potential methane generation rates were 4.266, 627 y 24.688 ton/year for sugar, lemon processing and slaughterhouses respectively without consider leakage. Potential electricity generation from these methane potentials varied between 2,200 (lemon processing) and 87,000 (slaughterhouses) MWh/year assuming that the whole of biomass is available for anaerobic decomposition. These results are the first stage of the assessment of the sustainable management of these productive sectors that should include other issues related to the type of technology to implemented, the investment capacity, legal issues related to electricity generation for self consumption and the capacity building to facilitate the implementation of renewable energy in productive communities.

**Key words:** industrial wastewater, methane, biogas potential, electricity generation