

**TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGROPECUARIOS:
ABORDAJE TEÓRICO Y EMPIRICO**

Categoría: Trabajo de Investigación

2

Autor 1

Autor

Gabriela Cristiano

Maximiliano Miranda Zanetti

gcristiano@uns.edu.ar*

mmiranda@uns.edu.ar*

Autor 3

Florencia Zabaloy

florenciazabaloy@gmail.com*

TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGROPECUARIOS: ABORDAJE TEÓRICO Y EMPIRICO

RESUMEN

Todas las actividades de consumo y producción originan desechos, los cuales son los causantes de las externalidades negativas que impactan sobre el medio ambiente. En efecto, los residuos orgánicos provenientes del sector agropecuario –particularmente aquellos que tienen que ver con el estiércol bovino generado en los *feed lots*- son los responsables de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono y el metano. La acumulación masiva de estiércol se vio potenciada con el avance de esta modalidad productiva durante los últimos años, razón por la que es necesario contemplar su tratamiento. El objetivo del trabajo es formular un modelo teórico que describa la morigeración de estas externalidades negativas de producción a través de una empresa multiproducto.

Palabras clave: residuos orgánicos- engorde a corral- externalidades- empresa multiproducto – economías de alcance

Clasificación temática orientativa: *Agregado de valor sobre la base de la producción primaria *Economía ambiental y de los recursos naturales

ABSTRACT

All consumption and production activities originate waste, which are the cause of the negative externalities that impact on the environment. Indeed, the organic waste from the agricultural sector, particularly those having to do with feed lots, are the responsible of emissions of greenhouse gases, as the carbon dioxide and methane. The massive accumulation of waste was enhanced with the progress of this productive scheme in recent years, that is why it is necessary to provide a treatment. The aim of this paper is to formulate a theoretical model that minimize these negative externalities in the production through a multiproduct enterprise model.

Key words: organics wastes – feed lots- externalities- multiproduct enterprise- economies of scope

INTRODUCCION

La preocupación por el medio ambiente surge en los años ´70 y se cristaliza hacia 1972 con la creación del Proyecto de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En particular, la problemática vinculada a la gestión integral de los residuos sólidos está siendo considerada en muchos países del mundo; en Argentina este tema cobra relevancia recién en la década de 1990. La Agencia Europea de Medio Ambiente, la OCDE y la CEPAL han elaborado numerosos informes vinculados a este tema (AEMA, 2015; OCDE, 2001; CEPAL 2013). A modo de ejemplo, cabe destacar que España posee un Plan Nacional Integral de Residuos 2008-2015 (PNIR), en el marco de la producción y consumo sostenible y residuos agrarios. Por otra parte, el proyecto TRAMA (Solé y Flotats, 2004), también de origen español, tiene como objetivo diseñar, validar y difundir sistemas de gestión medioambiental orientados al modelo de ecogestión y auditorías específicas para las actividades agroalimentarias.

La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina ha promulgado para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y las distintas provincias la normativa concerniente al tratamiento de los residuos sólidos urbanos, peligrosos, biocontaminantes, líquidos residuales, PCB's (Poly Chlorinated Biphenyls ó Bifenilos Policlorados), derivados de agroquímicos y radioactivos. Por otro lado, en la actualidad existen leyes nacionales que establecen como requisito que uno de los servicios adicionales que deberían contratar las empresas es la realización de estudios y evaluaciones de impacto ambiental; entre ellas cabe mencionar la Ley General del Ambiente 25.675/2002 (Art. 8, Inc. 2 y 5). Si bien aún no existe un marco legal formal que haga referencia al tratamiento de los residuos orgánicos provenientes de los establecimientos agropecuarios, está comenzando a plantearse la necesidad de realizar la gestión y tratamiento de los mismos. Para ello es necesario contar con la colaboración y accionar conjunto de todos los actores intervinientes dentro de la región o territorio, a los efectos de coordinar políticas tendientes a plantear un desarrollo sostenible. Es en este sentido que debe plantearse un marco institucional con reglas claras que contemple la vinculación entre los distintos sectores, tales como el productivo, el científico- tecnológico y el sector gubernamental, para lograr que se tome conciencia sobre la problemática que se origina en torno a los residuos y su posible solución.

Los procesos productivos, ya sean de origen agropecuario o industrial, como así también las actividades que realizan los seres humanos en la vida diaria, conllevan a la generación de una gran cantidad de residuos cuyo tratamiento es menester para disminuir los niveles de contaminación y reducir de esta forma el impacto negativo causado al medio ambiente. La gestión de residuos abarca aspectos vinculados a la generación, separación y tratamiento en la fuente de origen, así como su recolección, transformación, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición final mediante distintos métodos, a saber: compostaje, reciclaje, procesos de conversión biológica (por ejemplo, la digestión anaeróbica), tratamiento de efluentes, líquidos cloacales y gases de vertedero, entre otros.

En particular, las producciones agropecuarias de origen animal y de carácter intensivo (tales como los *feed lots*, tambos, criaderos de aves, cerdos y conejos) dan origen a una gran cantidad de excretas diarias, las cuales causan impactos negativos significativos al medio ambiente si es que no se realiza un tratamiento previo. Por otra parte, el mismo implicaría una mejora en los indicadores de productividad y rentabilidad del establecimiento agropecuario, otorgando la posibilidad de generar biogás y biol (que es un fertilizante natural apto para los cultivos), por medio del proceso de digestión anaerobia (Flotats, 2010).

El inadecuado tratamiento de los residuos se traduce en una externalidad negativa que afecta a la sociedad en su conjunto al dañar al medioambiente. Es en este sentido que se convierte en una problemática de índole económica, porque ese costo que debe soportar la sociedad no está contemplado dentro de la función de beneficio de los productores (es decir, ese costo no se está considerando dentro de su estructura de costos privados). En este caso, ese costo externo podría ser morigerado si los establecimientos productivos realizaran un adecuado tratamiento de los residuos (por ejemplo, mediante el empleo de biodigestores, a partir de los cuales se obtienen dos subproductos que pueden comercializarse, tales como biogás y fertilizante biológico). De esta forma, se eliminaría la externalidad negativa y se incrementaría el beneficio. Si no se realizara un adecuado tratamiento a este tipo de residuos, esto conllevaría a serias consecuencias productivas, ya que la degradación del suelo, fundamentalmente dada por los depósitos de excrementos pecuarios sin tratar, inevitablemente afectará su productividad en el largo plazo, impactando en las actividades económicas de las futuras generaciones. El adecuado manejo de los residuos tiene un impacto económico importante sobre los costos de su tratamiento y disposición final, pudiendo dar origen a nuevas

actividades económicas que fomenten un desarrollo compatible con el cuidado del medio ambiente (desarrollo sostenible).

Las políticas públicas deberían incentivar a los productores a adoptar medidas tendientes a proteger el medio ambiente (aire, agua, suelo). La capacitación, la transferencia de información y tecnología, como así también la accesibilidad a condiciones crediticias favorables, son elementos clave que van en concordancia con el objetivo perseguido por las empresas privadas, que comúnmente se asocia a la maximización del beneficio. El objetivo es, por tanto, que los productores agropecuarios puedan realizar una adecuada gestión de los residuos que originan sus actividades productivas, incorporando en sus establecimientos la factibilidad de obtener otros subproductos derivados del tratamiento de los residuos orgánicos provenientes de las actividades pecuarias. En este sentido se estaría planteando la posibilidad de reconvertir a la firma, pasando de monoprotectora a una empresa multiprotectora.

El objetivo de este trabajo consiste en plantear un modelo teórico en el que las externalidades negativas de la producción puedan ser morigeradas por una firma que se reconvierta a multiprotectora, logrando captar economías de alcance. De esta forma, las empresas, al realizar un adecuado tratamiento de los residuos orgánicos agropecuarios, lograrían resolver esta problemática y podrían captar los beneficios económicos que ello conlleva, asociados a la reducción de costos por un lado (aprovechamiento del biogás en el establecimiento y reducción de emisiones de gases efecto invernadero), y a un incremento en los ingresos generado por la venta de biogás y biol, por el otro. Esta nueva modalidad de tratamiento de los desechos de origen animal traerá aparejada la aparición de nuevas actividades económicas, en las que los residuos generados en las distintas actividades agropecuarias de producción intensiva serán los inputs de nuevos agronegocios vinculados a la generación de energía –en principio bajo la forma de biogás– y de biofertilizantes. El método de trabajo empleado consistió en realizar una revisión bibliográfica teórica para poner en consideración la relevancia del tema; posteriormente se esbozó un modelo teórico cuya formulación pretende realizar un aporte diferente en cuanto al actual tratamiento de las externalidades negativas en la producción. Finalmente, se abordaron cuestiones referidas a la realidad práctica de esta problemática, incluyendo un análisis del marco normativo actual vinculado a las energías renovables, entre ellas el biogás.

1- MARCO TEORICO DE REFERENCIA

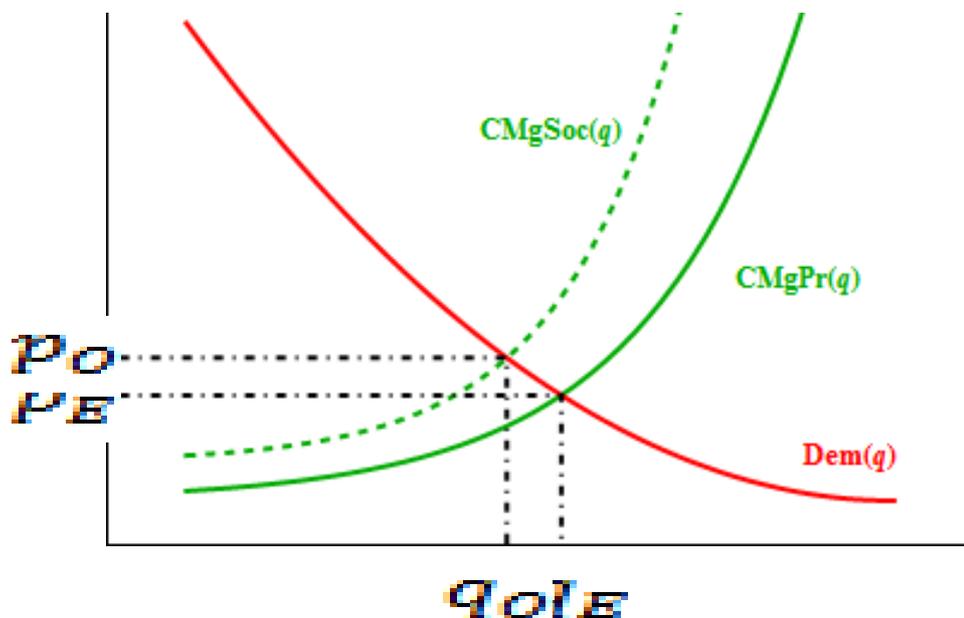
En este apartado se expondrán los lineamientos más importantes que vinculan la problemática ambiental y la economía. Los estudios de índole económica sobre los recursos naturales y el medio ambiente, los cuales han cobrado importancia en los últimos tiempos, suelen considerar tres ejes relevantes al momento de efectuar un análisis en relación a los mismos: la contaminación ambiental, la extracción de recursos –sean renovables o no- y la valoración ambiental (Aguilera Klink y Alcántara, 2011). En este sentido cabe preguntarse qué se entiende por “medio ambiente”. El medio ambiente constituye ese espacio dual en el que los individuos realizan todas sus actividades productivas, y toman de él los recursos necesarios para transformarlos en productos finales con mayor o menor grado de valor agregado. Pero, por otro lado, ese mismo ambiente es el que recibe todos los residuos que generan tanto los productores como los consumidores. Surge entonces la economía ambiental, la cual tiene sus raíces en la teoría neoclásica. Uno de los temas centrales de la economía ambiental es el tratamiento de las externalidades (en el que se analiza la valoración monetaria de los beneficios y costos ambientales) y el estudio relacionado a la problemática del agotamiento de los recursos no renovables vinculado a la cuestión de la asignación óptima intergeneracional (Aguilera Klink y Alcántara, 2011).

El problema de los efectos externos o externalidades surge cuando el sistema de precios no funciona eficientemente y deja de transmitir la suficiente información tanto a los productores como a los consumidores; a veces, suele suceder que los precios de mercado no manifiestan completamente los costos (ó beneficios) asociados a las actividades que realizan los productores o consumidores y aparecen lo que se da en llamar las “fallas de mercado”. Es posible decir entonces que existe una externalidad cuando una determinada actividad, ya sea de producción o de consumo, produce un efecto indirecto sobre otras actividades de producción o consumo que no se refleja directamente en el sistema de precios de mercado. Estos precios aparecen distorsionados, ya que no incluyen todos los costos o beneficios reales para la sociedad, lo que conduce a una inadecuada asignación de recursos y a una toma de decisión inadecuada (Mas Colell et al, 1995). El término acuñado como “externalidad” hace referencia al efecto provocado en otros agentes (ya sean efectos positivos o negativos) que son externos al mercado; en este sentido, cabe mencionar que en estos casos ninguna de las partes paga ni recibe compensación alguna. Cuando existen externalidades, el interés de la sociedad va más allá del resultado que produzca el mercado, y no tiene que ver exclusivamente con las partes compradora y vendedora, ya que se consideran a otros agentes que también terminan siendo beneficiados o perjudicados. Es por esto que el equilibrio del mercado resulta ineficiente. En presencia de externalidades, el mercado falla y se genera una pérdida de bienestar porque se tiende a producir en una mayor o menor cuantía de lo que resultaría óptimo (Mas Colell et al, 1995).

Varios son los ejemplos que se citan para mostrar estos efectos, particularmente aquellos negativos relacionados a la producción. Uno de los más comunes hace referencia a una firma que vierte sus residuos en un río, lo cual hace que ese lugar ya no sea apto para realizar una actividad pesquera o de esparcimiento. Este análisis se complejiza si se considera que allí hay viviendas, las cuales pueden ser ocupadas por propietarios o arrendatarios, y en este caso se incorporarían las externalidades de consumo. El hecho de que el río tenga aguas contaminadas afectaría la calidad de vida de sus habitantes y, en términos de la renta percibida por los propietarios, esta disminuiría a raíz de las malas condiciones medioambientales del entorno. Las externalidades ambientales se originan a raíz del deterioro o del mal uso de los recursos naturales. La causa de ello radica en “ (...) una inadecuada delimitación de los derechos de propiedad y en la ausencia de un marco institucional que permita la compensación por externalidades, otorgando incentivos a los agentes económicos, para alcanzar un óptimo uso de los recursos” (Vazquez Manzanares, 2014).

Arthur Pigou (1920) es considerado el precursor de la Economía del Bienestar y el principal pionero del movimiento ecologista. Distinguió los costos privados de los sociales como así también los beneficios privados y sociales, planteando al problema de las externalidades desde una óptica unilateral; esto implica que un agente –productor o consumidor- causa un perjuicio o beneficio a otro y por esta razón debe ser compensado o penalizado. El actor capacitado para resolver estas externalidades según Pigou es el Estado, el cual (dado un determinado marco legal), a través del otorgamiento de impuestos o de subsidios puede prohibir/disminuir o incentivar la producción o el consumo de los bienes en cuestión. A modo de ejemplo cabe mencionar que el Estado podría sancionar a una empresa que contamina por medio de la aplicación de un impuesto, de modo de obligarla de algún modo a internalizar esa externalidad negativa. Estos impuestos que permiten corregir esos efectos negativos se conocen como Impuestos Pigouvianos. Esta sería una forma de incluir, mediante el impuesto, el costo externo provocado a la sociedad en la función de costo (privado) que posee la firma. Por otro lado, Pigou también plantea la posibilidad de mitigar los efectos externos por medio de acuerdos voluntarios celebrados entre las partes, los cuales no generarían ningún costo de

transacción. Ambas medidas propuestas no necesariamente eliminarían por completo la externalidad (sí podría hablarse de un nivel óptimo de producción); por otra parte, habría que plantearse que, si se anulase por completo ese efecto externo (contaminación), no existiría la producción de ese bien, razón por la cual habría que analizar a posteriori qué tan beneficiosa es esta nueva situación para la sociedad en su conjunto (Pigou, en Aguilera Klink y Alcántara, 2011).



Coase (1960)

La otra aproximación general a las posibles soluciones al problema de las externalidades se deriva de la propuesta general enunciada por Ronald Coase (1960), popularizada posteriormente por George Stigler bajo el nombre de Teorema de Coase, la cual postula que siempre será posible obtener –bajo ciertas circunstancias–, a través de la negociación, un equilibrio óptimo entre las necesidades de la sociedad y las inevitables externalidades que se generan en la producción –consumo–, indispensables para satisfacerlas. Coase (1960) avanza en el análisis y, a diferencia a Pigou, considera que el problema de las externalidades puede llegar a ser un problema recíproco, donde ambas partes estén involucradas (Coase, en Aguilera Klink y Alcántara, 2011).

2- EL MODELO DE LA EMPRESA MULTIPRODUCTO. LA INCORPORACIÓN DE EXTERNALIDADES NEGATIVAS

En el mundo moderno muchas empresas producen más de un producto. La mayoría de las veces estos se encuentran relacionados entre sí, pero en otras ocasiones estos no están vinculados físicamente. Sin embargo, en ambos casos, es muy probable que la empresa tenga

ventajas de producción o de costos cuando produce más de un producto. Estas ventajas podrían deberse a la utilización conjunta de factores o instalaciones productivas, a programas conjuntos de marketing, o al ahorro de costos por poseer una administración común. En algunos casos, la producción de un producto genera inevitablemente un subproducto que tiene un valor económico para la empresa.

Dada la situación anterior, es posible que la empresa tenga *economías de alcance*. Se dice que existen economías de alcance cuando la producción conjunta de una única empresa es mayor que la producción que podrían obtener dos empresas diferentes que produjeran cada una un único producto, con factores productivos similares distribuidos entre las empresas (Panzar y Willig, 1981). Si ocurriese lo contrario, existen *deseconomías de alcance*. Cabe aclarar que no existe una relación directa entre los conceptos “economías de alcance” y “economías de escala”. Podría darse la situación en que se produjeran únicamente dos productos y para ello se necesita una pequeña escala; entonces, se tendrían economías de alcance y deseconomías de escala.

Las economías de alcance se relacionan con los costos de producción. Si efectivamente existieran economías de alcance en una firma, a la empresa le costaría menos producir dos productos que lo que le costaría a dos empresas diferentes producir cada una un solo producto. La siguiente ecuación (1) indica el grado de economías de alcance que mide este ahorro en costos:

$$(1) \quad EA = \frac{c(x_1)+c(x_2)-c(x_1,x_2)}{c(x_1,x_2)} \quad EA = \frac{c(x_1)+c(x_2)-c(x_1,x_2)}{c(x_1,x_2)}$$

Cuando existen economías de alcance, $EA > 0$ $EA > 0$, dado que $c(x_1, x_2) < c(x_1) + c(x_2)$ $c(x_1, x_2) < c(x_1) + c(x_2)$. Cuando hay deseconomías de alcance, $EA < 0$ $EA < 0$. Generalizando, puede decirse que, cuanto mayor es el valor de EA, mayores son las economías de alcance.

Ante este planteo, la firma debe decidir qué cantidad debe producir de cada producto. En este caso, podría decirse que se está frente a una función de producción de coeficientes fijos. Esto significa que existe una relación fija entre la cantidad del producto principal a producirse y las cantidades de subproductos que pueden obtenerse a partir del proceso productivo conjunto. Una forma de poder analizar esta situación es a través de las curvas de transformación del producto. Cada una de ellas indica las distintas combinaciones de productos que pueden obtenerse a partir de una determinada dotación de recursos. Particularmente, esta curva tiene pendiente negativa ya que, si la empresa desea obtener una mayor cantidad de un producto (X), necesariamente deberá renunciar a alguna cantidad a producir del otro (Y). Por otro lado, las curvas de transformación son cóncavas hacia el origen debido a que la producción conjunta generalmente tiene ventajas que permiten a una firma producir una mayor cantidad de ambos productos con la misma cantidad de recursos que dos firmas que produjeran cada producto por separado. Estas ventajas de producción implican la utilización conjunta de los factores (Panzar y Willig, 1981).

En el presente caso se propone estudiar formalmente el proceso productivo y sus alternativas de la siguiente forma: en primer término, se realiza la descripción formal del proceso monoproduktivo, que caracteriza la situación tradicional de los establecimientos que sufren la problemática vinculada a la acumulación de residuos. En segundo lugar, se describe la formalización correspondiente al proceso multiproduktivo, en el que se plantea la posibilidad

de incrementar el beneficio de los subproductos asociados al recupero económico de los residuos que producen las citadas externalidades.

I. *Proceso monoproductivo*

Función de producción:

El proceso monoproductivo está caracterizado por la siguiente función de producción

$$f_G: (Y_G, Y_E) \mapsto (X_G, e)$$

donde los vectores Y_G y Y_E indican insumos centrales y sucedáneos al proceso productivo respectivamente (por ejemplo, Y_E podría contener residuos que si bien no entran directamente dentro del proceso productivo generan un costo directo -en términos de remoción y tratamiento- dentro de la función de beneficio). Por otro lado, el producto final X_G es generado conjuntamente con un vector de elementos de descarte e que generan una externalidad hacia la sociedad.

Objetivo del productor

Si se considera que el productor tiene como guía de decisión el planteo de intentar lograr un resultado económico lo más favorable posible, es posible interpretar formalmente su accionar mediante la política de maximización del beneficio, bajo la que el agente intentará asignar los recursos y procesos de producción de forma tal de obtener el máximo beneficio considerando las restricciones del caso..

Este comportamiento se describe mediante el siguiente proceso de optimización:

$$\max B = \max P_{X_G} \cdot X_G - r_{Y_G} \cdot Y_G - r_{Y_E} \cdot Y_E$$

considerando la función de producción f_G y los niveles de precios dados por P_{X_G} y los vectores r_{Y_G} y r_{Y_E} . Se recuerda que el factor de externalidad e no entra directamente en la función de optimización del productor, aunque sí debería ser considerado desde el enfoque del bienestar de la sociedad en su conjunto.

Si se asume que el agente elije la mejor alternativa posible, es posible hallar la oferta de producto final $X_G(P_{X_G}, r_{Y_G}, r_{Y_E})$ y las demandas derivadas de insumos $Y_G(\cdot)$, $Y_E(\cdot)$. Nótese que en este último caso, se estaría hablando más específicamente de un desecho que implica costos para el agente, más que propiamente una demanda pura de un insumo, como ya se ha explicado más arriba. Si bien desde un punto de vista general se puede describir la oferta de producto y las demandas derivadas de forma independiente, en la práctica en muchas aplicaciones económicas éstas están altamente relacionadas, y no es absurdo pensar que gran parte de los procesos productivos está caracterizada por relaciones de coeficientes constantes o fijos (por ejemplo, piénsese en la cantidad de excretas diarias generadas por un bovino promedio, las raciones diarias para alimentación animal, los rindes por hectárea en base a una determinada cantidad de agroquímicos, entre otros tantos ejemplos).

Una vez incorporada la información parcial correspondiente a las demandas derivadas, es viable expresar el objetivo a maximizar como:

$$\max B = \max P_{X_G} X_G - CV_G(X_G) - CF - CV_E(X_G)$$

donde CF denota el costo fijo de la producción. Los costos variables contemplan, por un lado, el costo variable asociado a los insumos directos [$CV_G(X_G)$] y por otro, el costo variable asociado a los costos sucedáneos de eliminación de residuos dados por $CV_E(X_G)$.

Decisión marginal

La condición de primer orden que indica al productor la cantidad óptima de producto que debe producir para obtener el máximo beneficio posible está dada por:

$$P_{X_G} - CMg(X_G) = 0$$

en la que $CMg(X_G) = CV'_I(X_G) + CV'_E(X_G)$ indica el incremento en el costo (directo e indirecto) producido por la unidad marginal. De esta ecuación surge X_{G1}^* , el nivel de producto que maximiza el monto de ganancias en la empresa monoprodutora.

Nivel de beneficio

Si bien la condición marginal indica al productor la mejor opción de producción si perdura en el negocio, el margen de beneficio resalta de importancia en primer término para conocer si efectivamente conviene la permanencia en el negocio (si los beneficios dados por $P_{X_G} X_{G1}^* - CV_G(X_{G1}^*) - CF - CV_E(X_{G1}^*)$ son positivos, descontado todo costo de oportunidad), y en segundo término, para analizar la conveniencia de otro régimen comparativo, como se verá más adelante.

Llamaremos $B_1 = P_{X_G} X_{G1}^* - CV_G(X_{G1}^*) - CF - CV_E(X_{G1}^*)$ al monto máximo de beneficio obtenido en la actividad monoproducción.

Costo social

Si bien la elección de producción se centra en la visión económica percibida por el productor (por ende, en su beneficio percibido), se hace notar que la actividad productiva genera en términos sociales un término de costos asociados al monto de elementos e^e que generan una externalidad negativa (en términos de contaminación, emisión de gases de efecto invernadero, etc.) que no son directamente observados en el balance de la actividad productiva. El término

correspondiente puede expresarse como $C_s(e(X_{G1}^*))$, que depende del nivel de producción elegido.

II. Proceso multiproductivo

Si se supone que el proceso cuenta con la posibilidad de lograr la producción de productos adicionales al primario, obtenidos por la reconversión de los residuos que causan la externalidad, en tal caso se puede asumir un proceso productivo multiproducto.

Función de producción:

La función de producción característica en este caso está dada por:

$$f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S)$$

donde el vector $Y_G Y_G$ indica magnitudes de insumos centrales para la producción primaria; por otro lado, el producto final $X_G X_G$ es complementado por un vector de subproductos $X_S X_S$ obtenidos mediante un proceso conjunto de reaprovechamiento de los residuos generados que tiene un rédito económico¹. Se puede pensar en el proceso principal intermedio auxiliar $g_{G,S}: Y_S \mapsto (X_G, e) g_{G,S}: Y_S \mapsto (X_G, e)$ que genera producto principal y residuos, y un proceso de reaprovechamiento de los residuos que los emplea para producir subproductos de rédito económico. Si la función $h_{G,S}: (X_G, e) \mapsto (X_G, X_S) h_{G,S}: (X_G, e) \mapsto (X_G, X_S)$ condensa el resultado conjunto de la actividad principal y la reutilización marcada, entonces $f_{G,S}(Y_G) = h_{G,S}(g_{G,S}(Y_G)) f_{G,S}(Y_G) = h_{G,S}(g_{G,S}(Y_G))$ sintetiza los dos procesos en una única función de producción.

Objetivo del productor

Nuevamente, es posible formalizar el accionar del agente que busca el máximo rédito posible mediante la maximización del beneficio derivado de la multiproducción:

$$\max B = \max P_{X_G} X_G + P_S \cdot X_S - r_{Y_G} \cdot Y_G - C_R(X_S)$$

donde se considera el costo productivo de la reutilización de los residuos e para la producción de los subproductos $X_S X_S$. Si bien la formulación del beneficio parece depender de más de una variable de elección, se recuerda que existe una relación directa entre las variables $X_G X_G$, ee y $X_S X_S$ vinculadas por una restricción productiva (como se explicara arriba, las funciones $g_{G,S}$ $g_{G,S}$ y $h_{G,S} h_{G,S}$ implican una relación entre $X_G X_G$, ee y $X_S X_S$). En el caso más simple, esta relación podrá tomar la forma de coeficientes fijos. En definitiva, el mejor resultado económico dependerá en exclusiva de una única decisión. Esta queda más directamente representada si es expresada en función de la variable productiva principal $X_G X_G$. Denotamos por $\tilde{X}_S(X_G) \tilde{X}_S(X_G)$ la variable vectorial que relaciona los montos de subproductos con la producción principal, y $\tilde{X}'_S(X_G) \tilde{X}'_S(X_G)$ el vector de derivadas parciales respectivas con respecto a $X_G X_G$.

Hallada la oferta de producto final $X_G (P_{X_G}, P_S, r_{Y_G}, C_R(\cdot)) X_G (P_{X_G}, P_S, r_{Y_G}, C_R(\cdot))$ pueden hallarse luego la oferta de subproductos $X_S X_S$, las demandas derivadas de insumos $Y_G Y_G$ y el vector de residuos ee que se producirán por el proceso principal y que deben reciclarse para la obtención de los correspondientes subproductos.

¹ Por simplicidad y claridad se supone aquí que todos los residuos que causan externalidad [e] son reciclados, por lo que la externalidad desaparece completamente. La variante general sería considerar un proceso $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES}) f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})$ donde $e_{RES} e_{RES}$ es el monto residual final no aprovechado que seguiría causando externalidad (en un nivel esperado menor).

Una vez incorporada la información parcial correspondiente a las demandas derivadas, sería viable expresar el objetivo a maximizar como:

$$\max B = \max P_{X_G} \cdot X_G + P_S \cdot \tilde{X}_S(X_G) - CV_G(X_G) - CV_R(\tilde{X}_S(X_G)) - CF_{G,S}$$

donde $CF_{G,S}$ denota el costo fijo de esta producción.

Decisión marginal

La condición de primer orden que indica al productor la cantidad óptima de producto que debe producir para obtener el mejor rédito posible está dada por:

$$P_{X_G} + P_S \cdot \tilde{X}'_S - CMg(X_G) = 0$$

en la que $CMg(X_G) = CV'_G(X_G) + CV'_R(\tilde{X}_S(X_G)) \cdot \tilde{X}'_S(X_G)$ indica el incremento en el costo producido por la unidad marginal, tanto en gasto por mayor necesidad de insumos como por los costos de reciclado adicional. De esta ecuación surge $X_{G_2}^* X_{G_2}^*$, el nivel de producto que maximiza el nivel de beneficio de la empresa multiproductora.

Nótese que $X_{G_2}^* X_{G_2}^*$ surge del balance entre el ingreso marginal y coste marginal relativo al incremento de una unidad principal de producción; estos ingresos y costos contemplan los ingresos por venta o aprovechamiento de los pertinentes subproductos aprovechados, y los costos correspondientes a la obtención de tales sucedáneos. Dado el carácter de proceso secundario que posee el reaprovechamiento de los desechos, es probable que los citados efectos, aunque importantes a nivel, no afecten en gran medida el balance marginal, por lo que $X_{G_2}^* X_{G_2}^*$ no diferiría en tal caso sustancialmente de $X_{G_1}^* X_{G_1}^*$.

Nivel de beneficio

El nivel de beneficio obtenido en el proceso multiproductivo se denota por

$$B_2 = P_{X_G} \cdot X_{G_2}^* + P_S \cdot \tilde{X}_S(X_{G_2}^*) - CV_G(X_{G_2}^*) - C_R(\tilde{X}_S(X_{G_2}^*)) - CF_{G,S}$$

$$B_2 = P_{X_G} \cdot X_{G_2}^* + P_S \cdot \tilde{X}_S(X_{G_2}^*) - CV_G(X_{G_2}^*) - C_R(\tilde{X}_S(X_{G_2}^*)) - CF_{G,S}$$

Economías de alcance

Si (como es de esperar) $B_2 > B_1$, esto indica que existen beneficios económicos provenientes del proceso de reutilización de los residuos; esto es, las economías de alcance permiten que la producción conjunta de los productos $X_G X_G$ y $X_S X_S$ sea económicamente rentable, en especial al trocar los gastos de eliminación de residuos en costos de la reutilización que se netean con los beneficios adicionales de la venta o utilización de los subproductos reaprovechados $X_S X_S$.

Costo social

Desde el punto de vista social, el pasaje de producción simple a la multiproducción acarrea la disminución del costo social de la externalidad (beneficio de la sociedad en su conjunto no percibido por el agente). Bajo el supuesto de que aquí se reutiliza todo el residuo de la producción, esta disminución de costo está dada por $C_s(e(X_{G_1}^*))C_s(e(X_{G_1}^*))$.

El modelo indica que, en la medida en que existen economías de escala, o la posibilidad económica de efectuar un aprovechamiento económico de residuos ganaderos, existe un incentivo para que los productores efectúen una reutilización de los desechos, obteniéndose una solución a la problemática de la externalidad generada, que, contrariamente a los resultados habituales de la teoría, apuntarían en el presente caso a un remedio privado a la problemática de la externalidad, por la vía del aprovechamiento de las economías de escala productivas. La efectividad de tal solución depende de diversas condiciones. A tal efecto cabe mencionar que sería deseable contar con el accionar conjunto de diversos actores sociales; es decir, sector productivo, organismos científicos-tecnológicos y Estado; este último podría fomentar este tipo de actividades conducentes a disminuir los impactos nocivos al medio ambiente por medio de políticas de fomento y promoción, en las que se contemplen líneas de financiamiento promoviendo el uso de bioenergías entre otras, tendientes a lograr sinergias regionales.

3- LA PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS AGROPECUARIOS: UNA OPORTUNIDAD PARA AGREGAR VALOR

Dentro de la amplia gama de residuos que se originan en las distintas actividades productivas se encuentran los residuos orgánicos agropecuarios, los cuales son generados en las explotaciones agrícolas, ganaderas y silvícolas, entre otras. Generalmente, estos residuos son empleados en los mismos establecimientos en los que se producen, siendo en muchos casos material que se destina a los suelos en forma de abono o a la alimentación animal.

Las producciones agropecuarias de origen animal y de carácter intensivo (tales como los *feed lots*, tambos, criaderos de aves, cerdos y conejos) dan origen a una gran cantidad de excretas diarias que causan impactos negativos significativos al medio ambiente si es que no se realiza un tratamiento adecuado. Según un informe publicado por FAO en 2006, se afirma que la actividad ganadera, a través de las excretas, genera más gases efecto invernadero que el sector transporte, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂). Por otra parte, el tratamiento del estiércol implicaría una mejora en los indicadores de productividad y rentabilidad del establecimiento agropecuario, otorgando la posibilidad de generar biogás y biol (que es un fertilizante natural apto para los cultivos), por medio del proceso de digestión anaerobia.

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC) afirma que el sector de la agricultura, la silvicultura y otros sectores que hacen uso de la tierra son los responsables de un cuarto de las emisiones de GEI en el mundo, en concordancia con lo confirmado por FAO. En particular, las emisiones provenientes del estiércol aumentaron en 1,1% en promedio entre 1961 y 2010. Al mismo tiempo, las emisiones provenientes del uso de fertilizantes sintéticos aumentaron un 3,9% en promedio entre 1961 y 2010 a nivel internacional. El 70% de estas emisiones es explicado por los países en desarrollo y el 80%, por las emisiones provenientes del estiércol bovino (Smith et al, 2014).

En el caso de Argentina, el sector de la agricultura y la ganadería generó el 28% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2012 (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015). Durante los últimos años, la expansión de la

agricultura ha opacado el crecimiento de la actividad ganadera. Esto se debió, por un lado, a los elevados precios internacionales de los granos que incentivaron incrementar la superficie implantada y, por otro, al paulatino deterioro que enfrentaba el sector ganadero en términos de bajos precios, sequía y pérdida de stock. Esto conllevó a la reducción del número de hectáreas destinadas a la ganadería, extendiéndose la modalidad ganadera productiva de tipo intensivo, como los *feed lots*. Dada esta nueva situación, los establecimientos se encontraron ante la problemática vinculada al elevado volumen de estiércol que se generaba diariamente. Muchos de ellos hallaron una alternativa válida para darles un destino a las deposiciones bovinas, la que no sólo contribuyó a solucionar el problema de base. Mediante el tratamiento de las mismas en los biodigestores se logró disminuir los efectos negativos provocados por las emisiones de metano y dióxido de carbono al medio ambiente, como así también obtener biogás y biol, que es un fertilizante sin efectos residuales.

En los últimos tiempos, el número de establecimientos con *feed lots* que cuentan con biodigestores ha ido en aumento. Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, se estima que la cantidad de residuos que se generan en todas las cadenas productivas del país asciende a 148 millones de toneladas anuales, que podrían ser reutilizados para producir fertilizantes y electricidad (INTA, 2014). De esta forma, los desechos se convierten en insumos estratégicos dando paso a una nueva configuración productiva que conserva el medio ambiente, en la que cobran importancia las actividades de generación de energías renovables a partir de la utilización de este tipo de biomasa.

El biogás es el producto de la digestión anaeróbica de la biomasa orgánica. Está constituido por una mezcla de metano (CH_4) en una proporción que fluctúa entre un 50% y un 70% y dióxido de carbono, que contiene pequeñas proporciones de otros gases tales como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Tobares, 2013). Los residuos que se pueden utilizar para producir biogás son: los residuos ganaderos y de granjas, purines de cerdo y vaca, estiércoles, gallinaza; los residuos agrícolas, los restos de cultivos de consumo, los residuos de materias primas descartados por la industria alimentaria, tales como los provenientes de industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras, mataderos; los residuos pesqueros; los lodos de depuradora; los residuos de plantas de biocombustibles, tales como la glicerina; la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) y el biogás de vertedero (Tobares, 2013).

Por otro lado, el biol, que surge como subproducto de la generación de biogás, es un excelente biofertilizante que en comparación al efluente sin tratar es más inocuo, contamina mucho menos el ambiente con olores desagradables y sus nutrientes están disponibles de una manera más asimilable y aprovechable por las plantas, hecho que le permitiría sustituir en parte a los fertilizantes químicos (Bragachini et al, 2014).

4- LA IMPORTANCIA DE LA BIOENERGIA: EL CASO PARTICULAR DEL BIOGÁS

Las fuentes renovables de energía están adquiriendo desde hace unos años un papel cada vez más relevante en la agenda pública del mundo y en particular de Argentina. Los factores que explican esta tendencia son, por un lado, la preocupación por aumentar la oferta interna de energía, es decir, por la seguridad energética y el autoabastecimiento, y por otro lado, la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático, reduciendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En este contexto, la incorporación de la bioenergía en la matriz energética nacional adquiere especial relevancia. Dentro de estas fuentes energéticas, las que más desarrollo han tenido en el país son el biodiesel, elaborado a partir de la soja, y el bioetanol, elaborado a partir de la

caña de azúcar. Se han introducido en la oferta interna de fuentes secundarias en el año 2010, con una participación de 0,76%. En el año 2014, dicha participación aumentó a 1,65%.

Nuestro país ya se está poniendo en marcha para producir biogás, dado que se caracteriza por poseer un sector agropecuario/agroindustrial fuerte; estas actividades generan una gran cantidad y diversidad de residuos y subproductos que pueden constituirse en insumos de otros nuevos productos (Gruber et al, 2010). El potencial que poseen los residuos ganaderos para generar biogás por sí solos no es alto, ya que estos contienen demasiado nitrógeno y, además, porque son excesivamente líquidos; sin embargo, es posible incrementar su eficiencia mediante el proceso de codigestión, en el que intervienen otro tipo de residuos (Tobares, 2013). Según el Informe del Relevamiento de Proyectos Bioenergéticos en Argentina, el principal motor para la implementación de los proyectos que incluyen producción de biogás está vinculado al hecho de dar solución a la generación de residuos (Grassi, 2012).

Para generar el biogás a partir de la digestión anaerobia de los residuos mencionados, se debe emplear un biodigestor. El mismo consta de un contenedor cerrado, hermético e impermeable, denominado reactor. En él se deposita el material orgánico a fermentar con un cierto porcentaje de agua (Cristiano, 2016). El estiércol debe ser recolectado e introducido en los digestores con el menor contenido de carga inorgánica posible, como por ejemplo tierra u otro contaminante. En consecuencia, para el uso de los biodigestores son preferibles los sistemas intensivos de producción animal, tales como el *feedlot* con corrales de concreto (Bragachini et al, 2014).

Los biodigestores pueden funcionar con un único sustrato o con la combinación de distintos sustratos. En este último caso el proceso se conoce como co-digestión. Por ejemplo, el proceso de digestión anaeróbica en base a silaje de maíz no funciona correctamente dado que no se generan las condiciones ideales para la degradación por parte las bacterias. En cambio, si se agregan otros elementos que reduzcan el porcentaje de sólidos y aporten inóculo de bacterias, como por ejemplo estiércol, mejora la capacidad de producción de biogás (Mathier et al, s.f.).

La producción de biogás y de su subproducto -el biol o biofertilizante- a partir de estiércol surge como una oportunidad para mejorar el desarrollo económico en el sector agropecuario. Además de reducir el impacto ambiental, la generación de biogás contribuiría con el desarrollo del sector; por un lado, aumentando el valor agregado en las cadenas productivas del sector por medio del tratamiento del estiércol, lo cual da origen a nuevos productos; por otro lado, los establecimientos agropecuarios podrían contar con el biogás, ya que en muchas actividades ganaderas existen etapas la de producción que requieren de combustibles fósiles para generar calor y controlar ciertos procesos industriales, con lo cual se podría reemplazar dichas fuentes energéticas por este biocombustible.

El biogás puede ser empleado en el proceso productivo de los establecimientos agropecuarios; a diferencia de otras fuentes renovables de energía (tales como la energía eólica y solar), el biogás puede generar electricidad durante las 24 horas del día (Gruber et al, 2010). Además, el uso del biol incorpora un valor ecológico a los productos y permite aumentar los ingresos y la producción agropecuaria entre un 30 y un 50%, lo que repercute directamente en los ingresos obtenidos por las familias productoras (Martí Herrero, s.f.).

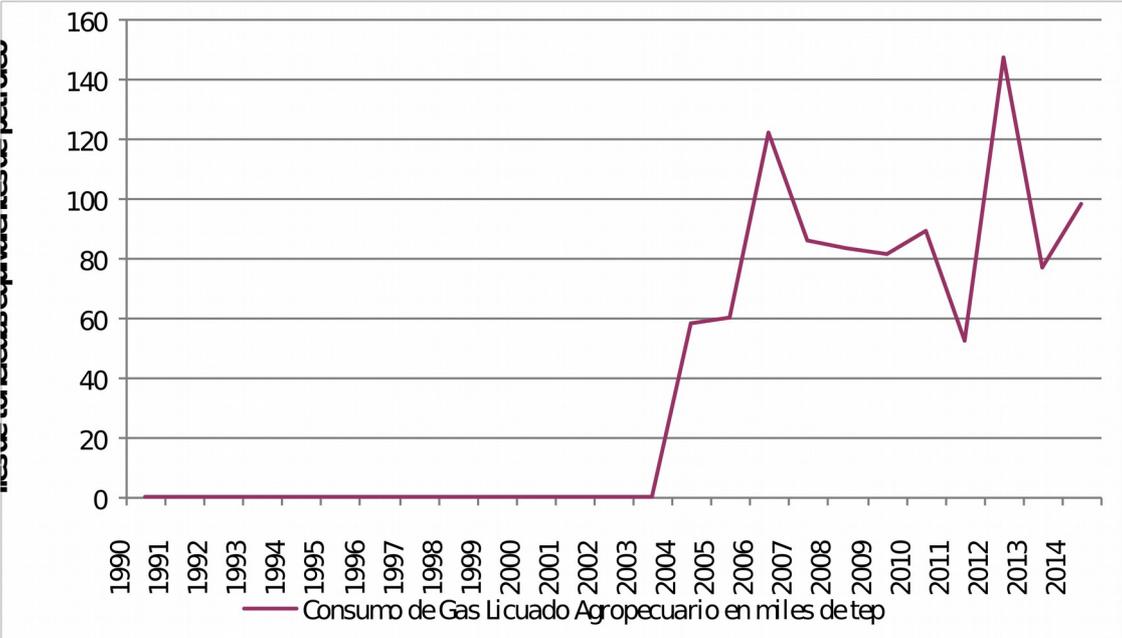
La otra forma en que el biogás puede contribuir con el grado de desarrollo del sector es que permite expandir los servicios energéticos de las comunidades rurales y de esta manera promover el desarrollo rural. La biomasa tradicional, la leña, sigue siendo una fuente energética con alta participación en el consumo energético de la población rural (IAE, 2012). El uso de estas fuentes energéticas de baja calidad y el uso de artefactos ineficientes para la cocción y la calefacción implican altos niveles de contaminación y serios problemas de salud

para la población. Los sistemas eficientes de bioenergía, en particular las estufas que funcionan con biogás, implican múltiples beneficios, tales como la reducción de la presión sobre la forestación y la biodiversidad, disminución de las enfermedades relacionadas con la inhalación de humo, reducción del trabajo forzoso de recolectar leña, el ahorro de dinero que hubiese sido utilizado para comprar combustibles, entre otros (Smith et al, 2014).

Por otro lado, resulta interesante analizar la evolución del consumo de gas licuado en el sector agropecuario; si bien no ha sido tradicionalmente el combustible que mayor participación ha tenido en el consumo, se ha observado una tendencia creciente en su demanda durante los últimos años. En este sentido, podría pensarse en el biogás como un combustible alternativo para sustituir al gas licuado. En efecto, el biogás, mediante una serie de procesos de acondicionado, es posible transformarlo en biometano, que puede ser utilizado en las redes de gas natural con usos similares al GNC, o como combustible de motores para generar energía eléctrica; mediante la refrigeración del mismo y aprovechando el calor de los gases de escape (co-generación) se puede utilizar esta energía térmica (agua caliente) para calefacción u otros usos industriales (Bragachini et al, 2014). Esto sucede porque el biogás no es absolutamente puro, ya que contiene partículas y trazas de otros gases. La purificación del biogás es importante porque permite aumentar el poder calorífico del biogás y cumplir con los requerimientos de algunas aplicaciones de gas tales como motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc. (MINENERGIA, 2011).

Por lo mencionado anteriormente, en el Gráfico I se analiza la evolución del consumo de gas licuado del sector agropecuario en el período 1990-2014. Se puede observar que a partir de 2004 se comienza a utilizar gas licuado en el sector agrícola, observándose una tendencia creciente en su consumo.

GRAFICO I: Evolución del consumo de gas licuado del sector agropecuario en el período 1990-2014



Fuente: elaboración propia en base a datos de Balances Energéticos Nacionales.

5- POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA PROMOCIÓN DE LAS BIOENERGIAS

En Argentina, los mecanismos promoción de la bioenergía se iniciaron en el año 2001. Sin embargo, los primeros impulsos estaban orientados específicamente a la producción de biodiesel y bioetanol (Decreto 1396/2001, Resolución 1156/2004).

Recién en el año 2006 se incluyó al biogás en los marcos de promoción de los biocombustibles a través de la Ley 26.093 del Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles, reglamentada en el año 2007 por el Decreto 109/2007 (Flexor et al, 2012). La ley establece que la Secretaría de Energía, actualmente llamada Ministerio de Energía y Minería, será la Autoridad de Aplicación. Además, dicho organismo tendrá la facultad de fijar las normas de calidad y seguridad, de establecer y llevar un registro de productores y comercializadores y de aprobar proyectos que puedan ser favorecidos por el régimen promocional. Al mismo tiempo, se crea un régimen especial que favorece a los proyectos de producción de biocombustibles orientados al mercado interno (Chidiak y Stanley, 2009).

Los beneficios promocionales establecidos por esta ley consisten en la devolución anticipada del IVA o la amortización acelerada de bienes de uso, subsidios directos, exención del impuesto a la ganancia mínima presunta desde la puesta en marcha y hasta el tercer ejercicio inclusive, desgravación de los tributos específicos que gravan a los combustibles fósiles para el caso de los biocombustibles destinados al corte obligatorio y la creación de un registro de plantas productoras (Chidiak y Stanley, 2009). Asimismo se creó la Comisión Nacional Asesora para la Promoción de la Producción y Uso Sustentables de los Biocombustibles para que asista a la autoridad de aplicación (Flexor et al, 2012).

En el mismo año se aprobó la Ley 26.190 “Régimen Nacional Para el Uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”. Dicha ley preveía que las energías renovables alcanzasen una participación de 8% sobre el total de la electricidad consumida en un plazo de 10 años. Los tipos de fuentes renovables contempladas por la ley fueron: energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. Como incentivos económicos se estableció una remuneración de 0,9 \$/kWh para los generadores fotovoltaicos solares y una remuneración de 0,015 \$/kWh para el resto de las fuentes renovables mencionadas, las cuales constituirían un subsidio sobre el precio reconocido a dichos generadores en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Otro incentivo fue la posibilidad de diferir el pago del impuesto al valor agregado de las inversiones en capital y la exención del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta (Guzowski y Recalde, 2009).

En el año 2009, en el marco de la Ley 26.190, se lanzó el programa GENREN. Consistía en la licitación de 1.000 MW de generación eléctrica a partir de fuentes nuevas y renovables de energía (FNRE), en particular, 500MW para energía eólica, 150MW para biocombustibles, 120 para residuos sólidos, 200 para biomasa, 60 para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, 30 para solar fotovoltaica y 20 para biogás (Recalde et al, 2015). Las ofertas que fueran a aceptarse debían tener como máximo módulos de potencia de 50 MW. A tal fin ENARSA (Energía Argentina S.A) convocó una licitación pública para comprar energía eléctrica proveniente de FNRE a las empresas que hayan presentado y aprobado proyectos para luego venderla, a través de contratos de abastecimiento a 15 años y con precio garantizado a CAMMESA (Bondolich, 2012).Bajo este programa se instrumentó un mecanismo de promoción del tipo Feed-in Premium, ya que se estipulaba el pago de una prima por encima del precio de mercado. El valor de la prima es de 0,9 \$/kWh para los generadores fotovoltaicos solares y de 0,015 \$/kWh para el resto de las fuentes renovables alcanzadas por el programa. Las empresas que invertían en el GENREN podían obtener una

rentabilidad considerable, ya que tenían asegurada la venta de la energía a largo plazo y a tarifas dolarizadas (Guzowski y Recalde, 2009).

En 2015 se promulgó la Ley 27.191 con el objeto de modificar algunos aspectos de la Ley 26.190. En efecto, la cuota de energías renovables en la generación eléctrica se determinó en un 8% a ser alcanzada en el año 2017. Al mismo tiempo, se estableció que la cuota deberá ser del 20% para el año 2025. Para aumentar dicha cuota se planteó un cronograma de sucesivos aumentos: 12% para el año 2019, 16% para el 2021 y 18% para el 2023 (Art. 8).

Por otro lado, se creó un Fondo Fiduciario Público llamado "Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables" (FODER), que se conformará como un fideicomiso de administración y financiero. El FODER tendrá por objeto la aplicación de los bienes fideicomitidos al otorgamiento de préstamos, la realización de aportes de capital y adquisición de todo otro instrumento financiero destinado a la ejecución y financiación de proyectos elegibles a fin de viabilizar la adquisición e instalación de bienes de capital o la fabricación de bienes u obras de infraestructura, en el marco de emprendimientos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (Art. 7). En el año 2016 se reglamentó la normativa a través del Decreto N° 531. Según esta disposición se destinarán doce mil millones de pesos del Tesoro Nacional al FODER.

Por último, cabe mencionar específicamente el Proyecto para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa, PROBIOMASA. En el año 2011, los Ministros de Agricultura y de Planificación a través de las Secretarías de Agricultura, Ganadería y Pesca y la Secretaría de Energía, junto al Representante de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en Argentina presentaron el proyecto. El objetivo principal era incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva y, a su vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático (PROBIOMASA²). Según Lorenzo (2014) el programa contemplaba la descentralización de la producción de energía a partir de biomasa a distintas escalas y contaba con líneas de trabajo que apuntaban a la capacitación de recursos humanos y creación de infraestructura necesaria, al desarrollo de estrategias provinciales y a la comunicación dirigida a influir en la política bioenergética nacional.

El equipo de Energías Renovables del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), con el apoyo del Proyecto PROBIOMASA, llevó adelante el Relevamiento Nacional de Biodigestores con el objetivo principal de proporcionar una herramienta para planificar de manera estratégica el desarrollo de la biomasa en el territorio nacional. Según el diagnóstico inicial se estima que en Argentina existen más de 60 plantas de biodigestión de diferentes tamaños, tecnologías y usos. Actualmente, se registra la existencia de 40 plantas de generación de biogás, 49% corresponde a grandes instalaciones, 26% a instalaciones medias y 25% a pequeñas plantas (INTI³).

Al mismo tiempo, según el Informe de CAMMESA correspondiente a 2015, la energía eléctrica producida a partir de biogás en dicho año alcanzó los 84 GWh. Un cálculo aproximado sobre el potencial de energía biomásica, si se gestionaran los residuos del total de

$${}_2f_{G,S}:Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})f_{G,S}:Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})e_{RES}e_{RES}$$

<http://www.probiomasa.gob.ar/es/institucional.php>

$${}_3f_{G,S}:Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})f_{G,S}:Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})e_{RES}e_{RES}$$

3 <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/er52.php>

las existencias bovinas, rondaría entre los 23.000 MWh y 30.000 MWh por día. Extendiendo este mismo cálculo para el período de un año (365 días), se concluye que la generación efectiva (84 GWh) de energía eléctrica a partir de biogás estaría entre el 1% y el 0,80% del total que se podría estar utilizando⁴. De cualquier manera, es esperable que este porcentaje diste de ser aprovechado en un 100%, ya que existen emprendimientos de biogás que utilizan este combustible para autoconsumo y no lo venden al mercado eléctrico mayorista. Por otra parte, existen modalidades de producción bovina extensivas en las que no es muy factible aprovechar el estiércol y, por otra, hay que considerar las producciones intensivas pero sin corrales de hormigón, donde el aprovechamiento del estiércol no es del todo eficiente.

5- ALGUNOS EJEMPLOS A NIVEL NACIONAL

Con respecto a los proyectos que actualmente se encuentran generando biogás a partir de estiércol de ganado bovino no existe mucha información disponible⁵. Sin embargo, se pueden mencionar algunos.

*Uno de los mayores emprendimientos abocados a la producción de biogás a partir de estiércol es el establecimiento “La Micaela”, localizado en Carlos Tejedor, provincia de Buenos Aires. En el mismo se realiza principalmente la actividad de engorde a corral. Cuenta con corrales de engorde tradicionales de tierra y con otros cuatro corrales con piso de hormigón que presentan una pendiente hacia una calle central también de hormigón. El estiércol proveniente de éstos corrales es el que se utiliza para generar biogás y biofertilizantes (Mathier et al, s.f.).

El objetivo del proyecto es la generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido mediante fermentación anaeróbica de estiércol de 500 novillos en engorde a corral para vender a la red eléctrica nacional, en particular a la Cooperativa de Energía de esa localidad. Se estima que en pleno funcionamiento puede aportar entre un 5% y 6% de la energía que se consume en Carlos Tejedor y en el ámbito rural aledaño. El proyecto no posee únicamente el objetivo de generar energía. En efecto, se apoya en cuatro ejes: la producción de carne, la generación de energía, la producción del biofertilizante y el manejo de los efluentes (Bragachini et al, 2014).

*Otro emprendimiento es el Proyecto de biogás de Bioeléctrica S.A. en Río Cuarto. En este caso, según Bragachini et al (2014), se pretende generar biogás a partir de un proceso de fermentación anaeróbica termofílico de silaje de maíz (90%) y residuos pecuarios, como estiércol (10%), para generar energía eléctrica. El objetivo es generar 1 MWh de energía térmica y eléctrica. La energía térmica será provista a una planta de etanol que se encuentra

⁴ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})$ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES}) e_{RES} e_{RES}$
 84 GWh anuales equivalen a 86.016 MWh anuales. Por otro lado, 23.000 MWh y 30.000 MWh por día equivalen a 8.950.000 MWh y 10.950.000 MWh anuales.

⁵ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})$ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES}) e_{RES} e_{RES}$
 Los resultados del relevamiento mencionado aún no se encuentran publicados por el INTI.

localizada frente a este emprendimiento para el proceso de producción, en tanto que la energía eléctrica será vendida al sistema interconectado nacional o a dicha planta.

* Por otra parte, en el año 2014 se aprobó el proyecto de Voluntariado Universitario “Gaiman sin Residuos” en Chubut. El proyecto tiene el objetivo de realizar un tratamiento de los residuos de las áreas rurales de la provincia utilizando una tecnología que no está desarrollada en la zona, principalmente por el factor climático (PROBIOMASA⁶). El biogás se produce a partir de residuos orgánicos, principalmente estiércol de la zona de chacras cuya producción se destina a autoconsumo.

En una primera etapa se hicieron pruebas a escala piloto para seleccionar distintos tipos de residuos y evaluarlos en biodigestores piloto. En una segunda etapa se construyó un biodigestor anaerobio de 1m³ con el objetivo en primera instancia de evaluar una técnica de construcción que permita soportar condiciones ambientales de la zona, principalmente las bajas temperaturas, lo que constituye el principal problema que presenta este proceso en la Patagonia (Agencia Provincial de Promoción de Energías Renovables⁷).

*Proyecto Yanquetruz. La planta de generación de biogás Yanquetruz se encuentra localizada en la provincia de San Luis, en la localidad de Juan Llerena y pertenece a la Asociación de Cooperativas Argentina (ACA). Obtiene biogás a partir de la utilización del purín de cerdo (proveniente de 1300 madres) y del empleo de residuos de maíz o sorgo (co-digestión). Esto le permite autoabastecerse de energía térmica, la que utiliza para calefaccionar las instalaciones de producción porcina y para mantener al biodigestor. Por otro lado, parte del biogás obtenido es transformado en energía eléctrica que es consumida en su sistema de riego y en su planta de alimento balanceado; el resto de la energía sobrante es vendido a la red nacional.

*El proyecto de tratamiento de residuos orgánicos de Huinca Renancó, en la provincia de Córdoba, tiene como misión el tratamiento de residuos sólidos urbanos (pertenecientes a 11 municipios) y los de frutas y verduras provenientes del mercado concentrador; también incorpora los desechos de la industria frigorífica de bovinos y el silaje de sorgo para obtener electricidad (la cual será enviada al sistema interconectado nacional) y biofertilizantes. Se trata de un proyecto conjunto en el que intervienen la Federación de Cooperativas Federadas Limitadas y la Cooperativa Eléctrica de Huinca Renancó, con el asesoramiento técnico del INTA. Cabe mencionar que la nueva legislación de ambiente de Córdoba sostiene que cada uno de sus respectivos departamentos debe hacerse cargo de la gestión de sus residuos en un único lugar estratégicamente ubicado.

*El proyecto de gasificación llevado a cabo por Manfrey Cooperativa de Tamberos de Comercialización e Industrialización Ltda., localizado en Freyre, provincia de Córdoba, tiene como finalidad producir energía térmica para utilizarlo en su proceso productivo a partir de sorgo biomásico y chips de madera de aserradero.

*La Aceitera General Deheza, localizada en Córdoba, sustituye el gas natural empleando biomasa para generar vapor y electricidad a partir de los residuos que la misma empresa genera en su proceso industrial, tales como cáscaras de maní y girasol.

6 $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})$ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES}) e_{RES} e_{RES}$
lario_ver.php <http://www.probiomasa.gov.ar/es/forumu>

7 $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES})$ $f_{G,S}: Y_G \mapsto (X_G, X_S, e_{RES}) e_{RES} e_{RES}$
<http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/energiasrenovables/2016/03/01/inicio-de-evaluacion-del-biodigestor-piloto-en-gaiman/>

*La empresa Ledesma (líder en producción de azúcar, papel y etanol, entre otros productos) emplea la malhoja de la caña de azúcar y chips de madera como combustible para poner en funcionamiento sus calderas. De esta forma reduce sus costos energéticos y se asegura del aprovisionamiento continuo de gas en su proceso productivo, evitando realizar la quema de los restos de caña de azúcar a cielo abierto.

CONSIDERACIONES GENERALES

La problemática vinculada a la generación de residuos, específicamente en el sector agropecuario, está siendo contemplada como una alternativa para generar bioenergía. En este sentido se está planteando la posibilidad de tratar los residuos orgánicos por medio del proceso de digestión anaerobia en biodigestores. Este hecho posibilita a los productores obtener productos secundarios que se desprenden de su actividad principal, ya que a partir del tratamiento de los desechos, más allá de disminuir los niveles de contaminación en aire, agua y suelo, es posible obtener biogás y biofertilizantes, los que contribuyen a incrementar el beneficio del productor. Es necesario contar con políticas públicas de promoción e implementación de este tipo de tecnologías para que las empresas conozcan los beneficios que éstas aportan y las adopten.

En este trabajo se presentó un modelo formal en el que el tratamiento de las externalidades se plantea de una manera original. La disminución de los efectos externos negativos en la producción es posible si la empresa se convierte a multiproductora y aprovecha las economías de alcance que se desprenden del proceso productivo al realizar un tratamiento de sus residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMA, 2015. El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2015 – Informe de síntesis. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.
- Aguilera Klink, F y Alcántara, V. (2011). De la economía ambiental a la economía ecológica. CIP Ecosocial. Barcelona.
- Boletín Oficial del Estado Español (2009). Disponible en : <https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>
- Bondolich, C. V. (2012). Un marco regulatorio integral como el principal desafío para el fomento y desarrollo de la industria de las energías renovables. En *Congreso de Valor Agregado en Origen*.
- Bragachini, A. M., Mathier, A. D., y Méndez, A. J. (2014) Oportunidades del sector agropecuario y agroindustrial argentino para la generación de bioenergía en origen. *Jornada Nacional de Forrajes Conservados. 09 y 10 de abril de 2014. Manfredi, Córdoba. AR.*
- CAMMESA (2015) Informe Anual 2015 República Argentina
- CEPAL (2013). Acceso a la información, participación y justicia en temas ambientales en América Latina y el Caribe Situación actual, perspectivas y ejemplos de buenas prácticas.
- Chidiak, M. y Stanley, L., (2009). Tablero de comando para la promoción de los biocombustibles en Argentina, CEPAL, Santiago de Chile.
- Cristiano, G. (2016). Tratamiento de los residuos orgánicos agropecuarios y generación de biogás en Argentina, en Los Desafíos de la política energética argentina. Compiladoras: Guzowski, C., Ibañez Martín, M. y Rojas, M. Ed. Dunken, Buenos Aires.

- Decreto 1396/2001. Plan de Competitividad para el Combustible Biodiesel. Modificaciones al Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural. Normas Complementarias. Fecha: 4/11/2001.
- Decreto 531/2016 Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Reglamentación. Fecha: 30/03/2016.
- Flexor, G., MartinsKato, K., Recalde, M. (2012). “Mercado de Biodiesel y las políticas públicas: Los casos de Argentina y Brasil en forma comparada”, en *Revista de la CEPAL 108*
- Flotats, X. (2010). “Biogás y gestión de deyecciones ganaderas”, en *SUIS/IVIS*, (72), 22-29.
- Grassi L. (2012). Relevamiento de proyectos bioenergéticos en Argentina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Ministerios de Agricultura, Ganadería y Pesca; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca; y Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios; Secretaría de Energía, 30 de noviembre de 2012, Buenos Aires, Argentina.
- Guzowski, C. y Recalde, M. (2009) “Sistemas eléctricos y energías renovables en América Latina: los casos de Argentina y Chile”, en Segundo Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN.
- Gruber S., Hilbert J. A. y Sheimberg S. (2010) “Una planta de biogás en base de estiércol animal en mezcla de silaje forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino”. INTA. Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MW con una planta de biogás de alta eficiencia. N° Doc BC-INF-16-10. 28/10/2010
- IAE (2012) World Energy Outlook, Paris, France.
- INTA (2014). El tratamiento de los residuos, clave en la gestión ambiental. Disponible en <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=24508>, recuperado el 14 de febrero de 2016.
- Ley 27.191 Sancionada: 23/09/2015. Promulgada: 15/10/2015
- Lorenzo, C. (2014). Bosques y Energía en la Organización de las Naciones Unidas. Sus proyecciones para Argentina, en *Brazilian Journal of International Relations*, 3(1), 70-94.
- Mas Colell, A., Whinston, M, Green, J. (1995). Microeconomic Theory. Ed. OUP. USA.
- Martí Herrero J. (s.f.) Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. IDEASS. América Latina. Innovación para el Desarrollo y Cooperación Sur.
- Mathier D., Bragachini M., Mendez J. M., Riedelv J. L., Errasquin L. y Alladio M. (s.f.) Informe de la visita al establecimiento “La Micaela” Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires. Generación de biogás y biofertilizante con estiércol bovino. INTA
- MECON (2011) Regionalización: Nota Metodológica. Información Sectorial y Regional. Documento de Trabajo Mayo de 2011
- MINENERGIA, PNUD, FAO y GEF (2011) Manual de Biogás. Santiago de Chile, ISBN 978-95-306892-0
- OCDE (2001). OECD Environmental Indicators 2001. Towards sustainable development.
- Panzar, J. and Willig, R. Economies of Scope. *American Economic Review*, 1981, vol. 71, issue 2, pages 268-72.
- Recalde, M., Bouille, D. H. y Girardin, L. O. (2015). Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina. *Problemas del Desarrollo*, 46(183), 89-115.
- Resolución 1156/2004 Programa Nacional de Biocombustibles. 10/11/2004
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2012) Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina. 3ra Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

-Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, (2014) "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)". In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

-Solé, F y Flotats, X (2004). Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios. Ed. Fundació Catalana de Cooperació.

-Tobares L. (2013). "La importancia y el futuro del biogás en la Argentina" en *Petrotecnia*, 68 -74, febrero 2013.

-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires UNCPBA (2008) "Evaluación, diagnóstico y propuestas de acción para la mejora de las problemáticas ambientales y mitigación de gases de efecto invernadero vinculados a la producción porcina, avícola y bovina (feedlots y tambos) para el Fondo Argentino de Carbono". Estela Santalla (coord.)

- Vázquez Manzanares, V. (2014): "Externalidades y medioambiente", *Revista Iberoamericana de Organización de Empresas y Marketing*, n. 2 (diciembre 2014). En línea: www.eumed.net/rev/ibemark/02/medioambiente.html