



FACULTAD  
DE CIENCIAS  
ECONÓMICAS



Universidad  
Nacional  
de Córdoba

# REPOSITORIO DIGITAL UNIVERSITARIO (RDU-UNC)

## Impacto de la producción de biodiesel en el uso de la tierra y en la disponibilidad de su materia prima

Fernando H. Sonnet, Silvana Andrea Sattler,  
Enrique Leopoldo Castro González

Ponencia presentada en la XLIX Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política  
realizado en 2014 en la Universidad Nacional de Misiones. Misiones, Argentina



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual  
4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ASOCIACION ARGENTINA  
DE ECONOMIA POLITICA

ANALES | ASOCIACION ARGENTINA DE ECONOMIA POLITICA

# XLIX Reunión Anual

Noviembre de 2014

ISSN 1852-0022

ISBN 978-987-28590-2-2

IMPACTO DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL  
EN EL USO DE LA TIERRA Y EN LA  
DISPONIBILIDAD DE SU MATERIA PRIMA

**Sonnet, Fernando**

**Sattler, Silvana**

**Castro González, Enrique**

# **Impacto de la producción de biodiesel en el uso de la tierra y en la disponibilidad de su materia prima <sup>1</sup>**

Sonnet, Fernando H.

Sattler, Silvana A.

Castro González, Enrique L.

## **Resumen**

En este trabajo se estudiará la producción de biodiesel y su impacto en el uso de la tierra y con una extensión competitiva sobre la producción de alimentos, tras el planteo de dos modelos con herramental microeconómico. Se observa que la tecnología más eficiente de conversión aumenta la producción de energía en mayor proporción que la de menor eficiencia, al considerar una disminución en la cantidad de tierra aplicada a la producción de alimentos; por lo que se puede ahorrar más tierra y dedicarla a la producción de alimentos cuando, por el avance tecnológico, se logra producir más energía.

Palabras claves: Biodiesel, alimentos, uso de la tierra, tecnología, precios.

JEL: D24, Q10, Q42

## **Abstract**

In this paper, it will be study biodiesel production and its impact on land use and extension of a competitive food production, following the proposition of two microeconomic models. It is observed that the most efficient conversion technology increases the production of energy at higher rates than the lower efficiency, considering a decrease in the amount of land applied to the production of food; which leads to the conclusion that you can save and dedicate more land to food production when, for technological progress, it is possible to produce more energy.

Keywords: Biodiesel, food, land use, technology, prices.

JEL: D24, Q10, Q42

---

<sup>1</sup> Instituto de Economía y Finanzas- Facultad de Ciencias Económicas- Universidad Nacional de Córdoba.  
Av. Valparaiso s/n - Ciudad Universitaria - Córdoba - Argentina  
Tel: (00)-(54)-(351)-4437300 int.: 48596. Correos de referencia: instecon@eco.unc.edu.ar, silsattler@gmail.com

## **1. Introducción**

La aparición de los biocombustibles, como aplicación alternativa a la producción agrícola, ha llevado a la competencia por el uso del suelo entre la producción de estos combustibles, fibras, alimentos y materias primas para la cría de animales. Es por ello, que en el mundo, la discusión está centrada en torno a la relación entre la aplicación de granos en la producción de energía o de alimentos.

Entre las justificaciones de esta disyuntiva se encuentran, por un lado, la relación entre el precio del petróleo y los alimentos, y el impacto de los cambios del sector agrícola en la sostenibilidad y desarrollo de ciertas economías del mundo. Este trabajo pone su acento en el estudio de este último aspecto.

En la comprensión del fenómeno se debe pensar, primero, en el impacto que soportan los consumidores tras la disminución en el ingreso real provocado por el aumento en el precio de los productos y subproductos derivados de granos. Esto, sumado a que muchas naciones tienen como hábitos de alimentación, el consumo de productos elaborados con granos, lleva a un mayor impacto negativo en el bienestar.

Por otro lado, el avance tecnológico está permitiendo la expansión del sector agrícola para hacer frente a estas necesidades de la población. Sin embargo, se deben tener presentes las características propias de la oferta agrícola que lleva a una lenta respuesta de ésta frente a los cambios en los precios, observándose diferencias entre las cantidades ofrecidas y demandadas. En Argentina, una posible explicación es que la frontera agrícola es amplia como para permitir llevar adelante las diferentes producciones por medio de la incorporación de nuevas tierras igualmente productivas; mientras que en otros países, con restricciones de tierras disponibles, la competencia entre la producción de alimentos y los demás usos afectará los precios relativos y los ingresos de la sociedad.

El conjunto de todos los aspectos señalados que involucran a este fenómeno de la aparición del biodiesel y sus efectos sobre el uso de los recursos y la disponibilidad de las materias primas es el problema central del análisis. Con ese fin, se presentan esquemas teóricos para explicar el uso alternativo de los recursos, a través de dos modelos alternativos, el primero incluye las variables estrictamente técnicas en el fenómeno de la producción, relacionando el uso de la tierra con los niveles de producción de materias primas y de biodiesel manufacturado. El segundo, incorpora los precios relativos y el papel que juega en la asignación de los recursos, constituyendo un aporte original y una extensión del modelo básico de Msangi et al. (2010). Ambos modelos incorporan una aplicación empírica para su análisis.

Es importante aclarar, que se examinará a la industria del biodiesel, en particular, sin considerar la del etanol, dada la importancia que la primera tiene en el mercado doméstico.

## **2. Marco teórico y análisis de las variables en el modelo de uso de la tierra**

### **2.1. Análisis de la curva de rendimiento del biodiesel**

Como se expresó en el apartado anterior, la elaboración de biocombustibles impactará en la producción de alimentos y sus precios, afectando a las sociedades más pobres. Aquí se pueden considerar también las implicancias sobre el uso de la tierra y la necesidad de mejoras tecnológicas que logren mayor eficiencia en la producción de energía, generando menor impacto negativo en la disponibilidad de alimentos y en el bienestar.

Con el fin de analizar el dilema Biocombustibles-Alimentos, se presenta a continuación un esquema teórico tomando el trabajo de Msangi et al. (2010), que muestra que el resultado de la producción de energía proveniente de biocombustibles está vinculado al uso de la tierra, y al volumen de la producción y la productividad de un cultivo.

Aquí se consideran los impactos de dos cambios tecnológicos simultáneos:

1) Progresos tecnológicos en los métodos de conversión de granos en combustibles que generan mayor eficiencia, a través de una mayor cantidad de energía producida con una misma cantidad de tierra utilizada o, alternativamente, obtener una cierta cantidad de energía con menor uso de tierra.

b) Avances en la productividad de la agricultura provocados por un cambio en la tecnología usada en el sector, dentro de los cuales podrían nombrarse, a modo de ejemplo, las mejoras en semillas y los sistemas de riego.

Con el objeto de llevar a cabo el análisis se considera que los cambios en la eficiencia de la conversión energética son tales como los expresados en el cuadrante I del Gráfico N° 1. A partir de un nivel dado de rendimiento de un cultivo  $y_0$ , para el mismo incremento en el uso de tierra (segmento AB del uso de la tierra para energía), se obtiene un mayor incremento en la producción de energía con una curva de alta eficiencia en la conversión que con una curva de baja eficiencia. Tal que:

$$Q1H Q2H > Q1L Q2L \quad (1)$$

También es posible observar un menor impacto en el uso de la tierra para producir alimentos, que se verá reducido en la proporción  $L1 L2$  para cada caso (se lo puede ver en el cuadrante II). Dada la eficiencia en la conversión se tiene:

$$L1H L2H < L1L L2L \quad (2)$$

En el tercer cuadrante, aparecen las isocuantas de producción de alimentos, representando cada una de éstas curvas, pares ordenados para los cuales se mantiene constante el nivel de alimentos producidos. Por lo tanto, si la cantidad de tierra aplicada al cultivo disminuye, para mantener constante el nivel de producción, deberían aumentarse los rendimientos del mismo. Así, si consideramos la curva de alta eficiencia en la conversión, cuando disminuye el uso de la tierra para alimentos de  $L1H$  a  $L2H$ , para seguir produciendo  $Q1$  de alimentos, los rendimientos deben aumentar de  $y1$  a  $y2$ .

En cambio, con una tecnología de baja eficiencia en la transformación granos-biocombustible se debería sacrificar más tierra (Ecuación 2), de modo tal que un mismo incremento en el rendimiento ( $y_0 y_1 = y_1 y_2$ ), permita mantener el nivel de producción de alimentos inicial,  $Q0$ . Pero, si el rendimiento no aumentase, la disminución en el uso de la tierra de  $L1L$  a  $L2L$  llevaría a producir sobre una isocuanta inferior, como  $Q0'$ .

En síntesis, con una tecnología de conversión de alta eficiencia, es posible aumentar la producción de energía en una magnitud superior a la que se alcanza con una tecnología menor, para una disminución dada en la cantidad de tierra aplicada a la producción de alimentos. Cabe destacar que se supone una Tasa Marginal de Sustitución Técnica (TMgST), entre los dos usos alternativos de la tierra, constante y con una elasticidad de sustitución infinita.

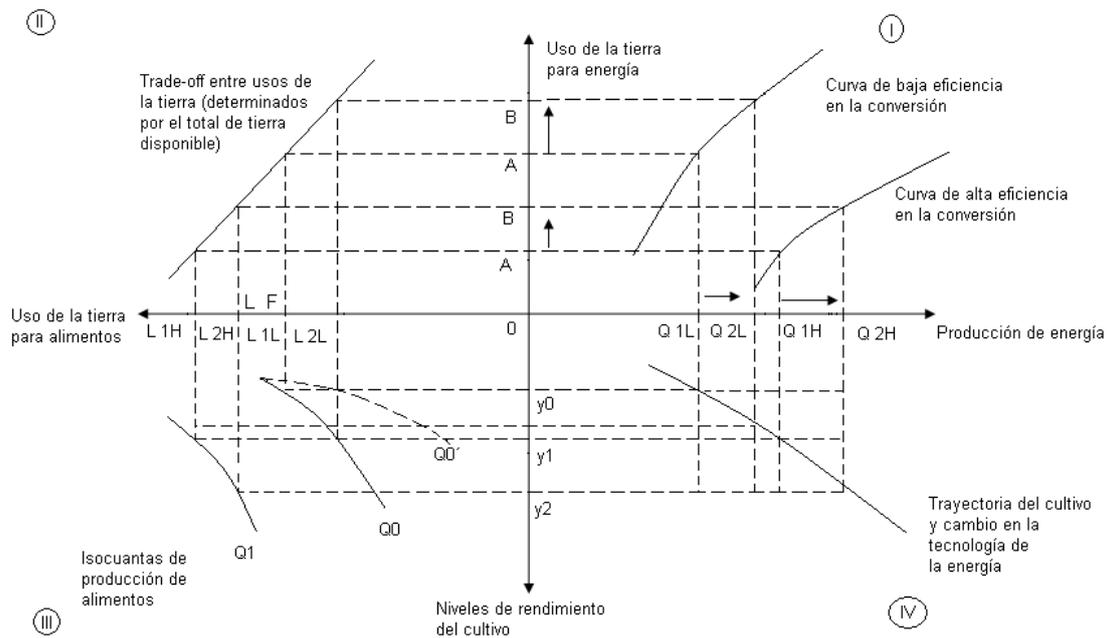
Alternativamente, se puede ahorrar más tierra dedicada a alimentos, cuando se quiere producir más energía, si se utiliza una tecnología de conversión de alta eficiencia. Ese ahorro, es la menor pérdida de tierra que se consigue con esa tecnología, en relación con la tecnología alternativa.

$$- L1L L2L - L1H L2H > + LF \quad (3)$$

En donde LF es mayor que cero, representando al ahorro de tierra que se obtiene con el uso de esa tecnología de mayor eficiencia y no de la alternativa menos eficiente.

Si las mejores tecnologías de producción de biocombustibles se muestran al tiempo de una mayor demanda de alimentos (originadas en mayores rentas y crecimiento poblacional), un crecimiento de los rendimientos de  $y_1$  a  $y_2$ , sería necesario para alcanzar un nivel de producción de alimentos  $Q_1$ , sobre la isocuanta más alta indicada en el cuadrante III. En este sentido, debe tenerse en cuenta que ese aumento de rendimientos se genera a partir de un nivel alto de rinde en los cultivos, en el cual se observan rendimientos decrecientes a escala. Por último, si los progresos tecnológicos favorecen la producción de materias primas y la conversión de granos en energía, podrán alcanzarse simultáneamente niveles crecientes de producción de alimentos y una senda de expansión de energía (cuadrante IV).

**Gráfico N° 1: Modelo de la curva de rendimiento de la bioenergía derivada de la agricultura.**



Fuente: Elaboración propia en base a *Biofuels and Agricultural Growth: Challenges for Developing Agricultural Economies and Opportunities for Investment* (Msangi, Ewing, Rosegrant) de Khanna M. et al. *Handbook of Bioenergy Economics and Policy* pp 78.

Hasta aquí, se ha desarrollado la polémica entre biocombustibles y alimentos, sobre la base de un análisis teórico que, por medio del Gráfico N° 1, permite estudiar las

interacciones entre diferentes sectores, y su impacto en la realidad económica y social. Para un análisis más detallado de la situación particular de Argentina, en la sección siguiente se muestra la aplicación empírica de este modelo.

#### **4.2. Aplicación del modelo de rendimiento de la bioenergía en Argentina**

En este apartado se busca analizar la situación del mercado argentino del biodiesel y su impacto en el sector agrícola, para lo cual se observa la producción de poroto de soja desde la campaña 2005/2006 hasta la correspondiente al período 2012/2013. Con los datos obtenidos, se calcula el volumen de extracción de aceite de soja y la producción del biodiesel, para aplicar los resultados al modelo presentado en el punto 4.1.

Para efectuar la aproximación empírica del modelo presentado, se caracterizarán las relaciones entre el uso de tierra en la producción de alimentos y de biodiesel (se mantendrá el supuesto que éstos son los dos únicos usos alternativos para la soja), en base a la cantidad de soja cosechada y la tecnología aplicada en la conversión de granos en biocombustibles.

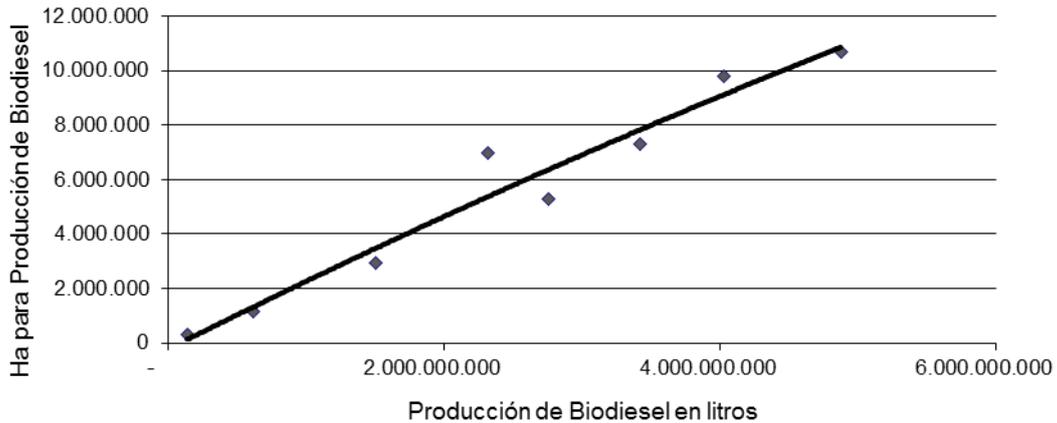
Para sostener dicho supuesto, es importante tener presente, que al momento de las decisiones de siembra, la disyuntiva alimento o biodiesel no son las variables de decisión, sino sólo la curva de oferta dependiente de los precios relativos esperados del poroto, que compiten por sus tierras e indirectamente con las relaciones ingresos netos relativos esperados más el riesgo. Es por ello, que se propone una extrapolación en cuanto a las decisiones de una sociedad como un conjunto de sujetos de decisión que actúan en el fenómeno. Así, la decisión entre alimentos o biodiesel se toma en la etapa de la industrialización, al final del proceso del “crushing”, en función a los beneficios esperados y las condiciones del mercado tanto nacional como internacional. Aquí toman relevancia las regulaciones del gobierno para el biodiesel sobre precios y cupos, entre otras variables.

Se ha medido a la producción del biodiesel considerando la capacidad productiva de las empresas de la industria. Por otra parte, el uso de la tierra se mide considerando el coeficiente técnico de producción: por cada tonelada de soja se obtienen 180 litros de biodiesel que se mantendrá constante durante el tiempo bajo estudio, justificado porque el 18% del grano de soja es aceite.

Asimismo, se obtiene la cantidad total de hectáreas de tierra usadas en la producción de energía, al considerar la cantidad total de soja necesaria para la elaboración de combustible y el rendimiento de este cultivo en cada campaña.

En el Gráfico N° 2 se observa la relación entre hectáreas aplicadas a la producción de biodiesel y producción agregada de este combustible; mostrando de ésta manera, los datos empíricos que ejemplifican la situación descrita en el cuadrante I del modelo analizado. Se aproxima el comportamiento de una curva de eficiencia global de Argentina de la producción de biodiesel o función de producción de biodiesel.

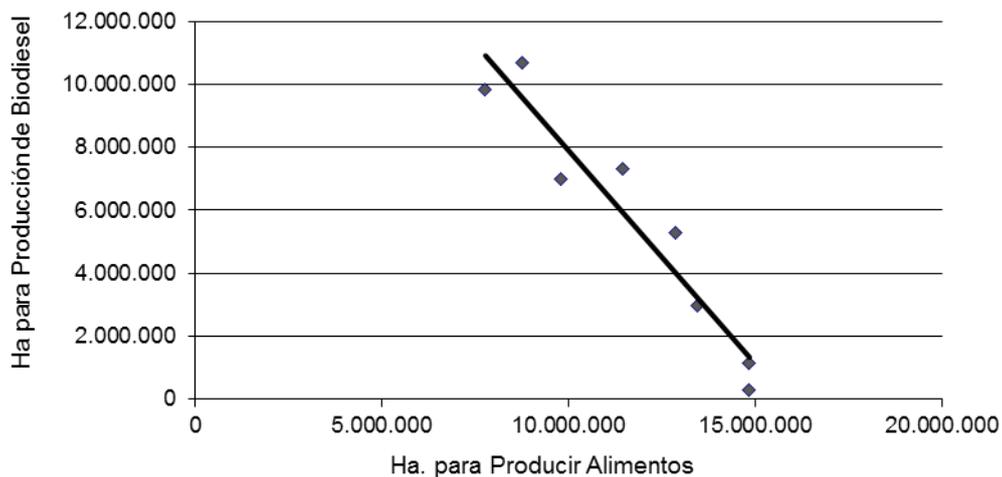
**Gráfico N° 2: Relación entre uso de la tierra para energía y producción total de Biodiesel.**



*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

Para explicar el Cuadrante II del modelo, la frontera agropecuaria, se consideró el uso alternativo del recurso tierra entre los dos bienes: soja para alimentos y soja para biodiesel, al analizar las hectáreas totales cosechadas en cada campaña, las cifras del total de aceite necesario para producir biocombustibles, para establecer como diferencia a la cantidad de hectáreas usadas para cosechar soja destinada a alimentos; lo que se observa en el Gráfico N° 3, que muestra una frontera agropecuaria marcada por el total de tierra disponible, al expresar la citada relación entre los usos alternativos de la tierra.

**Gráfico N° 3: “Trade-off” entre los usos alternativos de la tierra.**

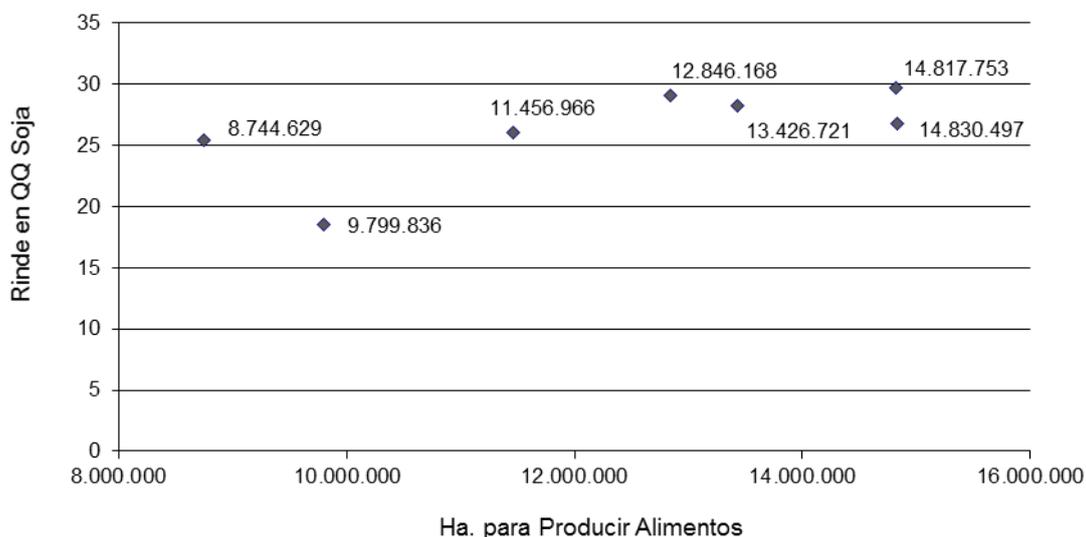


*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

El Cuadrante III, permite reconocer la relación entre el rendimiento del cultivo de soja y la cantidad de tierras aplicadas a la producción. Es importante tener presente, que en el rendimiento de un cultivo actúan implícitamente factores exógenos y endógenos que

modificarán el rinde obtenido, tales como las condiciones climáticas, el nivel de lluvia o la utilización de sistemas de riego, la rotación o no de cultivos en cada período. Es así, que en el Gráfico N° 4, se analiza la relación entre el rendimiento de soja medido en quintales por hectárea y el total de tierra utilizada para su producción.

**Gráfico N° 4: Relación entre el uso de tierra para alimentos y el rendimiento del cultivo**



*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

Se considera que probablemente, cada punto del gráfico anterior pertenezca a una isocuanta distinta, al representar un nivel de producción dado por los dos factores en distintos momentos de tiempo, y siendo valores de producción diferentes año a año, no pudiendo por ello, unir los diversos puntos en una misma isocuanta.

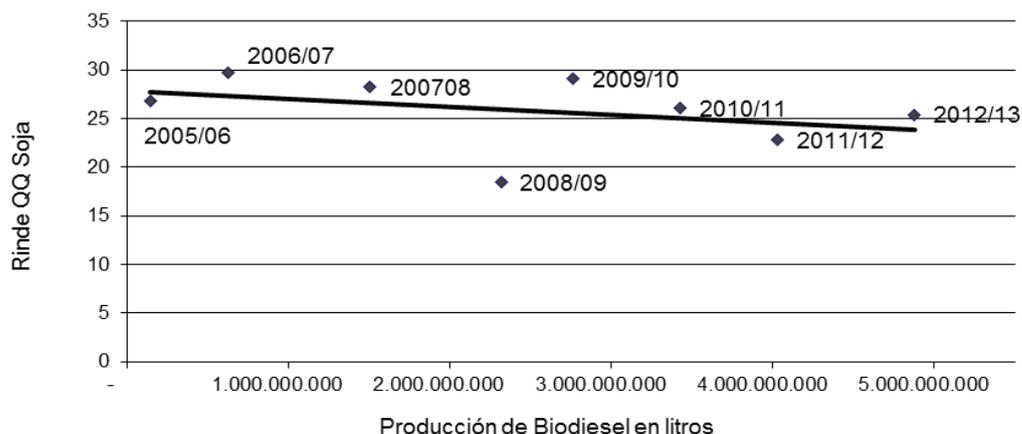
Finalmente, el cuadrante IV, expresa la relación entre el nivel de rendimiento de la soja y la producción de energía, para lo que se ha construido un diagrama de dispersión que surge entre el rendimiento de soja y el total de producción de biodiesel (ver el Gráfico N° 5).

Se puede observar que la producción total de biodiesel en el país, ha aumentado a lo largo del tiempo, pero no a causa de la variación en el rendimiento de la soja, su principal insumo, lo que se explica en parte por la legislación nacional en la materia; lo que podría indicar un impacto negativo en el volumen de producción de alimentos<sup>2</sup>. Esto es así porque las relaciones tecnológicas en la producción de biodiesel y en la de aceites y harinas se encuentran reflejadas en los ya citados coeficientes técnicos fijos del tipo Leontief; lo que justifica que las plantas industriales no puedan modificar esos coeficientes frente a las variaciones en los rendimientos de las materias primas. Por otro lado, se puede explicar la inexistente relación entre la producción de biodiesel y los rendimientos de la soja, al tener presente que la producción del biocombustible se encuentra atravesando la etapa de industrialización (sector secundario), mientras que

<sup>2</sup> Por ejemplo, independientemente del menor rendimiento en alguna campaña, como la de los años 2008/2009, la cantidad de soja aplicada a biodiesel no se resiente.

los rendimientos son característicos de una producción perteneciente al sector primario.<sup>3</sup>

### Gráfico N° 5: Relación entre la producción de energía y el rendimiento del cultivo



*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

La producción del biodiésel aumenta año tras año, mientras que la evolución del rendimiento del cultivo no tiene un comportamiento determinado, no evidenciándose relación entre los niveles de rendimiento del cultivo y la producción del biocombustible. Lo que lleva a concluir que no se resuelve el dilema entre biocombustibles y alimentos, ya que se plantea en el modelo que para que ello suceda, se debe incrementar continuamente el rendimiento del cultivo, con el consecuente aumento en la producción, lo cual no se verifica en el análisis empírico.

Por otra parte, no se encuentran evidencias para observar un cambio tecnológico que permita superar el trade-off que se analiza aquí, ya que el incremento en la producción sucede como consecuencia de un aumento en el rinde (QQ/ Ha) y por otros factores tales como los estímulos económicos, los precios de referencia a nivel internacional<sup>4</sup>.

Se presenta en el Apéndice A la Tabla N° 1 que detalla los valores de las principales variables estudiadas para la aplicación del modelo en Argentina.

---

<sup>3</sup> Si se midiera el tenor graso del grano ingresado a planta para crushing en cada año, y se lo correlacionaría con la producción de biodiésel se verificaría que para producir una misma cantidad del biocombustible se necesitaría menor cantidad de grano por cada tonelada de aceite, no pudiendo concluir que el modelo bajo estudio sea inconsistente en su aplicación, sino que se debe tener en cuenta la relación antes planteada en un último cuadrante no incorporado en el análisis.

<sup>4</sup> Factores que influyen de manera directa en las decisiones de los productores de biocombustible, y no en las de crushing.

### **3. Planteo del nuevo modelo para analizar el biodiesel y los alimentos, con tecnología dada y regulación parcial del mercado**

En este acápite, se presentará una descripción de la industria del biodiesel, interpretando su comportamiento a través de la incorporación de un modelo de equilibrio parcial.

La industria del biodiesel en Argentina, está integrada principalmente por grandes aceiteras de capitales nacionales y extranjeros, un grupo heterogéneo de empresas agrupadas en dos grandes categorías: las exportadoras, y las Pymes (que abastecen al mercado interno, favorecidas por incentivos económicos que les otorga el gobierno). Las primeras venden toda su producción al exterior aprovechando sus menores costos unitarios, los que se explican por la ventaja en la compra de insumos y la posibilidad de aprovechar las economías de escala, estas firmas son tomadoras de precios fijados internacionalmente. Las empresas producen siguiendo el precio regulado por el gobierno, quien fija los correspondientes al mercado interno y las retenciones a las exportaciones para el mercado externo del biocombustible. No se debe perder de vista, que el cupo (consumo en el mercado interno para mezcla con gasoil), es establecido por la Autoridad de Aplicación de la Ley, y el mismo, si bien es cubierto principalmente por las pequeñas empresas, debe ser completamente abastecido para luego contar con el remanente saldo productivo para su venta al mercado externo<sup>5</sup>. La Ley tiene sus bondades al aprovechar las ventajas naturales para el desarrollo de los cultivos tradicionales y no tradicionales, y promover el desarrollo regional, pero el hecho de que el precio esté regulado genera incertidumbre para los industriales. Por otro lado, esta política de precios carece de perspectivas de largo plazo para consolidar la industria, no establece claramente las pautas para acceder al cupo, ni contempla a la industria oleo-alco-química. Sin embargo, se debe tener presente que es una ley nueva que está regulando a una industria naciente; por lo tanto, es necesaria la ayuda del Estado estableciendo políticas claras que garanticen la maduración de la misma y su consolidación en el tiempo.

Se pretende, con el modelo que se expondrá, explicar y predecir que la producción de energía proveniente de biodiesel se encuentra vinculada a las decisiones sobre el uso de la tierra, y en definitiva, al volumen de la producción y a la productividad de un cultivo. Para ello, se considerará el impacto de dos cambios tecnológicos simultáneos:

a) Los progresos tecnológicos en los métodos de conversión de granos en combustibles que generan mayor eficiencia, que puede sintetizarse en el cambio tecnológico en la producción de biodiesel. Aquí, el cambio tecnológico en la producción de biodiesel, provoca un aumento en la eficiencia de la producción del mismo.

b) Los avances tecnológicos centrados en la labor agronómica para producir materias primas provenientes del suelo, lo que significa una mayor cantidad de energía producida con una misma cantidad de tierra utilizada o alternativamente, se obtiene una cierta cantidad de energía con una cantidad menor de tierra.

Por otra parte, se supone que las PYMES presentan una menor eficiencia en la producción de biodiesel, por lo que necesitan más tierra para obtener la misma cantidad de combustible. Se considera este supuesto como real, ya que la falta de acceso a la materia prima y a los mercados, para Pymes, encarece relativamente su

---

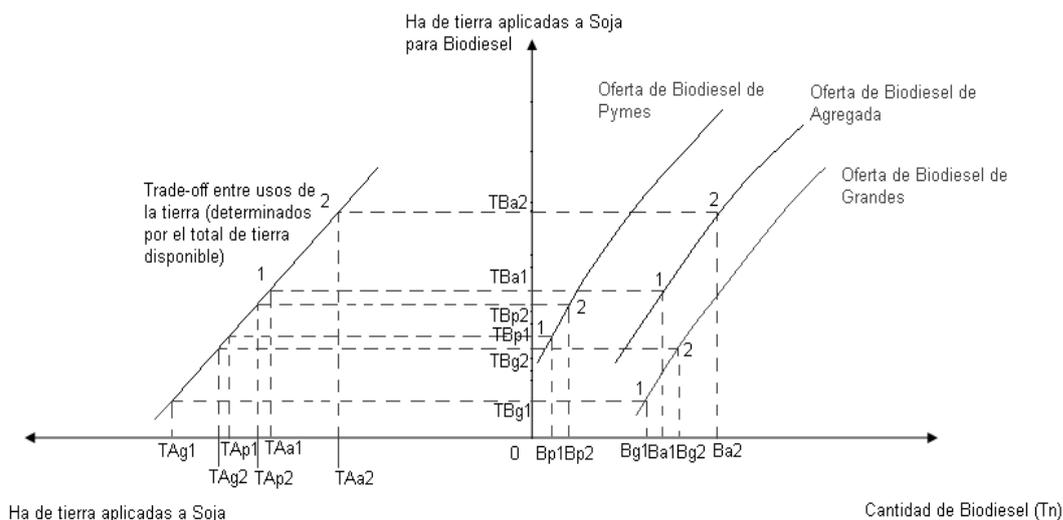
<sup>5</sup> El régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles (Ley Nº 26.093) se aprobó definitivamente el 19 de abril de 2006. A partir de allí, existen numerosas regulaciones que complementan a la aplicación de la citada norma.

producción y les lleva a necesitar el apoyo del gobierno a través de un precio subsidiado para poder subsistir.

El segundo cuadrante del Gráfico N° 7 se presentará en el lado derecho del Gráfico N° 6. En el mismo, se muestran las curvas de producción de biodiesel en función al insumo tierra, dibujando en el mismo la función correspondiente para empresas de alta eficiencia (grandes) y para empresas de baja eficiencia (PYMES), y correspondiente función de producción agregada. Asimismo, en la parte izquierda del Gráfico N° 6 (que representará al cuadrante III del Gráfico N° 7) se puede observar el uso de la tierra para los dos fines considerados (alimentos y biodiesel), donde se observa que al destinar más hectáreas de tierra a la producción de soja para biodiesel, quedarán menos hectáreas disponibles para la producción de soja destinada a alimentos.

Antes de seguir con el análisis, es necesario aclarar la manera de obtener la función de producción agregada. Para ello, se parte de un punto inicial, por ejemplo el Punto 1 en la Función de Oferta de Biodiesel PYMES (representa una producción de las PYMES de  $B_{p1}$  para un uso de la tierra de  $T_{Bp1}$ ), y otro punto inicial 1 en la Función de Oferta de Biodiesel de las Grandes Empresas (exportadoras, que producen  $B_{g1}$  para un uso de la tierra de  $T_{Bg1}$ ). Luego, se adicionan los segmentos para expresar gráficamente la producción de biodiesel en ambos tipos de empresas, es decir, la producción total o agregada de la economía en biodiesel ( $B_{a1} = B_{p1} + B_{g1}$ ). Con la misma lógica, se puede agregar la producción de ambos tipos de empresas, para el caso en que ambas incrementen su producción, motivadas por algún efecto externo (que se explicará más adelante); se obtienen así los puntos nombrados como 2 en las Funciones de Oferta de Biodiesel de PYMES y en la correspondiente a las Grandes Empresas, que representa una producción para las primeras de  $B_{p2}$  para un uso de la tierra de  $T_{Bp2}$ , y para de las grandes empresas de  $B_{g2}$  para un uso de la tierra de  $T_{Bg2}$ , para un total de producción agregada de la economía de  $B_{a2}$ . Con los dos puntos obtenidos, al unirlos, se puede obtener la curva de producción agregada de la industria del biodiesel (llamada Oferta de Biodiesel Agregada). Es así, que en el punto 1 del Gráfico N° 6, la industria de biodiesel dejará  $T_{A1}$  de tierra disponible para la producción de soja como alimento (poroto, aceite, etc.) y la misma será de  $T_{A2}$  para el punto 2.

**Gráfico N° 6: Trade- off entre alimentos y Biodiesel**



Fuente: Elaboración propia.

Se supone en este modelo, que la soja es el único grano que se utiliza como insumo en la producción de biodiesel en Argentina, y por ello el único que se incorpora al análisis. El supuesto es válido, ya la soja es la oleaginosa más usada en la producción de dicho combustible.

En el primer cuadrante del Gráfico N° 7, se observa la Frontera de Posibilidades de Producción (FPP) del biodiesel y de la soja para alimentos; mientras que en el cuarto, la curva de producción de soja en función a la cantidad de tierra usada para producir soja. Los cuadrantes I y II, delimitan las funciones de Trade-off entre usos de la tierra y la Función de Producción de Biodiesel Agregada respectivamente (ya explicado arriba)<sup>6</sup>.

Para continuar con la explicación, es necesario volver al punto 1 inicial, y trasladarlo al primer cuadrante para obtener las cantidades A1 de soja para alimentos y B1 de biodiesel, dado un precio relativo PA/PBD<sup>7</sup> que impera en la economía (recta aa). Este punto de combinaciones de producción de soja para ambos usos se logra al emplear TB1 tierra para producir soja para la fabricación de biodiesel, quedando TA1 disponible para soja para alimentos.

Si se incorpora un incremento en el precio relativo, inducido por un aumento en el precio del biodiesel ( $PBD' > PBD$ ), se obtiene, en tanto, una nueva recta bb de precios relativos. Tras el aumento en el precio, y suponiendo que el precio de la soja para alimentos se mantiene constante, las nuevas cantidades de producción serán de B2 para la soja destinada al biodiesel y A2 para la soja destinada a alimentos, lo que requerirá el uso de TB2 hectáreas de tierra para la cosecha de soja para biodiesel y TA2 para soja destinada a alimentos.

Ahora, se supondrá que ocurre un cambio tecnológico en el sector biodiesel que incrementa la eficiencia en la producción de dicho bien, esto lleva a que la curva de transformación se traslade hacia una superior como FPP' (representa que se puede producir más cantidad de biodiesel para las mismas cantidades de producidas de soja destinada a alimentos).

Así, aumenta la oferta del Biodiesel, lo que se observa por el traslado de la Función de Producción de Biodiesel Agregada (la mejora en la tecnología empleada en la industria hace posible producir más toneladas de biodiesel por cada hectárea de tierra, en comparación al uso de la misma con la tecnología anterior).

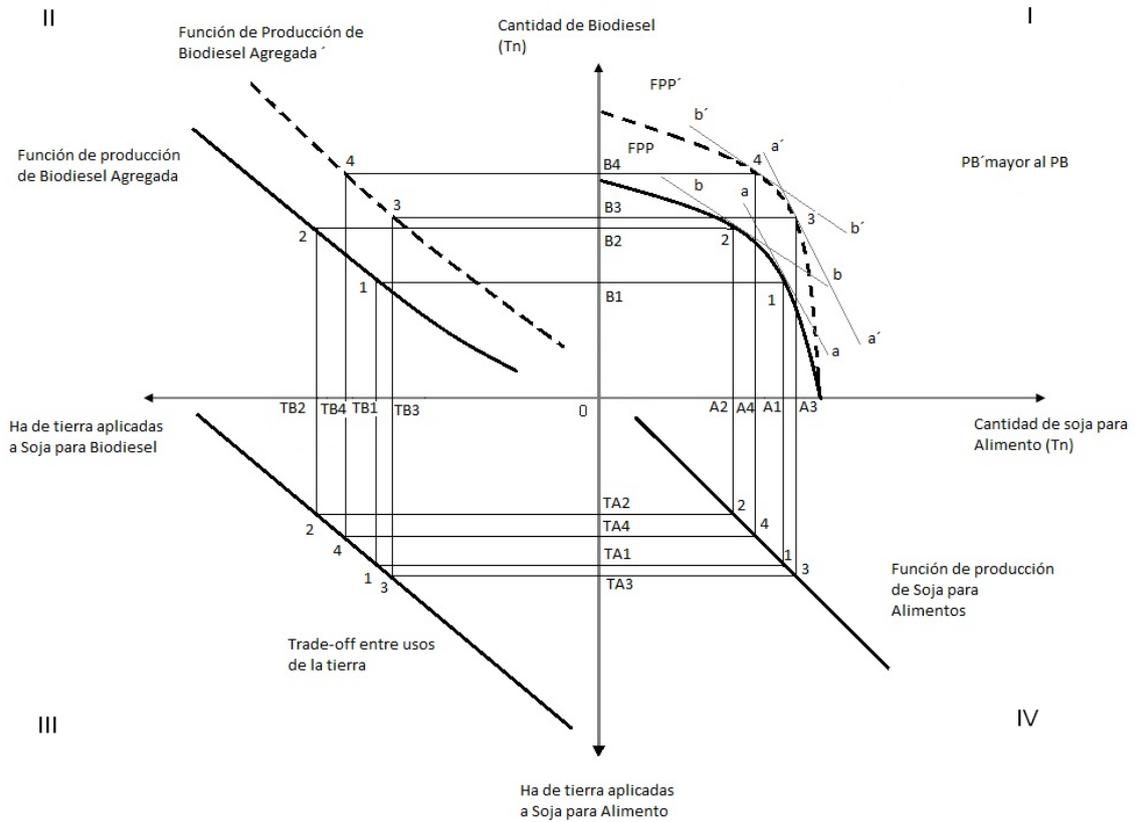
Para completar el análisis, se consideran los precios relativos analizados con anterioridad, PA/PBD y PA/PBD', obteniendo así las cantidades de producción de soja destinada al biodiesel B3 y B4, y A3 y A4 para la soja destinada a alimentos. Las cantidades de tierra usadas en ambas producciones y para ambos precios relativos son de TB3 y TB4, y TA3 y TA4, respectivamente.

---

<sup>6</sup> Por simplicidad, no se incluye en el cuadrante II a las Funciones de Producción de Biodiesel de las Pymes y Grandes Empresas de forma desagregada.

<sup>7</sup> Donde  $P_A$  es el precio de la soja para alimentos, y  $P_{BD}$  es el precio que enfrenta la industria de biodiesel, considerado como un promedio ponderado entre el precio interno fijado en función a la Ley 07/2010, y el precio internacional (exógeno).

**Gráfico Nº 7: Modelo biodiesel versus soja para alimentos.**

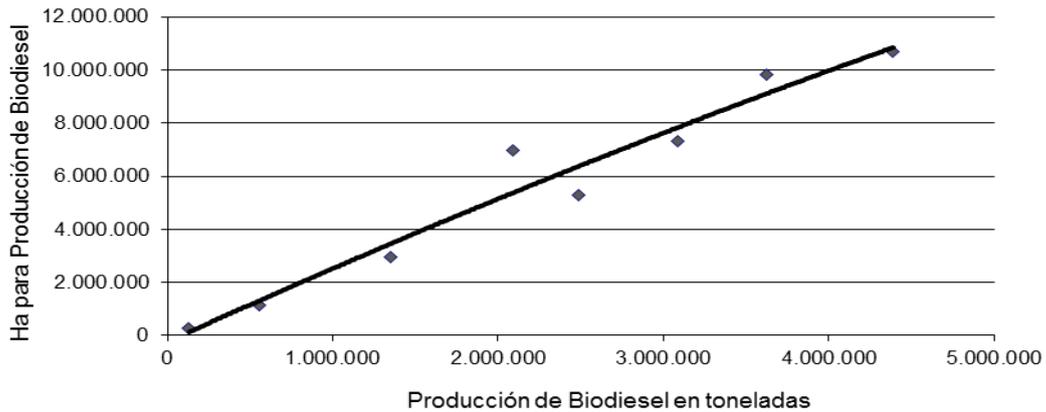


*Fuente: Elaboración propia.*

Para analizar el modelo empíricamente, se usarán los datos de la Tabla Nº 1, expuesta en el Apéndice A, la cual muestra las hectáreas sembradas y cosechadas de soja, y la producción del poroto que de ello resulta. Luego, se calcula el rendimiento en kilogramos y en quintales de soja por hectárea cosechada. Asimismo, se presentan las toneladas de soja destinadas a los dos usos alternativos considerados en el estudio, y las hectáreas utilizadas para ambas producciones.

De la aplicación del modelo anterior, se representan los datos más relevantes en gráficos de dispersión, reflejando las líneas de tendencia; de esta forma se puede corroborar la dinámica del modelo con una aproximación empírica sencilla.

**Gráfico N° 8: Función de Producción de Biodiesel**

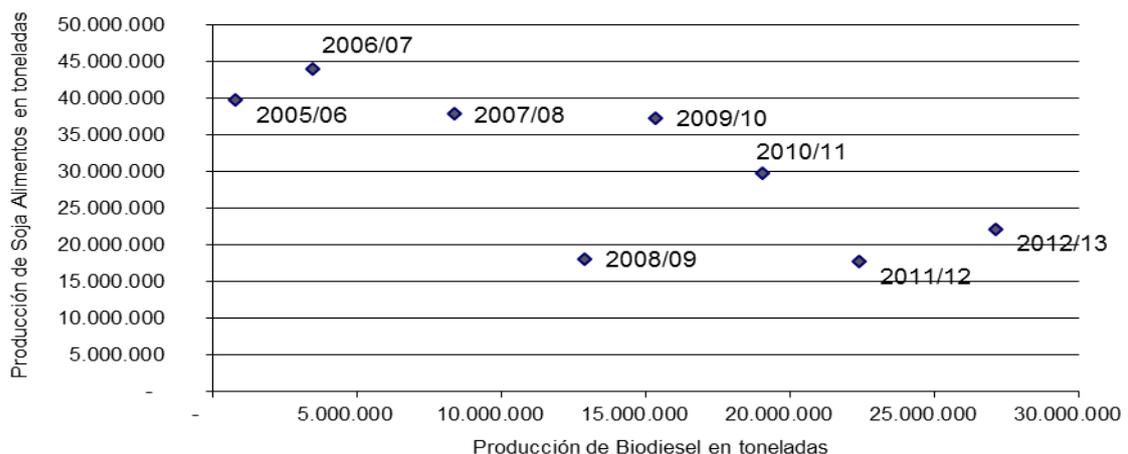


Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.

Para analizar empíricamente el segundo cuadrante del modelo, la Oferta Agregada de Biodiesel o Función de Producción de Biodiesel, se presenta el Gráfico N° 8 en el que se observa que el comportamiento de la oferta es el esperado, ya que a medida que las cantidades producidas de biodiesel aumentan año a año, se necesitan usar más hectáreas de tierra para el cultivo de soja destinada a dicha producción.

Ahora, volviendo al primer cuadrante del Gráfico N° 7, se analizará la FPP para Argentina. Para ello, se debe tener presente que la misma se grafica considerando los puntos eficientes, y quedando dentro de la frontera aquellos que no lo son, los que llevan a lograr menores toneladas de producción de un bien en función a la del otro bien. La aproximación empírica indica, al observar el Gráfico N° 9, que si se unen el segundo, quinto y octavo punto, contados desde la izquierda, se puede obtener una FPP aproximada (los puntos restantes son ineficientes).

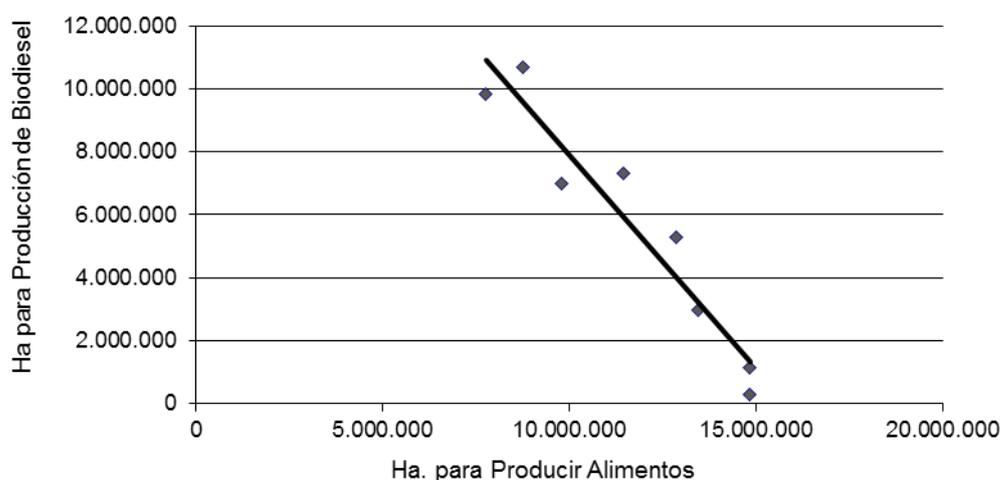
**Gráfico N° 9: Frontera de Posibilidades de Producción**



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.

Al analizar la curva de Oferta de la Tierra (Trade-off entre usos de la tierra), se puede ilustrar lo representado en el tercer cuadrante del Gráfico N° 7.

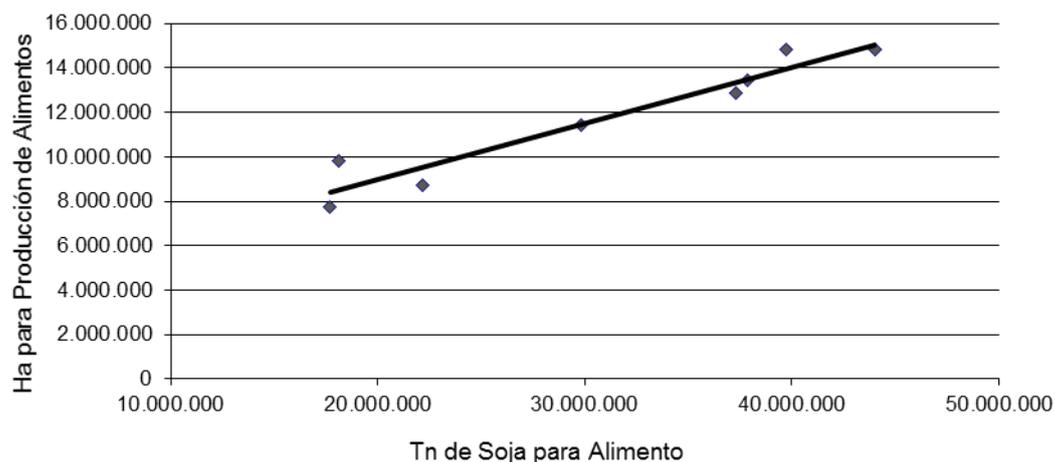
**Gráfico N° 10: Oferta de Tierra.**



*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

El resultado de la gráfica de la Oferta de Tierra es el esperado, a medida que se usa más tierra para la producción de soja para biodiesel, quedan menos hectáreas disponibles para el cultivo de soja destinado a alimentos, lo que representa su pendiente negativa.

**Gráfico N° 11: Función de Producción de Soja para Alimentos.**



*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

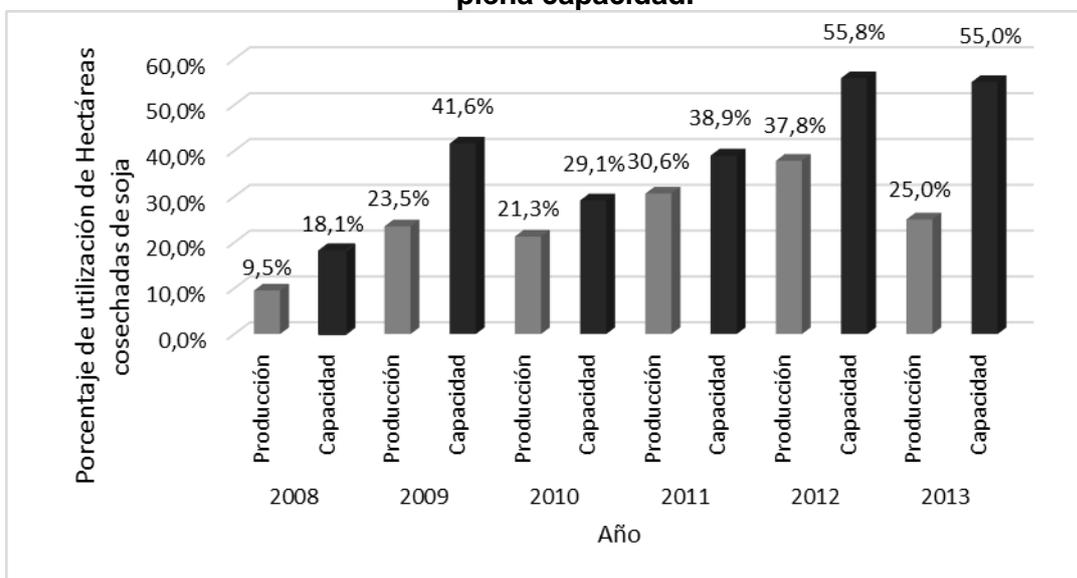
Finalmente, para el caso de la Función de Producción de Soja para Alimentos, que se corresponde con el cuadrante IV del Gráfico N° 7, el comportamiento es el esperado, ya que a medida que se usan más hectáreas de tierra para dicho cultivo, las cantidades de éste que se producen son mayores.

#### 4. Producción de Biodiesel y uso de la tierra

En el trabajo se supuso una producción de biodiesel igual a la capacidad disponible para cada año, a partir de ahí, se calculó cuánto se necesita de aceite y poroto de soja, para en base a ello, obtener cuántas hectáreas de las efectivamente cosechadas cada año se hubieran utilizado. Es así, que de haber producido biodiesel a plena capacidad se hubieran requerido indirectamente, para la última campaña 2012/13, 55% de las 19,4 millones de hectáreas cosechadas de soja. Pero si abandonamos el supuesto de plena capacidad, el porcentaje realmente utilizado de hectáreas es de 25% para dicho año. Esta fuerte diferencia se debe un aumento importante de la capacidad ociosa de la industria, en particular en los años 2012 y 2013, como consecuencia del cierre de su principal destino de exportación: la Unión Europea, y una incapacidad de las políticas del gobierno para impulsar un aumento del biodiesel destinado al mercado interno y lograr nuevos mercados externos.

Como corolario, la cantidad real utilizada de hectáreas cosechadas indirectamente para la producción de biodiesel se ha situado en los últimos años en valores que superan ampliamente el 20%, y que si se compara con lo que se podría lograr de utilizar la planta a plena capacidad (porcentajes mayores al 50%), se observa el importante peso que el biodiesel tiene en toda la cadena de la soja, es decir en términos de aceite, poroto de soja, y finalmente, en la utilización de tierra.

**Gráfico N° 12. Porcentaje de Hectáreas cosechadas utilizadas en la producción de biodiesel versus el porcentaje que se hubiera utilizado de haber producido a plena capacidad.**



*Fuente: Elaboración propia en base al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

#### 5. Resultados y conclusiones

El modelo de equilibrio parcial bajo análisis contempla dos formas de cambios tecnológicos: en la eficiencia de las industrias de conversión de la biomasa en

bioenergía y en la producción de materias primas oleaginosas a partir del uso del suelo.

Se ha propuesto en el trabajo extender el modelo de Msangi al plantear un análisis de equilibrio parcial que incorpore una función agregada de biodiesel y una de poroto de soja para alimentos, vinculado con los precios relativos de los bienes que compiten por el uso del suelo.

Con la aplicación del modelo, se demuestra que los cambios tecnológicos simultáneos pueden ejercer sinergias para ahorrar suelo en la producción de energía, produciendo más alimento; o bien disponer de mayor cantidad de energía sin sacrificar alimentos.

Por otra parte, se observa que la expansión de la producción de biodiesel no depende del rendimiento de los cultivos de soja, pues la tecnología de producción usada en el modelo es de coeficientes fijos tipo Leontief. Se evidencia, que la mayor producción de biodiesel será posible por medio de la incorporación de nueva y mejor tecnología en la producción de soja de modo tal de no perjudicar las cantidades de alimentos requeridas por la sociedad; teniendo en cuenta la incorporación de nuevas tierras y tecnología de avanzada, y el impacto de los precios de los biocombustibles en los alimentos.

Es importante recordar que la relación del uso de la tierra para biodiesel y de la producción del mismo presenta el comportamiento esperado, la producción se ve incrementada al aumentar las hectáreas de tierra destinadas a producir soja para ese fin.

Al considerarse, al menos en el corto plazo, que la cantidad de tierra disponible para el cultivo de soja es fija (frontera agropecuaria constante), existe un trade-off por el uso de la tierra, a la hora de decidir sobre los usos alternativos analizados. Se debe tener presente, que se supone que el productor decide de antemano si produce soja para venderla como alimento o como biocombustible.

Por otro lado, la relación del rinde del poroto de soja, medido en quintales por hectárea se ha mantenido relativamente estable salvo para el año 2008 de sequía, mientras que la producción de biodiesel ha aumentado constantemente. Es así, que salvo para el año 2008, caso atípico en el que disminuye abruptamente el rinde, en general, se evidencia que ante rendimientos prácticamente constantes el aumento en las hectáreas destinadas a producir soja para alimentos incrementa la producción de ese grano para dicho fin.

En Argentina, los indicadores analizados muestran las relaciones esperadas a nivel teórico. Sin embargo, dadas las características de la industria, no es posible evidenciar la competencia entre Biocombustibles y Alimentos, que podría ser salvada por la ampliación de la frontera agrícola.

Finalmente, el desarrollo actual de la industria de biocombustibles no puede dar una respuesta integral frente a las necesidades crecientes de energía que demanda el planeta, tampoco pretende sustituir de raíz el uso de los combustibles de origen fósil. Sin embargo, los nuevos biocombustibles pueden contribuir al ahorro de diesel oil para los requerimientos productivos en entornos puntuales y regionales, resolviendo la gran demanda del sector agropecuario en épocas de mayor actividad, como por ejemplo el abastecimiento de energía para las maquinarias agrícolas mediante asociaciones cooperativas.

En un sentido extensivo de esta investigación, sostenemos que en Argentina es necesario desplegar políticas estables y firmes para desarrollar la energía solar y eólica debido a sus condiciones climáticas variadas por la posición que ocupa el país en el cono sur; no menos importante es explorar el aprovechamiento de la energía mareo motriz que podría generarse debido a la extensividad de sus costas.

## 6. Bibliografía

Ardila, Jorge (2009): *“Oferta de alimentos en el contexto actual: tendencias y desafíos para América Latina y el Caribe”*; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Blanco Fonseca, María; Burrell, Alison; Gay, Hubertus; Henseler, Martin; Kavallari, Aikaterini; M'Barek, Robert; Pérez Domínguez, Ignacio; Tonini, Axel (2010), *“Impacts of the EU biofuel target on agricultural markets and land use: a comparative modelling assessment”*.

Cámara Argentina de Energía Renovables. <http://www.argentinarenovables.org/>

De la Torre Ugarte, Daniel (1997), *“The POLYSYS Modeling Framework: A Documentation”*.

Duffey, Annie (2011). *“Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe”*, CEPAL.

INDEC: Informe de Biocombustibles Mayo de 2014.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación <http://www.minagri.gob.ar>

Msangi, Ewing, Rosegrant (2010), *“Biofuels and Agricultural Growth: Challenges for Developing Agricultural Economies and Opportunities for Investment”*. Khanna M. Scheffran J., Zilberman D. (2010). Handbook of Bioenergy Economics and Policy. Cap., pp 73-90. Springer Eds. Springer Science + Business Media LLC 2010.

RFA (2011): *“Building bridges to a more sustainable future”*. 2011 Ethanol Industry Outlook.

Secretaría de Energía de la Nación- datos de la industria:

<http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3025>

**Apéndice A: Aplicación del Modelo de la Curva de Rendimiento de la bioenergía derivada de la agricultura al caso argentino**

**Tabla 1: Resumen de las principales variables analizadas**

Campaña	Área Sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción Soja (Tn)	Rendimiento (QQ/Ha)	Capacidad Productiva Biodiesel (Tn) (*1)	Soja para Biodiesel (Tn)	Hectáreas Producción de Soja para Biodiesel	Soja para Alimentos (Tn)	Hectáreas Producción de Soja para Alimentos
2005/06	15.393.474	15.130.038	40.537.363	27	130.000	802.469	299.541	39.734.894	14.830.497
2006/07	16.141.337	15.981.264	47.482.786	30	560.000	3.456.790	1.163.511	44.025.996	14.817.753
2007/08	16.608.935	16.389.509	46.238.893	28	1.354.000	8.358.025	2.962.788	37.880.868	13.426.721
2008/09	18.042.895	16.771.003	30.989.469	18	2.087.000	12.882.716	6.971.167	18.106.753	9.799.836
2009/10	18.343.940	18.130.799	52.675.466	29	2.487.000	15.351.852	5.284.631	37.323.614	12.846.168
2010/11	18.902.259	18.764.850	48.888.538	26	3.084.000	19.037.037	7.307.884	29.851.501	11.456.966
2011/12	18.670.937	17.577.320	40.100.196	23	3.626.200	22.383.951	9.813.218	17.716.245	7.764.102
2012/13	20.035.572	19.418.825	49.306.201	25	4.390.489	27.101.784	10.674.196	22.204.417	8.744.629

*Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Cámara Argentina de Energía Renovable (CADER), Secretaría de Energía de la Nación, Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (ABH) y Ministerio de Agricultura de la Nación.*

(\*1) Se considera el último año de la campaña, pues la misma culmina con la cosecha de ese año, lo cual lo hace comparable para el modelo utilizado.