

Tratamiento de Residuos Orgánicos y Generación de Bioenergía para Disminuir Impacto Ambiental.

Abordaje Teórico y Algunas Consideraciones Empíricas

Organic Waste Treatment and Bioenergy Generation to Reduce Environmental Impact.

Theoretical Approach and Some Empirical Considerations

GABRIELA CRISTIANO* | MAXIMILIANO MIRANDA-ZANETTI**

► RESUMEN

Todas las actividades de consumo y producción originan desechos, los cuales son causantes de 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 *feedlots*— 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.*

► ABSTRACT

All consumption and production activities originate wastes, which are the cause of negative externalities that impact on the environment. Indeed, the organic wastes from the agricultural sector, particularly those having to do with feedlots, are

* Profesora-investigadora de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Economía, e Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (UNS-Conicet) (Argentina). Correo electrónico: gcristiano@uns.edu.ar

** Profesor-investigador de la Universidad Nacional del Sur, Departamento de Economía (Argentina). Correo electrónico: mmiranda@uns.edu.ar

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, which 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.

Keywords: *Organics wastes | Feedlots | Externalities | Multiproduct enterprise | Economies of scope.*

INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente surge en los años setenta 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 Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (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 sustentable 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* o 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).

Los procesos productivos, ya sean de origen agropecuario o industrial, así como 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. En particular, las producciones agropecuarias de origen animal y de carácter intensivo (tales como los *feedlots*,¹ 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 (Pordomingo, 2014; Saunio, Jackson, Bousquet *et al.*, 2016; Rearte y Pordomingo, 2014). Por otra parte, tal tratamiento 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 anaeróbica (Flotats, 2010).

El objetivo de este trabajo consiste en plantear un modelo teórico en el que las externalidades negativas de la producción —en este caso particular, aquellas vinculadas a la producción intensiva de carne vacuna— puedan ser morigeradas por una firma que se reconvierta a multiproductora, logrando captar economías de alcance (Panzar y Willig, 1981). 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 de efecto invernadero), y a un incremento en los ingresos generado por la venta de biogás y biol, por el otro. 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

1 El *feedlot* es un sistema de producción intensiva de carne, en el que el ganado se encuentra estabulado.

marco normativo actual vinculado a las energías renovables, entre ellas, el biogás.

1. MARCO TEÓRICO 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 otra parte, 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. Dos de los temas centrales de la economía ambiental son 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 (o 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 asignación de recursos y una toma de decisión inadecuadas (Mas-Colell, Whinston y Green, 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 ese 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, ésta 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” (Vázquez Manzanares, 2014).

Arthur Pigou es considerado el precursor de la Economía del Bienestar y el principal pionero del movimiento ecologista. Distinguió los costos privados de los sociales, así como también los beneficios privados y sociales, planteando el 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 capa-

citado 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, obligándola de algún modo a internalizar esa externalidad negativa. Estos impuestos que permiten corregir esos efectos negativos se conocen como impuestos pigouvianos. Ésta 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).

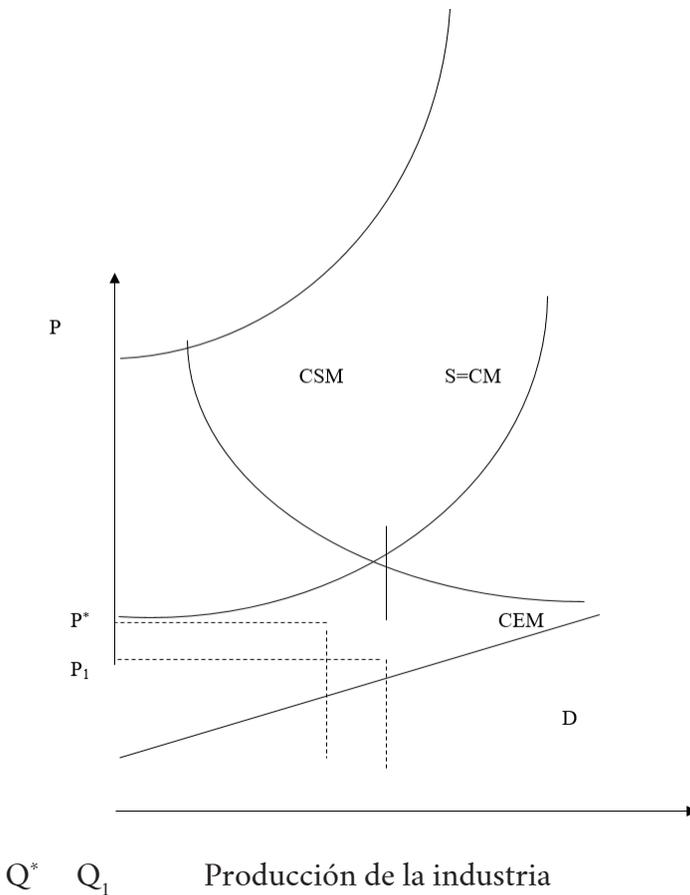
En la gráfica 1, la curva CM (costo marginal) representa la curva de oferta de una determinada actividad industrial que genera un efecto externo negativo. El costo externo marginal (CEM) es la sumatoria del costo marginal de todas las personas afectadas, correspondiente a cada nivel de producción. La curva CSM representa el costo social marginal, y es la suma del costo marginal privado de producción y el costo externo marginal.

Como puede observarse, el nivel de producción de la industria es (P_1 ; Q_1), donde se igualan la oferta (S) o costo marginal privado (CM) con la demanda (D) o beneficio marginal. Sin embargo, cada unidad de producción genera cierta cantidad de residuos, provocando efectos externos negativos. Éste es un nivel de producción ineficiente. El precio de mercado (P_1) es demasiado bajo, y sólo refleja el costo marginal privado de producción de las empresas (CM), pero no el costo social marginal (CSM).

La otra aproximación general a las posibles soluciones al problema de las externalidades se deriva de la propuesta general enunciada por Ronald Coase, 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 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).

GRÁFICA 1
 Externalidad negativa en la producción.



Fuente: Pindyck, Rubinfeld y Beker, 2000.

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 éstos se encuentran relacionados entre sí, pero en otras ocasiones 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:

$$(1) EA = \frac{C(X_1)+C(X_2)-C(X_1,X_2)}{C(X_1,X_2)}$$

Cuando existen economías de alcance, $EA > 0$, dado que $C(X_1, X_2) < C(X_1) + C(X_2)$. Cuando hay *deseconomías de alcance*, $EA < 0$. 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 monoproducción, 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 multiproductivo, 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 monoproducción

Función de producción

El proceso monoproducción 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 de modo directo 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 el más favorable resultado económico, 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 que se obtenga 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 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 elige la mejor alternativa, 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 de forma más específica 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 gene-

radas por un bovino promedio, las raciones diarias para alimentación animal, los rindes por hectárea con base en 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 $CMg(X_G) = CV_G'(X_G) + CV_E'(X_G)$ indica el incremento en el costo (directo e indirecto) producido por la unidad marginal. De esta ecuación surge $X_{G_1}^*$, 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 en importancia en primer término para conocer si efectivamente conviene la permanencia en el negocio (si los beneficios dados por $P_{X_G} X_{G_1}^* - CV_G(X_{G_1}^*) - CF - CV_E(X_{G_1}^*)$ 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 $B_1 = P_{X_G} X_{G_1}^* - CV_G(X_{G_1}^*) - CF - CV_E(X_{G_1}^*)$ al monto máximo de beneficio obtenido en la actividad monoproduto.

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 , que a su vez 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 $C_e(e(X_{G_I}^*))$, 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 indica magnitudes de insumos centrales para la producción primaria; por otro lado, el producto final X_G es complementado por un vector de subproductos X_S , obtenidos mediante un proceso conjunto de reaprovechamiento de los residuos generados que tiene un rédito económico.² Se puede pensar en el proceso principal intermedio auxiliar $g_{G'S}: Y_S \mapsto (X_{G'}, e)$ 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 $h_{G'S}: (X_{G'}, e) \mapsto (X_{G'}, X_S)$ condensa el resultado conjunto de la actividad principal y la reutilización marcada, entonces $f_{G'S}(Y_G) = h_{G'S}(g_{G'S}(Y_G))$ sintetiza los dos procesos en una única función de producción.

² 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 $f_{G'S}: Y_G \mapsto (X_{G'}, X_S, e_{RES})$, donde e_{RES} es el monto residual final no aprovechado que seguiría causando externalidad (en un esperado menor nivel).

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 . 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 , e y X_S , vinculadas por una restricción productiva (como se explicara arriba, las funciones $g_{G,S}$ y $h_{G,S}$ implican una relación entre X_G , e y 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. Ésta queda más directamente representada si es expresada en función de la variable productiva principal X_G . Denotamos por $\tilde{X}_S(X_G)$ la variable vectorial que relaciona los montos de subproductos con la producción principal, y por $\tilde{X}'_S(X_G)$, el vector de derivadas parciales respectivas con respecto a X_G .

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

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 $X_{G_2}^*$, el nivel de producto que maximiza el nivel de beneficio de la empresa multiproductora.

Nótese que $X_{G_2}^*$ surge del balance entre el ingreso marginal y el 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, en tal caso, $X_{G_2}^*$ no diferiría sustancialmente de $X_{G_1}^*$.

Nivel de beneficio

El nivel de beneficio obtenido en el proceso multiproductivo se denota por $B_2 = P_{X_G} \cdot X_{G_2}^* + P_S \cdot \tilde{X}_S(X_{G_2}^*) - CV_G(X_{G_2}^*) - C_R(\tilde{X}_S(X_{G_2}^*)) - CF_{G,S}$.

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 y 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 .

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 $C_e(e(X_{G_1}^*))$.

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, apuntaría 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 científico-tecnológicos y el Estado. Este último podría fomentar este tipo de actividades conducentes a disminuir los impactos nocivos al medio ambiente a través de políticas de fomento y promoción, en las que se contemplen líneas de financiamiento que promuevan el uso de bioenergías, entre otras, tendentes 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 *feedlots*, 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 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2006, se afirma que la actividad ganadera, a través de las excretas, genera más gases de efecto invernadero que el sector transporte, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO_2). 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 anaeróbica.

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 gases de efecto invernadero en el mundo, en concordancia con lo confirmado por la 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, Bustamante, Ahammad *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 *feedlots*. 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 cual 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, así como también obtener biogás y biol, que es un fertilizante sin efectos residuales.

En los últimos tiempos, el número de establecimientos con *feedlots* que cuentan con biodigestores ha ido en aumento. Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2014), 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 reutilizadas para producir fertilizantes y electricidad. 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, Mathier y Méndez, 2014).

4. LA IMPORTANCIA DE LA BIOENERGÍA: 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.

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 biodiésel, 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%.

Argentina 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, Hilbert y Sheimberg, 2010). El potencial que poseen los residuos ganaderos para generar biogás por sí solos no es alto, ya que éstos 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 anaeróbica 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 codigestión. 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 de 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, Bragachini, Méndez *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 de la 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, 2013).

La otra razón por la que el biogás puede contribuir con el grado de desarrollo del sector es porque permite expandir los servicios energéticos de las comunidades rurales, y de esta manera se promovería 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 de artefactos ineficientes para la cocción y la calefacción implica 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, la disminución de las enfermedades relacionadas con la inhalación de humo, la 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 acondicionamiento, puede ser transformado en biometano, que puede utilizarse 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 (cogeneración), 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 mismo y cumplir con los requerimientos de algunas aplicaciones de gas, tales como motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc. (Minenergía, PNUD, FAO y GEF, 2011).

5. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA PROMOCIÓN DE LAS BIOENERGÍAS

En Argentina, los mecanismos de promoción de la bioenergía se iniciaron en el año 2001. Sin embargo, los primeros impulsos estaban orientados específicamente a la producción de biodiésel 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, Martins Kato y Recalde, 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).

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 del Régimen Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. 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 2021 y 18% para 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 la 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 12 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 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 (Probiomasa, s.f.). 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 la creación de infraestructura necesaria, el desarrollo de estrategias provinciales y 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 (INTI, 2008).

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 anaeróbica 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 cuales 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 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 en multiproductora y aprovecha las economías de alcance que se desprenden del proceso productivo al realizar un tratamiento de sus residuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (2015). *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2015. Informe de síntesis*. Copenhague: Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Aguilera Klink, F. y Alcántara, V. (2011). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Barcelona: CIP Ecosocial.
- 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 (9 y 10 de abril de 2014). Córdoba, Argentina: Manfredi.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (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*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Chidiak, M. y Stanley, L. (2009). *Tablero de comando para la promoción de los biocombustibles en Argentina*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cristiano, G. (2016). Tratamiento de los residuos orgánicos agropecuarios y generación de biogás en Argentina. En C. Guzowski (comp.). *Políticas de promoción de las energías renovables. Experiencia en América del Sur*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Decreto 1396/2001. Plan de Competitividad para el Combustible Biodiésel. Modificaciones al Impuesto sobre los combustibles líquidos y el gas natural. Normas complementarias (4 de noviembre de 2001).
- Decreto 531/2016. Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Reglamentación (30 de marzo de 2016).
- Flexor, G., Martins Kato, K. y Recalde, M. (2012). Mercado de biodiésel y las políticas públicas: Los casos de Argentina y Brasil en forma comparada. *Revista de la Cepal*, 108.
- Flotats, X. (2010). Biogás y gestión de deyecciones ganaderas. *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.
- Gruber, S., Hilbert, J. A. y Sheimberg, S. (2010). Una planta de biogás en base de estiércol animal en mezcla de silaje de forrajes 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 de octubre de 2010).

- IAE (2012). *World Energy Outlook*. París.
- INTA (2014). *El tratamiento de los residuos, clave en la gestión ambiental*. Recuperado de: <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=24508>
- INTI (2008). Matriz de oferta y demanda de bioenergía. Situación actual y desarrollo potencial en Argentina. Taller de Bioenergía. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado de: <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/TallerBioenergia.pdf>
- Ley 27,191. Sancionada: 23 de septiembre de 2015. Promulgada: 15 de octubre de 2015.
- Ley General del Ambiente 25,675/2002. Recuperado de: <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>
- Lorenzo, C. (2014). Bosques y energía en la Organización de las Naciones Unidas. Sus proyecciones para Argentina. *Brazilian Journal of International Relations*, 3(1), 70-94.
- Martí Herrero, J. (2013). 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-Sur.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. y Green, J. (1995). *Microeconomic theory*. Cambridge: Oxford University Press.
- Mathier, D., Bragachini, M., Méndez, 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.
- Minenergía, PNUD, FAO y GEF (2011). Manual de biogás. Santiago de Chile.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2001). OECD Environmental Indicators 2001. Towards sustainable development.
- Panzar, J. y Willig, R. (1981). Economies of scope. *American Economic Review*, 71(2), 268-272.
- Pindyck, R., Rubinfeld, D. y Beker, V. (2000). *Microeconomía*. Prentice Hall.
- Pordomingo, A. (2014). *Efectos ambientales de la intensificación ganadera*. La Pampa: INTA EEA-Anguil.
- Probiomasa (s.f.). Institucional. Recuperado de: <http://www.probiomasa.gob.ar/es/institucional.php>
- Rearte, D. H. y Pordomingo, A. J. (2014). The relevance of methane emissions from beef production and the challenges of the Argentinean beef production platform. *Meat Science*, 98(3), 355-360.
- Resolución 1156/2004. Programa Nacional de Biocombustibles (10 de noviembre de 2004).
- Saunois, M., Jackson, R. B., Bousquet, P., Poulter, B. y Canadell, J. G. (2016). The growing role of methane in anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*.

- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2015). Inventario de gases de efecto invernadero de la República Argentina. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C. W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. y Tubiello, F. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). En O. Edenhofer, 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 (ed.). *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-Nueva York: Cambridge University Press.
- Solé, F. y Flotats, X. (2004). Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios. Fundació Catalana de Cooperació.
- Tobares, L. (2013). La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. *Petrotecnia*, 68-74 (febrero de 2013).
- Vázquez Manzanares, V. (2014). Externalidades y medioambiente. *Revista Iberoamericana de Organización de Empresas y Marketing*, 2 (diciembre de 2014). Recuperado de: www.eumed.net/rev/ibemark/02/medioambiente.html