

REGULACIÓN, MERCADOS Y DETERMINANTES DE LA EVOLUCIÓN DEL SECTOR DE LOS BIOCARBURANTES EN EE. UU.: UN ANÁLISIS ECONÓMICO E INSTITUCIONAL

Jorge Ernesto Rodríguez Morales
Doctor por la Universidad de Salamanca (España)

Categoría egresados

Desde los comienzos de la industria de la bioenergía líquida en EE. UU., la política agroenergética y la regulación han desempeñado roles determinantes en el origen y desarrollo del mercado. Asimismo, la industria de la bioenergía ha estado influenciada principalmente por el comportamiento de los mercados energéticos, pero también por la situación y la política aplicada en los mercados alimentarios, al igual que por la dimensión medioambiental del consumo de energía en el transporte rodado. En el presente artículo se ha analizado la evolución histórica de la regulación y los mercados de biocombustibles en EE. UU., y se plantea que esta puede ser explicada coherentemente mediante los escenarios de convergencia y conflicto que surgen en distintos periodos, los cuales se configuran a partir de la relación entre los costos de oportunidad del Estado regulador y la agroindustria, en relación con el uso energético de la biomasa alimentaria para la producción de carburantes renovables. Este planteamiento permite analizar las distintas implicancias de los biocombustibles como alternativa de diversificación energética y como estrategia de mitigación de emisiones en el marco de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional del Acuerdo de París.

I. Introducción

El incremento de la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles y el creciente coste de las fuentes de energía primaria como el petróleo en un sistema energético global, el cual se ha caracterizado por la concentración de la mayor cantidad de recursos energéticos en pocas regiones, imponen problemas estratégicos de seguridad en el ámbito de la energía a los países que consumen más recursos energéticos de los que producen. Junto con los costes relacionados con el acceso a las fuentes de energía, la generación y el transporte, el consumo de combustibles fósiles genera externalidades negativas que se manifiestan principalmente en el deterioro medioambiental a nivel local, regional y global. Como consecuencia de este escenario, es esperable que las necesidades energéticas de los países deficitarios en combustibles fósiles sean cubiertas por fuentes alternativas que presenten un menor costo social externo, en especial en el sector del transporte puesto que concentra una considerable cantidad de externalidades.

Las políticas de promoción del uso de biocarburantes en el mercado de carburantes para el transporte rodado constituyen una de las más importantes iniciativas de diversificación energética en este ámbito. Los biocarburantes, el etanol carburante y el biodiesel son carburantes líquidos obtenidos mediante procesos de conversión de la biomasa, y son además una de las pocas fuentes renovables de energía con similares características físicas que los derivados del petróleo, lo que ha permitido que, usados en mezclas o directamente en los motores de combustión interna, irrumpen como una de las más importantes alternativas para la diversificación de fuentes energéticas a las que actualmente se recurre en el mercado de carburantes de muchos países.

Como se ha demostrado para el caso de otros grandes productores mundiales de biocarburantes, las políticas vinculadas a este sector pueden entenderse como una interacción de intereses entre los actores privados y públicos dominantes que se produce de forma dinámica en torno a la evolución de los mercados conexos, en el ámbito de la energía y la agricultura. Sin embargo, al haber sido siempre EE. UU. un gran productor de crudo y un gigante del refino de productos derivados, la regulación de los biocarburantes, como parte de la evolución de la política energética de este país, adquiere una forma poliédrica bastante compleja, en la que no falta la superposición de objetivos políticos. Para muchos, los instrumentos aplicados al sector de los biocarburantes como parte de la política energética general de EE. UU. responden difícilmente a una estrategia coherente de diversificación energética mediante el uso de energías renovables, ya que hay que considerar que su dinámica ha sido poco consistente con la maximización del bienestar general y con la relación coste-efectividad de las medidas adoptadas para cumplir los objetivos que pretende alcanzar (Lazzari, 2005). Sin duda, el autor hace referencia al contraste entre el aspecto normativo y el aspecto positivo de la regulación económica y social.

Desde los albores de la industria del etanol carburante y de la industria del biodiesel, la política agroenergética y la regulación económica han jugado roles determinantes en el origen y desarrollo del mercado de los biocarburantes en EE. UU. Asimismo, su influencia ha estado marcada por el comportamiento de los mercados energéticos, pero también por la situación y la política aplicada en los mercados alimentarios y por la dimensión medioambiental de su consumo en el transporte rodado. La interacción entre estos vectores ha dado lugar tanto a periodos de exigua intervención en el sector como a periodos destacados por una exuberancia de instrumentos de promoción del uso de biocarburantes. Distintos tipos de instrumentos de mandato y control, así como de instrumentos económicos, han sido aplicados en distintos periodos del desarrollo del mercado. Las intensidades de estos han variado en razón de la interacción observada entre el Estado federal y el sector agroindustrial en torno a los intereses políticos y económicos que circundan el sector agroenergético.

A simple vista, la regulación del sector de los biocarburantes en EE. UU. parece tener un componente aleatorio y hasta caótico. Sin embargo, existen elementos suficientes para reconocer que la política en el sector es producto de la interrelación entre las necesidades político-económicas que surgen dinámicamente en los mercados de la energía y los mercados alimentarios.

Sin olvidar la importancia sustancial de la política energética y medioambiental para el desarrollo de la industria de los biocarburantes en EE. UU., el presente trabajo considera que el peso significativo de algunos sectores específicos, vinculados estrechamente a la producción de materias primas, ha sido gravitante en la elección del número y en la envergadura de las políticas aplicadas para la promoción y crecimiento del sector. Este es el caso de la política agrí-

cola estadounidense y su influencia en el sector energético de los biocarburos (Cunningham, Roberts, Canis, y Yacobucci, 2013).

Los periodos de crisis energética y los cambios en la política agrícola han marcado la génesis de la actual política agroenergética para el sector del transporte, enfocada en sustituir progresivamente las costosas importaciones de crudo con biocarburos de producción nacional, así como con otras fuentes de energía autóctonas. De acuerdo con Halff (2008), las medidas proteccionistas y los subsidios al etanol pueden ser vistos como parte de una política agrícola cuya justificación estuvo enfocada desde el principio en el drama de las crisis energéticas de la década de 1970. El apoyo a la agricultura y la búsqueda de seguridad energética estuvieron íntimamente vinculados con el objetivo común de impulsar el suministro de energía nacional, así como con el fin de reducir la dependencia energética mediante una industria de biocarburos de cosecha propia, especialmente basada en el maíz.

Dado que las principales materias primas son cultivos alimentarios, el coste de oportunidad de la producción de biocarburos se verá afectado, entre otros factores, por la evolución de los mercados de productos alimentarios. De forma análoga, la decisión de destinar la producción de cultivos agrícolas a los mercados de alimentos se verá afectada por el coste de oportunidad de destinar dichos cultivos a los mercados de productos energéticos. *Ceteris paribus*, el coste de oportunidad político del Gobierno relativo al fomento del uso de biocarburos en el transporte consistiría en fomentar las importaciones de petróleo o de derivados, o en fomentar la producción nacional de hidrocarburos. La contribución central de este trabajo es demostrar que la evolución del mercado de biocarburos en EE. UU. puede ser explicada mediante unos escenarios de convergencia y conflicto que se configuran a partir de la relación entre los costes de oportunidad del Estado regulador y la agroindustria vinculada a las materias primas usadas para la producción de carburos renovables¹.

Para contrastar empíricamente las hipótesis planteadas sobre la evolución del mercado, se utiliza un modelo de análisis de intervención basado en series temporales. Analizar la información de la evolución de los mercados de biocarburos a lo largo del tiempo y explotar el patrón de regularidad que muestran los datos de la oferta y la demanda, en razón de la dependencia temporal que presentan estas variables económicas, es una fuente de información aprovechable para interpretar el valor que toman dichas variables ante el efecto de una intervención determinada por los cambios en los escenarios de convergencia y conflicto en un momento determinado. La contrastación empírica en este trabajo consiste, pues, en utilizar el análisis de intervención de series temporales para detectar e interpretar el impacto hipotético que los cambios en los escenarios de convergencia y conflicto han producido en el desarrollo del mercado, medidos sobre la variación del comportamiento de las variables dependientes analizadas.

Los resultados del análisis de intervención de series temporales indican que la forma en la que ha evolucionado la producción de biocarburos en EE. UU. es coherente con los escenarios de convergencia y conflicto planteados. Estos escenarios reflejan una relación de sincronía o asincronía de costes de oportunidad entre los principales actores, y presentan unas condiciones regulatorias y no regulatorias que varían con el paso del tiempo. En consecuencia, se infiere que la evolución de la producción está condicionada por una serie de cambios en la relación de los costes de oportunidad entre el sector agroindustrial y el Estado regulador; y,

¹ Se trata, específicamente, de un objetivo parcial de la tesis doctoral del autor, defendida en la Universidad de Salamanca (España) en el verano de 2014.

dado que el marco de análisis es extensible a otros países con condiciones de partida similares, la implementación de políticas públicas de diversificación energética en el sector del transporte debería tener en cuenta estas restricciones económicas e institucionales, tanto para el diseño e implementación de objetivos e instrumentos relacionados con políticas de transición energética como para la obtención de resultados costo-efectivos relacionados con la expansión de los mercados de energías alternativas.

En los siguientes acápites se presentará una descripción y síntesis del método analítico construido sobre la base del estudio histórico de la regulación y los mercados (desarrollado con amplitud en la tesis doctoral), así como su aplicación al estudio del mercado estadounidense, el más grande productor mundial del etanol carburante.

2. Marco analítico para el estudio de la evolución de los mercados y la regulación económica de los biocarburantes en EE. UU.

Desde el lado de la oferta, en el mercado de biocarburantes existen dos principales jugadores. El primero es el sector privado, representado de manera genérica por el sector agroindustrial relacionado con la producción de agroenergéticos. La relevancia del rol de este actor radica en que se trata del potencial productor de materias primas necesarias para obtener biocarburantes, por lo que sus decisiones económicas afectan significativamente el desarrollo del mercado de carburantes renovables obtenidos de biomasa. El segundo actor relevante es el Estado, como institución reguladora de los mercados agroenergéticos y los mercados estrechamente vinculados (agrícolas y energéticos). Este, en función de las necesidades político-económicas, se encarga de establecer los objetivos e instrumentos vinculados al sector de la energía, al sector agrícola, al medioambiente y a otros ámbitos conexos que, en un determinado contexto económico, pueden afectar las decisiones de los operadores de los mercados agroenergéticos, así como de otros operadores clave en el mercado de carburantes para el transporte.

Asimismo, se ha observado una serie de vectores que han afectado las decisiones de los principales actores ligados al desarrollo del mercado agroenergético en EE. UU. Estos vectores inciden directa e indirectamente, y de forma dinámica, en el coste de oportunidad del sector agroindustrial en relación con la producción de biocarburantes, al igual que en el coste político de oportunidad del Gobierno en relación con el establecimiento de políticas y regulaciones a favor del desarrollo de la producción de biocarburantes. Estos vectores pueden presentar tanto un carácter endógeno como exógeno.

Teniendo en cuenta que el propósito de esta investigación ha sido analizar la interacción entre la regulación y las fuerzas del mercado, se ha planteado que la influencia de estos vectores en los principales actores del mercado configura unos escenarios complejos de convergencia y conflicto entre el sector privado y el sector público, y se considera que pueden haber influido significativamente en la expansión o la contracción del mercado de biocarburantes a lo largo del tiempo. Estos escenarios no solo deberían facilitar una comprensión más clara de aquellas fuerzas que han impulsado, en determinados contextos históricos, las políticas de promoción de biocarburantes y los rasgos de la política agroenergética en torno a la bioenergía en EE. UU., sino que deben servir, principalmente, para entender los determinantes fundamentales del desarrollo y la expansión de los mercados.

A continuación, se analizará, en primer término, la racionalidad que subyace a la elaboración del marco conceptual que hemos desarrollado. Posteriormente, se examinará cómo los cambios en las relaciones de convergencia y conflicto entre los principales actores del sector; a

lo largo de los periodos de tiempo analizados, pueden ser herramientas adecuadas de análisis para interpretar coherentemente la relación entre la regulación y los mercados.

2.1. El coste de oportunidad del sector agroindustrial.

El primer vector analítico se encuentra determinado por el comportamiento económico de los productores agroindustriales de materias primas. En la búsqueda de la maximización de su beneficio, el productor debe decidir si destina los factores de producción agrícolas para cubrir la demanda emergente en los mercados energéticos o si usa los factores de producción para suministrar ambos mercados, en la proporción que sea más rentable y que diversifique de forma óptima los distintos riesgos que importa la participación en ambos mercados en un determinado momento histórico.

Tanto la decisión de suministrar materias primas como la de invertir en instalaciones para la producción de biocarburantes de primera generación para su comercialización en los mercados energéticos son decisiones que están determinadas por el coste de oportunidad de producir o destinar los factores de producción a la obtención y comercialización de productos agrícolas en los mercados alimentarios. Este coste de oportunidad puede verse afectado por la variación o estabilidad de los elementos que componen este vector; aunque está principalmente vinculado con los precios de los productos agrícolas en los mercados nacionales e internacionales, así como con las políticas que pueden reducir el efecto de estos cambios y, consecuentemente, el riesgo.

Las decisiones adoptadas estarán estrechamente vinculadas a las señales de precios de los mercados alimentarios y energéticos, así como a las políticas públicas que afectan a las cifras de beneficios, teniendo en cuenta también el potencial *trade-off* relacionado con los beneficios de los coproductos y los subproductos en ambos mercados. Como se ha adelantado líneas arriba, la información de precios no será suficiente para analizar el coste de oportunidad de los operadores de la agroindustria, ya que en algunos casos el coste de oportunidad está especialmente influenciado por la intervención estatal vinculada al nivel de protección del sector agrícola en el contexto del mercado internacional agroalimentario.

Así, las políticas que afectan los sectores agrícolas pueden distorsionar significativamente la información de los mercados y, en este sentido, pueden afectar considerablemente las decisiones de los operadores económicos, por lo que el coste de oportunidad estaría afectado también por las políticas y las regulaciones que amplifican o reducen la ventaja de producir materias primas destinadas a los mercados de energía en relación con la producción destinada a los mercados alimentarios. En este último caso, la intervención del Estado a través de las políticas públicas, principalmente mediante la definición de la política energética, agraria, medioambiental y comercial, ha tenido efectos sustanciales en las decisiones de los operadores del sector de la agroindustria, así como en otros sectores relevantes vinculados a la cadena de valor de los biocarburantes, como, por ejemplo, el sector de la industria automotriz o de la producción de bienes de capital necesarios para el desarrollo de la producción, comercialización o la logística de la cadena de valor de los biocarburantes.

El análisis de la evolución de la regulación y las políticas vinculadas a los sectores productores de materias primas permite afirmar que el grado de proteccionismo de la agroindustria alimentaria ha sido un componente importante de las relaciones de convergencia y conflicto entre los gobiernos y el sector agroindustrial que subyace al desarrollo del mercado. El análisis es extensible, igualmente, a la comprensión de gran parte de la evolución de las políticas de promoción de los biocarburantes en estos países.

Por ejemplo, si las políticas de protección pueden generar un efecto similar a una subida de los precios en relación con los mercados alimentarios, los incentivos a la producción de biocarburantes serían atenuados por estas políticas, y el coste de oportunidad de producir sustitutos de los carburantes fósiles para los mercados energéticos sería más alto, lo que reduciría los incentivos de los operadores del sector.

A menores precios de los productos agroalimentarios relativos al petróleo o a menor protección de los mercados nacionales agroalimentarios o ambos, el coste de oportunidad para producir biocarburantes del sector agroindustrial se reduce, y habrá un mayor interés del sector privado en una salida alternativa a sus materias primas.

Si, además, los precios del petróleo son bajos y estables, esta confluencia de factores se traduciría en un escenario de conflicto entre el Gobierno y el sector agroindustrial, dado que las condiciones del mercado hacen que este sea más proclive que aquel al desarrollo de políticas activas de promoción de biocarburantes. En general, las condiciones en los mercados de carburantes para el transporte acrecientan el coste político de oportunidad del Gobierno, que finalmente termina por frenar el desarrollo de una política más expansiva y, con ello, de mayores incentivos a la producción de biocarburantes para el sector privado.

En este caso, las decisiones en el sector agroindustrial estarían determinadas por el nivel de competitividad relativa de sus productos en los mercados agrícolas y en los mercados energéticos. Esto puede dificultarse cuando el Gobierno no tiene en cuenta las imperfecciones del mercado de carburantes, sobre todo la internalización de los costes sociales externos vinculados, por ejemplo, al deterioro medioambiental derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mercado del transporte rodado.

Sin embargo, si un periodo caracterizado por un creciente nivel de precios del petróleo converge con una fuerte política medioambiental, mientras que se aprecia un declive de precios de los productos agrícolas o de la protección de los mercados nacionales, el coste de oportunidad político del Gobierno y el coste de oportunidad privado del sector agroindustrial vinculado a los biocarburantes se reducirían considerable y sincrónicamente, dado que las condiciones necesarias y suficientes emergen y concurren simultáneamente en un periodo determinado de tiempo. Esta sincronía en la reducción de los costes de oportunidad configuraría, en consecuencia, un escenario de plena convergencia entre las decisiones privadas y públicas, caracterizado por unas condiciones favorables de mercado y un alto nivel de efectividad de las políticas públicas de promoción de biocarburantes, que debería coincidir; de acuerdo con el presente planteamiento, con un periodo de expansión significativa del mercado.

2.2. El coste político de oportunidad del Gobierno (Estado regulador).

Como ya se ha mencionado, el segundo vector está definido como el coste político de oportunidad del Gobierno (Estado regulador) en relación con el establecimiento de políticas de promoción de biocarburantes en el transporte rodado. Entre los principales componentes del coste político de oportunidad se encuentran el precio del petróleo y los elementos vinculados a este, como la participación en el mercado internacional de crudo, el nivel de producción nacional, la tasa de dependencia energética del sector o los objetivos económicos (relativos al equilibrio de la balanza de pagos, la competitividad de la industria, la inflación o el déficit presupuestario), las políticas de apoyo al sector agrícola o la política medioambiental y de cambio climático, entre otras dimensiones relacionadas con los mercados de productos energéticos.

La emergencia de otros vectores unitarios vinculados a los costes externos del uso de carburantes fósiles, como es el caso de la problemática medioambiental y el cambio climático, han afectado considerablemente el coste político de oportunidad de las decisiones gubernamentales para la promoción de energías renovables y biocarburentes, particularmente en los últimos periodos que marcan una trayectoria histórica de expansión de estos mercados en distintas partes de globo. En el caso de la Unión Europea (UE) y EE. UU., por ejemplo, la protección medioambiental y las políticas de abatimiento de emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a la lucha contra el cambio climático han sido importantes elementos para entender cómo ha evolucionado el coste político de oportunidad del Gobierno en relación con las fuentes de energía renovables y los biocarburentes.

Asimismo, cuando se trata de países cuya oferta energética petrolera nacional cubre una gran parte de la demanda total de crudo o cuando los precios en el mercado internacional son bajos y estables, y el riesgo de disrupción de suministro es menor; entonces el desarrollo de las políticas de sustitución energética por energías renovables en el transporte implica un alto coste político de oportunidad, y el Gobierno podría carecer de los incentivos políticos suficientes para implementar una regulación favorable al mercado de biocarburentes.

El precio del petróleo sigue siendo una fuerza considerable que afecta las decisiones políticas del Gobierno en relación con la promoción de biocarburentes. Esta condición general se ve afectada por condiciones propias que han evolucionado a lo largo del tiempo en los países desarrollados. Por ejemplo, en el caso de las grandes economías occidentales se ha observado la importancia del grado de control del mercado internacional del petróleo por parte de las *international oil companies* (IOC) y su relación de convergencia con los gobiernos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) como uno de los elementos importantes para la estabilidad de precios y de riesgos de suministro de la energía. A más control de las IOC sobre el mercado internacional del petróleo, menos políticas de promoción de biocarburentes; mientras que a menos control, más riesgo de incremento de los precios del petróleo y más políticas de sustitución energética en el transporte (alternativas que incluyen biocarburentes, pero no excluyen otras posibilidades tecnológicas como la electricidad, el gas natural, el hidrógeno, etc., e inclusive el incremento de la producción de combustibles fósiles convencionales y no convencionales).

2.3. Síntesis y marco analítico.

Analizado el comportamiento de los principales actores frente a la influencia de distintos vectores, se entiende que la relación entre los costes de oportunidad que emergen alrededor del mercado de biocarburentes es una relación dinámica cuyo desarrollo da lugar a una serie de escenarios cambiantes de convergencia y conflicto entre el sector agroindustrial y el Estado regulador; y que estos determinan la evolución final del mercado.

En la tabla 1 se puede observar esquemáticamente la relación entre los principales vectores considerados. Es posible afirmar que la convergencia o divergencia de costes de oportunidad produce distintos escenarios de convergencia y conflicto, que sintetizan las relaciones entre el sector agroindustrial vinculado a los biocarburentes y el Estado regulador. En este marco analítico general, el paso de uno a otro escenario determinaría, según la hipótesis expuesta, la forma en la que se ha desarrollado la oferta de biocarburentes en EE. UU., como se ha demostrado en otras partes de la investigación doctoral para Brasil y la Unión Europea.

La evolución de estas políticas, en conexión con los otros vectores explicativos, da muestra de la estrecha relación que puede haber entre la política energética y la política agrícola. Cuando se analizan las fuerzas motrices de las políticas de apoyo al sector de los biocarburantes emerge una relación económica subyacente, junto a la cual se evidencia la importancia creciente de las decisiones en materia de política ambiental, de desarrollo y empleo rural, o de competitividad industrial, que se acoplan para fortalecer o debilitar la relación subyacente de convergencia o conflicto. Se puede decir que el núcleo de este razonamiento se aplica indistintamente para los tres países analizados en la tesis doctoral, aun con las divergencias estructurales de sus economías, de sus sistemas energéticos en el transporte o de sus diferentes organizaciones políticas. Estas, finalmente, terminan por modular los principales vectores explicativos hasta darle consistencia lógica a la presencia o ausencia de las políticas de promoción en cada uno de los escenarios analizados, así como a la evolución del mercado.

Tabla I

Escenarios de convergencia y conflicto vinculados al desarrollo de la producción de biocarburantes en EE. UU.

Coste de oportunidad		EE. UU.	
		Sector público. Estado regulador-desregulador (E)	
Privado/público		Bajo coste político de oportunidad del Gobierno para promover biocarburantes.	Alto coste político de oportunidad del Gobierno para promover biocarburantes.
Sector privado. Agroindustria (A) EE. UU.	Bajo coste de oportunidad de producir para los mercados energéticos en relación con los mercados alimentarios	Escenario de convergencia +(A) +(E) La agroindustria maximiza su beneficio aumentando la producción de biocarburantes en relación con los productos alimentarios. El Estado alcanza sus objetivos políticos incentivando la producción de biocarburantes. Convergencia para mayores políticas de promoción de la producción de biocarburantes.	Escenario de conflicto +(A) -(E) La agroindustria maximiza su beneficio con la producción de biocarburantes en relación con los productos alimentarios. El Estado alcanza sus objetivos políticos reduciendo los incentivos a la producción de biocarburantes. Políticas de promoción de la producción frenadas desde el Estado.

	<p>Alto coste de oportunidad de producir para los mercados energéticos en relación con los mercados alimentarios</p>	<p>Escenario de conflicto: -(A) +(E)</p> <p>La agroindustria maximiza su beneficio reduciendo la producción de biocarburantes en relación con los productos alimentarios. El Estado alcanza sus objetivos políticos incentivando la producción de biocarburantes. Políticas de promoción de la producción frenadas desde la agroindustria.</p>	<p>Escenario de convergencia -(A) -(E)</p> <p>La agroindustria maximiza su beneficio reduciendo la producción de biocarburantes en relación con los productos alimentarios. El Estado alcanza sus objetivos políticos reduciendo los incentivos a la producción de biocarburantes. Convergencia de ambos para el repliegue de las políticas de promoción de la producción de biocarburantes.</p>
--	--	--	--

Nota: Elaborado a partir del análisis histórico de la regulación (directa y conexas) y de los mercados (directos y conexos) de materias primas, productos sustitutos y biocarburantes en EE. UU. realizado en *La regulación de los biocarburantes en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea. Un análisis económico e institucional* (Tesis doctoral), por J. Rodríguez Morales, 2014, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

3. Hipótesis y contrastación empírica

Teniendo en cuenta la relación de costes de oportunidad que determinan los escenarios de convergencia y conflicto entre los actores del mercado de biocarburantes, esta sección tendrá por objetivo contrastar empíricamente las hipótesis desarrolladas para explicar la evolución del mercado de biocarburantes en EE. UU., así como los posibles efectos cruzados de las políticas de promoción de los mismos. En los apartados siguientes se describirá cómo se ha realizado esta contrastación empírica. Primero, se desarrollará la idea central sobre la que se basa el planteamiento de las hipótesis y cómo estas se han construido para cada mercado analizado. Seguidamente, se ofrecerá un panorama general del método econométrico elegido y el análisis de series temporales interrumpidas. Finalmente, se hará la contrastación empírica de las hipótesis planteadas para el caso del mercado de EE. UU. mediante el uso del *software* estadístico SAS/ETS.

3.1. Desarrollo de las hipótesis e interpretación de los datos.

En concordancia con el enfoque histórico del análisis de la política agroenergética y la regulación económica efectuada en los capítulos de análisis cualitativo de la tesis doctoral, las hipótesis desarrolladas en este capítulo estarán constituidas por los diferentes escenarios de convergencia y conflicto que se considera que han marcado tanto la evolución de la regulación aplicada al sector como la propia evolución de los mercados de biocarburantes en EE. UU. desde sus orígenes hasta la actualidad. Así, sobre la base del análisis del contexto político-energético, de la regulación y de los mercados y de sus políticas relevantes, se contrastará empíricamente la

evolución de los escenarios de convergencia y conflicto que ha atravesado el sector de los biocarburantes en los países analizados. Concretamente, se evaluará cómo estos escenarios han podido afectar o no afectar la evolución de la producción de los biocarburantes a lo largo del tiempo.

Para definir las hipótesis se ha considerado una serie de variables relacionadas a la producción de biocarburantes. Así, se han tenido en cuenta la regulación y las principales políticas de ámbito nacional, la información de los mercados globales de productos alimentarios y energéticos (materias primas y productos sustitutos), y los potenciales impactos de la regulación exógena cruzada de terceros países cuando se advierta que podría haberse producido un efecto importante sobre las variables dependientes observadas.

El primer paso consiste en definir concretamente cada uno de los escenarios de convergencia o conflicto en forma de varias subhipótesis, que conformarán de manera conjunta la hipótesis general sobre la evolución de la producción que será contrastada empíricamente. La significatividad de los resultados del análisis de intervención de series temporales determinará si existe o no una base para mantener la hipótesis de que el sector de los biocarburantes ha evolucionado de acuerdo con unos escenarios de convergencia o conflicto entre los principales actores a lo largo del periodo analizado, lo que ayudará a entender la realidad político-económica que subyace al fomento de biocarburantes para el transporte en los mercados analizados.

Así, de acuerdo con el marco conceptual propuesto, un escenario del tipo convergencia positiva (+), donde se produce una convergencia de intereses entre el sector agroindustrial y el Estado, se manifiesta en un marco de condiciones regulatorias y no regulatorias que debe quedar reflejado en la serie temporal correspondiente, mediante una significativa expansión de la producción de los biocarburantes en relación con la tendencia de crecimiento o decrecimiento observada en el marco del escenario precedente. Lo contrario debería suceder en el caso de un escenario del tipo convergencia negativa (-). En este caso, la convergencia negativa de intereses en relación con la producción de biocarburantes se identificaría con un escenario de minimización de las condiciones regulatorias y no regulatorias necesarias para expandir el mercado de biocarburantes, en tanto el coste de oportunidad que representa la expansión del mercado de biocarburantes para los principales actores es demasiado alto. Los efectos de las condiciones regulatorias y no regulatorias características de este tipo de escenario deberían quedar reflejadas en una abrupta contracción de las variables de la producción en relación con el periodo anterior:

En el caso de las hipótesis que planteen escenarios de conflicto entre estos actores, las condiciones regulatorias y no regulatorias pueden variar, pero siempre están restringidas o contenidas por el actor cuyo coste de oportunidad sea tan alto como para reducir el interés en producir o consumir biocarburantes. En este caso se puede decir que las condiciones regulatorias y no regulatorias son más favorables que en un escenario de convergencia negativa, pero menos que en el caso de un escenario de convergencia positiva.

En la tabla 2 se puede observar los distintos escenarios de convergencia y conflicto en relación con las condiciones regulatorias y no regulatorias que afectarían las variables de producción en el mercado de biocarburantes. Sobre la base de estos escenarios de convergencia y conflicto se construirán las hipótesis centrales que serán materia de contrastación empírica.

Tabla 2

Escenarios de convergencia y conflicto para la elaboración de las hipótesis a contrastar

Producción de biocarburantes			
Estado-regulador	Sector agroindustrial	Característica del periodo	Condiciones regulatorias y no regulatorias vinculadas a la producción de biocarburantes
(+)	(-)	Conflicto	Restringidas
(+)	(-)	Conflicto	Restringidas
(+)	(+)	Convergencia (+)	Maximizadas
(-)	(-)	Convergencia (-)	Minimizadas

Nota: Elaborado a partir del análisis de la regulación y los mercados en Brasil, EE. UU. y la UE realizado en *La regulación de los biocarburantes en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea. Un análisis económico e institucional* (Tesis doctoral), por J. Rodríguez Morales, 2014, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

En la tabla 3 se puede observar cómo los cambios en los escenarios dan lugar a distintos efectos de diferente magnitud sobre la variable analizada. Nótese que, aunque un escenario de conflicto (+) (-) y uno del tipo (-) (+) son escenarios con características distintas, no dejan de ser escenarios de conflicto, por lo que el resultado esperado sobre la variable analizada es más difícil de predecir por medio del marco conceptual de análisis.

Tabla 3

Efectos esperados de los cambios entre los escenarios explicativos en la evolución de la variable analizada

Escenario precedente	Escenario siguiente	Resultados esperados de los cambios de escenarios en la variable analizada
Convergencia (+)	Convergencia (-)	Contracción abrupta
Convergencia (+)	Conflicto (+) (-) o (-) (+)	Contracción moderada
Convergencia (-)	Convergencia (+)	Expansión abrupta
Convergencia (-)	Conflicto (+) (-) o (-) (+)	Expansión ponderada
Conflicto (+) (-)	Convergencia (+)	Expansión abrupta
Conflicto (+) (-)	Convergencia (-)	Contracción abrupta

Nota: Elaborado a partir del análisis de la regulación y los mercados en Brasil, EE. UU. y la UE realizado en *La regulación de los biocarburantes en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea. Un análisis económico e institucional* (Tesis doctoral), por J. Rodríguez Morales, 2014, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

Por consiguiente, los escenarios de conflicto precedidos de un escenario de convergencia positiva (+) deberían quedar reflejados, como mínimo, en un descenso de la tasa de

crecimiento de la variable analizada, mientras que los escenarios de conflicto precedidos de un escenario de convergencia negativa (-) deberían quedar reflejados en un aumento de la tasa de crecimiento de la variable analizada. En el caso de que el escenario de conflicto sea el que preceda a los escenarios de convergencia, positiva o negativa, debería suceder un cambio considerable de la tendencia.

En relación con el momento del impacto exógeno vinculado a la variable producción, se ha establecido como fecha de inicio del análisis de intervención sobre la serie temporal el año en el cual se ha considerado que cambia significativamente el patrón de relación entre el Estado y el sector agroindustrial. Dichas fechas, analizadas previamente durante la elaboración de las hipótesis, no han sido elegidas arbitrariamente, sino que responden al análisis previo de los datos cualitativos y cuantitativos relevantes para determinar los escenarios en cada periodo; es decir, se basan en las condiciones regulatorias y no regulatorias observadas. Con este planteamiento se espera que los cambios significativos entre cada par de escenarios, sean de convergencia o de conflicto, queden reflejados en la variación de la pendiente, es decir, en los cambios en la tendencia de la serie.

Más allá de las variaciones puntuales que puedan surgir a lo largo de la serie temporal de la variable analizada (como pueden ser los cambios de nivel o los cambios tipo impulso observados), los cambios estructurales en los escenarios de cooperación y conflicto son recogidos por el comportamiento de las tendencias históricas, lo que determina el impacto del tipo de escenario sobre la evolución del mercado. En este sentido, las variaciones pueden ser ocasionadas por el establecimiento de una regulación puntual o el advenimiento de ciertos eventos exógenos, pero siempre estarán contenidas por una tendencia determinada que, hipotéticamente, se considera que es producto de la relación subyacente².

3.2. Análisis de intervención de series temporales.

Con el fin de contrastar las hipótesis planteadas, se utilizará el método de análisis de series temporales interrumpidas. Este método trata de incluir los cambios en el entorno de la serie temporal principal, que afectan la evolución de la serie y deben ser incorporados al modelo. Estos modelos se denominan, en consecuencia, modelos con intervención; y el análisis efectuado, análisis de intervención de series temporales o análisis de series temporales interrumpidas. El análisis de intervención puede ser visto como un tipo de análisis de regresión en el cual a una o más variables de predicción observadas en distintos puntos de tiempo se les atribuye un impacto sobre la variable de respuesta observada, comparando las observaciones antes y después de algún evento que haya sido identificado previamente (McDowall, McCleary, Meidinger y Hay, 1980).

Para estudiar los cambios que la variable dependiente presenta en el tiempo, la línea base debe ser estable, por lo que es necesario que la serie temporal muestre un periodo de registro de observaciones previas a la intervención lo suficientemente extenso para asegurar un periodo base (Crosbie, 1993). La fase de intervención parte del evento que determina la interrupción de la serie, para lo cual es muy importante estudiar la variabilidad, que generalmente estará expresada en cambios de la tendencia (McDowall *et al.*, 1980). En relación con los efectos en la serie temporal, las intervenciones difieren tanto en el comienzo del impacto, que

2 La tendencia regular indica una marcha general y persistente del fenómeno observado, y es un componente de la serie temporal que refleja la evolución a largo plazo. Véase Gottman (1981).

puede ser abrupto o gradual, como en la duración, que puede ser permanente o solo temporal (Neustrom y Norton, 1993).

La conexión entre una intervención y sus efectos se llama función de transferencia. A diferencia de los modelos univariantes, en los que se modela la serie como un filtro mediante una combinación de valores pasados y presentes, en los modelos de función de transferencia, los valores pasados y presentes de una serie se relacionan con valores de otra serie. En el caso de una intervención en forma de impulso, el efecto es denominado función de impulso o función de pulso, mientras que un cambio abrupto en el comienzo y una duración permanente o larga se denomina función *step* o de cambio de nivel. Dado que hay dos niveles de duración, permanente y temporal, así como dos niveles de inicio, gradual o abrupto, las intervenciones pueden tener cuatro posibles combinaciones de efectos. El análisis de intervención requiere una variable *dummy* que revele la aparición del evento. En el caso de un indicador de impulso, un código de 1 es aplicado en la columna de la variable *dummy* en un solo momento de la intervención, mientras que un código de 0 se aplica a todos los demás periodos. Cuando se trata de una intervención con un efecto largo, se espera que la duración del efecto persista, por lo que las observaciones que se encuentren antes de la intervención tendrán un código de 0, mientras que las observaciones que se encuentren desde el periodo de intervención en adelante tendrán un código de 1 (McDowall et al., 1980).

El modelo más general de intervención de series temporales (Box y Tiago, 1975) está dado por la siguiente ecuación:

$$\phi(B) (Y_t - \mu - F(\omega, \delta, X, t)) = \theta(B)\varepsilon_t \quad (1)$$

En ella, B es el operador del retardo definido por $BY_t = Y_{t-1}$, $\phi(B) = 1 - \phi_1(B) - \phi_2(B)^2 - \dots - \phi_p(B)^p$, $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$; $\{\varepsilon_t\}$ es una serie de ruido blanco, independientemente y normalmente distribuida con media cero y varianza $\sigma^2 > 0$; las raíces de $\phi(B)$ y $\theta(B)$ se encuentran fuera del círculo unitario; $X = X_t = [X_{1t}, \dots, X_{kt}]$ es una colección de variables de intervención; y

$$F(\omega, \delta, X, t) = \{(\omega_i(B)/\delta_i(B)) X_{it}\} \quad (2)$$

En esta ecuación, $\omega_i(B)$ y $\delta_i(B)$ son polinomios en B con raíces fuera del círculo unitario, y la ratio $\omega_i(B)/\delta_i(B)$ se refiere a la función de transferencia correspondiente a la variable *input* X_{it} . El modelo puede ser expresado de la siguiente forma:

$$Y_t = \mu + F(\omega, \delta, X, t) + \pi(B)\varepsilon_t \quad (3)$$

donde

$$\pi(B) = \theta(B)/\phi(B) = 1 - \pi_1(B) - \pi_2(B)^2 - \dots$$

El modelo puede ser generalizado para incluir comportamientos no estacionarios. Así, para las series no estacionarias, $\phi(B)$ puede incluir un operador de diferenciación. El *factoring* habitual despliega el polinomio característico para un componente autorregresivo como un producto de la estacionaridad o de la no estacionaridad de los polinomios característicos. El modelo general no estacionario está dado por

$$\varphi_1(B)(\varphi_2(B)Y_t - \mu - \varphi_2(B)F(\omega, \delta, X, t)) = \theta(B)\varepsilon_t \quad (4)$$

que puede ser expresado como

$$\varphi_1(B)\varphi_2(B)(Y_t - F(\omega, \delta, X, t)) = \theta_0 + \theta(B)\varepsilon_t,$$

donde

$$\begin{aligned} \varphi_1(B) &= 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p, \\ \varphi_2(B) &= B^d, \\ \theta_0 &= \mu\varphi_1(1) = \mu(1-), \end{aligned} \quad (5)$$

Los modelos de intervención derivados de este modelo general permiten analizar el patrón de regularidad con el fin de observar el impacto de variables exógenas o independientes que hayan podido afectar el comportamiento de la serie a lo largo de su evolución en el tiempo (Box y Tiago, 1975). Para que sea posible realizar el análisis de intervención, los modelos deben ser estacionarios. Muchas series temporales en economía presentan una marcada tendencia en el largo plazo, como el caso de las series analizadas en este trabajo. El uso de operadores de diferenciación en el análisis de intervención permite abordar el problema de la no estacionariedad de las series temporales y eliminar la tendencia. Asimismo, un análisis comprensivo de los residuos puede ayudar a elegir el modelo apropiado (Woodfield, 2000).

Modelar la variable de respuesta en un análisis de intervención es más complicado que modelar la variable de respuesta en un análisis de series temporales univariadas. En un análisis de series temporales univariadas se puede usar modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA), que tienen la forma

$$\phi(B)(Y_t - \mu) = \theta(B)\varepsilon_t \quad (6)$$

o bien, equivalentemente,

$$\phi(B)(Y_t - \mu) = \theta_0 + \theta(B)\varepsilon_t, \quad (7)$$

donde

$$\theta_0 = \mu\phi(1) = \mu(1-). \quad (8)$$

Los modelos ARIMA representan una aproximación al comportamiento real de la serie temporal. Estos modelos tratan de recoger los patrones subyacentes, derivados de la dependencia temporal de la serie para predecir su comportamiento. Cuando estos modelos son utilizados en el análisis de intervención de series temporales, la estructura del error es modelada simultáneamente con la serie de respuesta. El término del error es denotado por:

$$\eta_t = Y_t - \mu - F(\omega, \delta, X, t). \quad (9)$$

Así, la ecuación 1 puede establecerse de la siguiente forma:

$$\phi(B) \eta_t = \theta(B) \varepsilon_t$$

Para determinar la naturaleza de los componentes de la función de transferencia, usualmente se analiza gráficamente la variable de respuesta y se intenta diagnosticar la forma del impacto de la intervención. Si no se detecta ningún comportamiento determinístico obvio, el procedimiento más habitual continúa con un nuevo proceso de prueba y error.

En la tabla 4 se pueden observar algunos de los más comunes tipos de intervención y sus funciones de transferencia. Las variables de intervención usadas están definidas por:

$$I_t = 0 \text{ para } t < T, \\ = 1 \text{ para } t \geq T;$$

$$J_t = 0 \text{ para } t \neq T, \\ = 1 \text{ para } t = T.$$

Tabla 4

Funciones comunes de transferencia de intervención

Tipo del impacto	Función de transferencia	Variable de Intervención
Abrupto, permanente	Ω	I_t
Abrupto, temporal	$\omega/(1 - \delta B), 0 < \delta < 1$	J_t
Gradual, permanente	$\omega/(1 - \delta B), 0 < \delta < 1$	I_t
Gradual, permanente	$\omega_0 + \omega_1 B + \dots + \omega_r B^r$	I_t
Oscilatorio, permanente	$\omega/(1 - \delta B), 0 < \delta < 1$	I_t

Nota: Adaptado de *Time series intervention analysis using SAS software*, por T. Woodfield, 2000, SAS Institute Inc.

Con el fin de realizar la contrastación empírica de las hipótesis sobre los efectos de los escenarios de convergencia y conflicto, se ha utilizado el *software* estadístico SAS/ETS, que ofrece una amplia gama de herramientas y técnicas econométricas para el modelado, la simulación y la predicción de series temporales. Con las herramientas del Sistema de Predicción de Series Temporales (TSFS), se ha realizado una serie de ajustes para modelar las series temporales de las variables en cuestión. La flexibilidad del *software* SAS/ETS permite considerar todos los enfoques en el proceso de modelación de la serie.

Siguiendo las pautas metodológicas del análisis de intervención de series temporales, se ha dividido en dos partes cada contrastación. La primera tiene como fin presentar la idoneidad o adecuación del modelo elegido de manera previa al análisis de estimación de los parámetros y su relación con las hipótesis planteadas. Si el modelo candidato supera las exigencias iniciales, se podrá pasar a realizar el análisis de la estimación de los resultados. En esta fase final, la estimación de los parámetros resultante del ajuste de la serie temporal de la variable en cuestión será analizada para verificar si es coherente con las hipótesis planteadas para explicar el desarrollo del mercado de biocarburantes, así como para observar si hay efectos cruzados significativos de la regulación en algún periodo.

3.3. Análisis empírico de la regulación del mercado de biocarburantes en EE. UU.

Siguiendo las mismas pautas metodológicas aplicadas en el caso del análisis del mercado de biocarburantes brasileño, en este punto se plantearán y contrastarán empíricamente las hipótesis sobre el desarrollo del mercado de biocarburantes en los Estados Unidos. Mediante el análisis de intervención de las series temporales de producción de etanol carburante, se comprobará si las hipótesis desarrolladas para explicar la evolución de la producción, planteadas en términos de escenarios de convergencia y conflicto entre el Estado federal y el sector agroindustrial del maíz, son consistentes con los datos del mercado. En el caso de EE. UU., el número de observaciones solamente permite hacer este análisis de series de tiempo para el mercado del etanol carburante de maíz.

3.3.1. Hipótesis sobre el desarrollo de la producción de etanol carburante en EE. UU.

En este punto se desarrollarán las hipótesis basadas en el planteamiento de las relaciones subyacentes de convergencia y conflicto entre el Gobierno federal (Estado regulador) y el sector agroindustrial del maíz, de acuerdo con la evolución de la interacción entre los costes de oportunidad a lo largo del periodo analizado. Las hipótesis que se plantean a continuación constituyen, a la vez, una construcción teórica y una síntesis del análisis histórico de las políticas, regulaciones y datos de mercado, correspondientes a un periodo que comprende todo el siglo XX hasta la actualidad (Rodríguez Morales, 2014). Finalizado este proceso de análisis y síntesis, se analizará su relación con el desarrollo de la producción de etanol carburante en EE. UU.

3.3.1.1. Periodo desde inicio del siglo XX hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial. Escenario de conflicto para la producción de biocarburantes en EE. UU.: (-) Estado (+) sector agroindustrial. Aunque durante la Primera Guerra Mundial el sector agrícola continuaba su expansión como resultado de un mayor cultivo de la tierra y las mejoras tecnológicas, con el fin de la guerra sobrevino el declive de la demanda europea de productos agrícolas, lo que impactó en los productores estadounidenses. El fin de la guerra y la caída de la demanda iniciaron el colapso de los precios en la década de 1920, suceso que dio lugar a una gran crisis económica en el sector agrícola. Esta situación fue seguida de la Gran Depresión de la década de 1930, que condujo a un recrudescimiento de la crisis del sector. El Gobierno federal respondió mediante la intervención de los mercados a través de programas de emergencia para los sectores industriales y agrícolas en el marco de la política económica conocida como el *New Deal* (USDA-ERS, 1985).

Sin embargo, los programas del *New Deal* no resolvieron el problema de los bajos precios de los productos agrícolas, que era consecuencia de las condiciones de la oferta y la demanda desencadenadas tras la depresión económica global. Para Bowers, Rasmussen y Baker (1984), las medidas del *New Deal* fueron inclusive contraproducentes, ya que las ayudas para el incremento de los precios llevaron al aumento de la producción, pero también a una reducción de la cantidad demandada. Aun cuando los agricultores tenían un alivio en el corto plazo, esas medidas exacerbaban las condiciones que perpetuaban el problema de sobreproducción de los cultivos de granos como el maíz y demás productos agrícolas en el mediano y largo plazo. En este contexto, las materias primas para la producción de biocarburantes sufrían un problema de sobreproducción que afectaba finalmente los precios de los productos agrícolas y la renta de los agricultores (Bowers *et al.*, 1984).

En relación con el sector energético, el incipiente mercado estadounidense de carburantes y la posterior inestabilidad del mercado internacional de crudo, debida principalmente a las

conflagraciones mundiales en Europa, permitió que el etanol carburante obtenido de maíz en EE. UU. fuera utilizado en mezclas carburantes, y en algunos estados fue una alternativa al uso de derivados del petróleo en el mercado de carburantes para el transporte durante estos años. La derogación, en 1906, del impuesto al etanol permitió al biocarburiante ser más competitivo en un mercado de carburantes fósiles que progresivamente iba dominando el consumo interno mediante el incremento de la producción nacional de crudo y la expansión de la oferta en el mercado internacional (US DOE, 2013).

La caída de la demanda alimentaria tras la Primera Guerra Mundial marcó la crisis del sector agroindustrial de los años 1920. El inicio del uso del etanol para aumentar el octanaje de la gasolina y, posteriormente, la gran depresión económica durante la década de 1930 fueron factores importantes para entender el incremento de la producción de etanol carburante. La demanda de etanol, como en otros casos de crisis, representaba una salida a la producción y un amortiguador del bajo nivel de precios de los productos agroalimentarios. Hacia 1930, alrededor de 2 000 estaciones de servicio del Medio Oeste vendían gasohol en mezclas que contenían entre 6% y 12% de etanol. Así, el incremento de la demanda de carburantes hasta fines de la Segunda Guerra Mundial propició el incremento del uso del etanol como aditivo de la gasolina³.

Sin embargo, la política energética de aquella época estaba más enfocada en el desarrollo de la producción nacional de crudo y sus derivados como las principales fuentes de energía primaria en que se iría asentando la nueva matriz energética estadounidense. Para ello, se estableció una serie de instrumentos de carácter económico que tenían por objeto reducir los costes de exploración, extracción y producción de los carburantes fósiles para las compañías que operaban en EE. UU. Asimismo, la diversificación y el incremento del suministro energético a causa de la expansión de la producción de las IOC estadounidenses y europeas incrementó la competencia en un mercado de derivados del petróleo en el que la producción nacional estaba subsidiada por el Gobierno. Este escenario reducía en gran medida la competitividad y la posibilidad de que el etanol carburante se expandiera más en el mercado. Aunque su presencia era importante en los estados pertenecientes al *Corn Belt* del Medio Oeste (grandes productores de maíz), era menor en los estados predominantemente consumidores de productos energéticos, mientras que casi desaparecía por completo en los estados productores de petróleo y derivados (Hudson, 1994).

El apoyo gubernamental al sector mediante la nueva política agrícola fue un alivio para el sector agroindustrial y determinó, en gran medida, la prevalencia del uso alimentario del maíz sobre su uso energético para la obtención de etanol, aunque el factor más importante del contexto fuera el bajo y, posteriormente, estable precio del petróleo. Para el Gobierno, la solución de la crisis del sector agroindustrial no incluiría la alternativa del etanol para el transporte rodado, dado que la política energética estaba centrada en el desarrollo de la producción y el consumo de petróleo. Era más importante asegurar el suministro estable de alimentos en un nuevo marco menos liberalizado de la política agraria y con una mayor protección para el sector. Estos factores afectaron las condiciones necesarias para que el sector agroindustrial decidiera incrementar la producción de etanol carburante. Una vez iniciada la denominada época dorada del petróleo, sobrevinida algunos años después del fin de la Segunda Guerra Mundial,

3 La producción en serie del modelo T sería un factor importante en el uso del etanol durante este periodo, porque este modelo era capaz de consumir tanto gasolina como etanol en mezclas (gasohol). Véase US DOE (2013).

los bajos precios del crudo condujeron a la pérdida total de la competitividad del etanol, seguida de su desaparición en el mercado.

3.3.1.2. Periodo desde la posguerra hasta 1973. Escenario de convergencia negativa (-) para la producción de biocarburantes en EE. UU.: (-) Estado (-) sector agroindustrial.

Con las nuevas políticas de protección del sector agrícola y con una política energética basada en el uso del petróleo como principal fuente de suministro energético en el transporte rodado, los incentivos a la producción de etanol carburante decayeron drásticamente, por lo que la relación entre Estado y sector agroindustrial pasó de un escenario de conflicto a un escenario de convergencia negativa, donde no había interés de los actores relevantes en el uso del maíz o de otros cultivos para la producción de biocarburantes. Ni el Estado creía necesario promover el uso del etanol carburante, dadas las condiciones en el mercado de la energía (basado en el petróleo), ni tampoco el sector agrícola vinculado al maíz necesitaba una salida alternativa para la producción de materia prima, ahora protegida por el desarrollo de la política agrícola federal.

Como se ha mencionado en la primera parte de esta sección, el periodo comprendido entre la posguerra y la llegada de la crisis del petróleo fue determinante para la consolidación del carburante fósil en la matriz energética de los países industrializados. El incremento de la producción nacional y la expansión de las IOC de EE. UU. permitieron estabilizar y reducir el coste energético del consumo de petróleo. La política energética estuvo basada en la apertura de los mercados y en el incremento de las importaciones de petróleo en condiciones de competitividad excluyentes para cualquier otra alternativa energética, especialmente en el mercado de carburantes para el transporte. La política estadounidense, como en otros países de la OCDE, se orientaba a mantener los precios de petróleo lo más bajos posible. La economía energética de EE. UU. permaneció vinculada al petróleo como fuente principal de energía primaria en todos los sectores industriales y, especialmente, en el sector del transporte rodado. EE. UU. basaba fuertemente su política de consumo energético de largo plazo en el control del suministro petrolero de sus IOC, así como en el incremento de la producción nacional. Ante esta situación, los incentivos a la producción de biocarburantes eran inexistentes (Vietor, 1987).

Desde el punto de vista del sector agroindustrial, los productores de maíz y otras materias primas agroenergéticas tampoco tenían demasiados incentivos para invertir en la producción de biocarburantes para abastecer los mercados de energía. Por un lado, el sector se encontraba en una mejor situación, dado el nivel de protección que recibía por parte del Gobierno federal. La consolidación de las políticas de protección del sector agrícola mediante la intervención del Gobierno debilitó los incentivos a la producción de biocarburantes. La producción de etanol, que había sido la válvula de escape a los problemas del sector agroalimentario del maíz y de otras materias primas durante el periodo anterior, presentaba en este periodo un mayor coste de oportunidad debido al incremento de la protección de los productos agroalimentarios. La protección de los precios del maíz y otros cereales fue un objetivo expreso de la nueva política agrícola en EE. UU. puesto en marcha mediante una serie de mecanismos de control de la producción y subsidios de distinta naturaleza para los productores. Estas medidas, aunque no eliminaron el problema de sobreproducción de sectores como el del maíz, sí beneficiaron a los productores agrícolas, por lo que las políticas de subsidios se mantuvieron (USDA-ERS, 1985).

La política de protección agraria estadounidense a favor de los sectores agroindustriales vinculados a la producción de cultivos agroenergéticos reducía el riesgo de la competencia en

los mercados alimentarios, lo que afectaba las decisiones de producción de los agricultores (incluyendo las distorsión de las decisiones de producción de otros productos como el etanol con el objeto de diversificar los mercados) y perpetuaba el desequilibrio entre la producción y el consumo en el sector agrícola estadounidense. Por otro lado, la estabilidad y los bajos precios del petróleo hacían imposible superar la competitividad de los derivados del petróleo mediante carburantes alternativos basados en biomasa. Dadas las condiciones del mercado de carburantes y de productos alimentarios, el etanol no era una alternativa económicamente racional para los productores de maíz, y tampoco era necesario para la política petrolera del Gobierno. Esto prácticamente excluyó del mercado al etanol carburante hasta después de la entrada en la crisis de la década de 1970.

3.3.1.3. Periodo de 1973 a 1986. Escenario de conflicto para la producción de biocarburentes en EE. UU.: (+) Estado (-) sector agroindustrial.

Como consecuencia de la política aplicada durante la posguerra, la dependencia energética de EE. UU. a las importaciones de petróleo se incrementó notablemente durante este periodo. La ausencia de una política de diversificación de suministro y fuentes primarias dejó a EE. UU. en manos de los países productores una vez que cambiaron las condiciones estructurales en el mercado internacional de crudo. Cuando las IOC empezaron a perder el control de mercado ante el incremento del nacionalismo sobre los recursos energéticos y naturales en los países productores, el surgimiento progresivo del conflicto entre las compañías occidentales y los *host countries* incrementarían considerablemente la vulnerabilidad de EE. UU. frente al coste de la energía.

El choque exógeno sobre la economía estadounidense sobrevenido tras la crisis del petróleo tuvo un impacto profundo en la política energética estadounidense. La alta dependencia de las importaciones de crudo y la baja elasticidad de la demanda de petróleo en el corto plazo agudizaron los efectos del incremento abrupto de los precios de la energía. La paulatina pérdida de control del mercado internacional de crudo por parte de las IOC estadounidenses hizo más inestable el suministro para las economías occidentales. El impacto del abrupto incremento del coste de la energía promovió el inicio de una política de diversificación de fuentes y suministro, por lo que se estableció, por primera vez, una serie de incentivos económicos para el desarrollo de fuentes energéticas alternativas y renovables, que se daba en el marco de una política de expansión de la producción nacional de hidrocarburos para reducir el coste económico de las importaciones de productos energéticos⁴. A inicios de 1981, el Gobierno de EE. UU. respondió a la segunda crisis del petróleo eliminando, por primera vez en 10 años, los controles de precios y de asignación aplicados sobre la industria petrolera; con ello, las fuerzas del mercado reemplazaron los programas regulatorios y permitieron el incremento de precios en el nivel del equilibrio de mercado. Asimismo, la eliminación de controles en el sector de los hidrocarburos promovió el relajamiento de las restricciones a las exportaciones de productos petroleros. En la figura 1 se puede observar cómo se incrementa el coste de la dependencia energética tras la crisis del petróleo en EE. UU.

4 Véase: Public Law 95-618 de 1978 y Public Law 96-223.

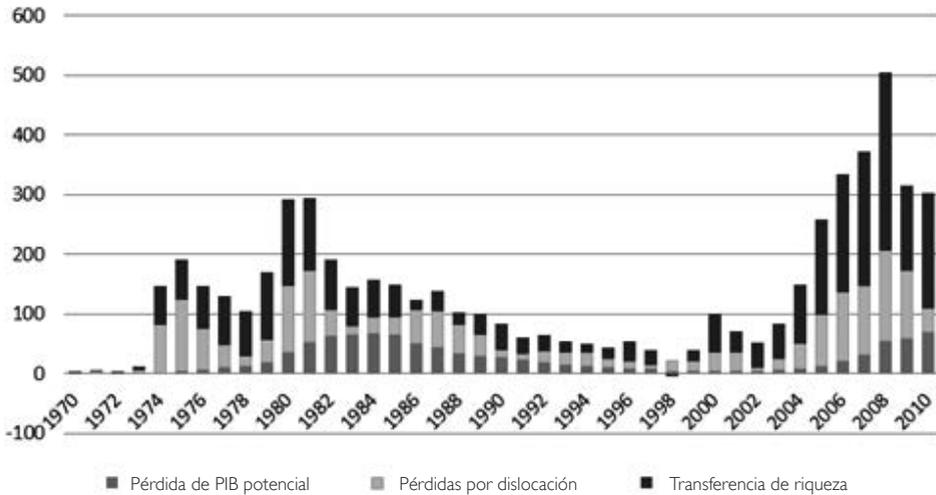


Figura 1. Coste de la dependencia en el petróleo de la economía estadounidense (1970 a 2010). Elaboración propia a partir de Green et al. (2011).

Con el reconocimiento del etanol como oxigenante de la gasolina y producto sustituto del plomo, el Gobierno decide establecer instrumentos económicos, como exenciones y créditos fiscales, para fomentar y estimular el incremento de la producción de etanol. Así, en 1978 se establece una exención fiscal parcial de 4 centavos por galón de gasohol mezclado al 10 % con etanol (o 40 centavos por galón de etanol puro), aplicable sobre el impuesto selectivo a la gasolina. Asimismo, se estableció un crédito fiscal aplicable por la misma cantidad sobre el impuesto a la renta; y en 1980, un arancel a las importaciones de etanol carburante por el mismo monto de los incentivos fiscales, con el fin de restringir la competencia externa⁵. Estas medidas darían lugar a un gradual desarrollo del mercado de aditivos a la gasolina (distintos del plomo), lo que abría la puerta de los mercados energéticos al etanol carburante obtenido de maíz. Sin embargo, la política y la situación de los mercados alimentarios reducirían el impacto de estas medidas de expansión.

Desde el punto de vista del sector agroindustrial, a la alta protección otorgada por la política agraria estadounidense se sumaba el periodo del *boom* de los productos agrícolas durante la década de 1970. En este contexto político y económico, los mercados energéticos no representarían una clara necesidad para los productores del sector agrícola vinculados al maíz. Aun cuando las décadas siguientes a la Segunda Guerra Mundial dieron lugar a numerosos ajustes a la política agrícola de EE. UU., los cambios introducidos por la enmiendas fueron relativamente menores en relación con la estructura básica de los programas de ayuda al sector agrícola establecidos principalmente en la consideradas leyes agrícolas permanentes (*Agricultural Adjustment Act of 1938* y la *Agricultural Act of 1949*), que establecían conjuntamente un alto nivel de protección del sector agrícola. Asimismo, el *boom* de los precios de los productos agrícolas a inicios y finales de la década de 1970 sirvió para que el Gobierno eliminara los *stocks* federales y permitiera un breve periodo de incremento de la producción y de bajo nivel de *stocks* para aprovechar el contexto de

5 Véase: Public Law 96-499 de 1980.

mercado muy favorable para los agricultores estadounidenses (Bowers *et al.*, 1984). Considerando los mercados y la política agrícola durante este periodo, el coste de oportunidad de destinar una mayor parte de la producción a los mercados energéticos era alto, aun con el establecimiento de los incentivos económicos y regulatorios en favor del incremento de aditivos en la gasolina. Teniendo en cuenta ambos vectores, el escenario subyacente al desarrollo del mercado de biocarburantes en EE. UU. durante este periodo fue predominantemente de conflicto.

3.3.1.4. Periodo de 1986 al 2002. Escenario de conflicto para la producción de biocarburantes en EE. UU.: (-) Estado (+) sector agroindustrial.

Sin embargo, cuando los precios del petróleo volvieron a declinar desde 1986 en adelante, la voluntad del Gobierno para maximizar el desarrollo de la industria de biocarburantes aminoró. En el caso del sector agroindustrial, los precios de los productos agrícolas disminuyeron tras el fin del *boom* de los años 1970 y se inició un periodo de cuestionamiento del proteccionismo tradicional del sector; tanto en el plano interno como en el contexto internacional del comercio agrícola. Esto conduciría a una serie de reformas que debilitaría gradualmente el proteccionismo del sector agroindustrial, lo que, sumado a los ajustes en el mercado internacional de productos agrícolas, expondría a los sectores con mayores problemas de excedentes a las fluctuaciones de precios de los mercados agrícolas. Este era especialmente el caso del sector del maíz estadounidense.

Aun cuando existían algunas políticas de apoyo al sector de los biocarburantes, las medidas no iban a ser completamente satisfactorias para el sector agroindustrial del maíz, dado que estos productores necesitaban que los mercados de energía absorbieran una mayor parte de los excedentes de producción que terminaban afectando a la baja los precios de los productos. En este escenario de conflicto, sin embargo, las medidas adoptadas introducirían gradualmente al etanol en el mercado de aditivos oxigenantes, justificadas expresamente en la protección medioambiental y la seguridad energética, pero implícitamente como forma de apoyo al sector agrario (US-EPA, 2012). Estas medidas sentarían las bases para el despegue meteórico de la industria del etanol de maíz estadounidense, que sobrevendría de la mano del nuevo incremento de los precios del crudo a inicios de la década de los 2000.

Durante los años 1990, aun con el reconocimiento de la tríada de objetivos en el sector energético (seguridad energética, desarrollo económico y medioambiente como el motor político de la promoción de las energías alternativas), el apoyo a los biocarburantes fue incrementándose solo gradualmente. Esto se debió, principalmente, a que los bajos precios del crudo todavía no permitían desencadenar un mayor apoyo del Gobierno federal a la producción de biocarburantes y otras energías alternativas. Entre las principales medidas tomadas durante la década de 1990 se encontraban muchos incentivos fiscales para el sector energético, tanto para energías convencionales como renovables. En el caso de los carburantes alternativos, la ley expandió el crédito para los carburantes no convencionales e introdujo el crédito fiscal para los pequeños productores de etanol utilizado como carburante, establecido en 10 centavos por galón de etanol y limitado a los 15 primeros millones de galones⁶.

Asimismo, con la regulación medioambiental para la oxigenación de los carburantes establecida en los Programas de Gasolina Reformulada y de Carburantes Oxigenados en 1990,

6 Véase: Public Law 101-508, Omnibus Budget Reconciliation Act of 1990.

se requeriría al menos un 2% de componentes oxigenantes en la gasolina, lo que incrementó principalmente la demanda del MTBE (un producto de la industria de hidrocarburos) y, en menor medida, de etanol en el mercado de aditivos a la gasolina⁷.

Con todo ello, los intentos del Gobierno federal de redistribuir los costes de la dependencia en el petróleo estarían contenidos por un periodo de bajos precios del crudo de petróleo, que influiría en las decisiones de desarrollo del sector del etanol, así como de otros carburantes renovables. El precio del crudo nacional de petróleo fue uno de los más bajos de la historia, pues apenas llegó a alrededor de los USD 10 por barril en el invierno de 1998-1999, de tal forma que, entre 1986 y 1999, el precio medio por barril fue de USD 17. Este nivel bajo de precios no solo afectaba a los productores de petróleo y beneficiaba a los refinadores de crudo, sino que fortalecía el consumo de derivados del petróleo, lo que afectaba negativamente el despegue de la inversión en tecnologías de ahorro y eficiencia energética, así como en el incremento de la producción y el consumo de carburantes alternativos y renovables (Lazzari, 2006).

Desde el punto de vista de sector agroindustrial, luego del *boom* de precios de los productos agrícolas y de un paréntesis liberalizador de la producción, los precios colapsaron desde la segunda mitad de los años 1980. Esto favoreció el retorno a las políticas de acumulación masiva de *stocks*, los pagos de compensación por bajos precios, los subsidios a las exportaciones y los programas de control de la producción mediante la inactividad en el uso de tierras cultivables, medidas que, en cualquier caso, no terminaban de solucionar el problema de sobreproducción en el sector. En la década de 1980 era visible que el control de la oferta de productos agrícolas no era un instrumento eficaz en la ayuda del sector agrícola (Sumner, 2000). La desafección del sector agroindustrial de EE. UU. en relación con la baja efectividad de los programas e instrumentos de ayudas al sector durante el colapso de precios de inicios de los 1980 era un motivo para buscar salidas complementarias a las ayudas gubernamentales a la agricultura, como la producción de etanol carburante.

Asimismo, las políticas agrícolas eran más costosas y menos sostenibles en la esfera del comercio internacional, y su aplicación tenía efectos contraproducentes para el propio sector agrícola. Mientras que las ayudas a la agricultura fomentaban un incremento de producción superior a la demanda que generaba excedentes de producción crecientes, esta oferta regulada presionaba a la baja los precios internacionales de los productos agrícolas, lo que encarecía la recolocación de los excedentes y el coste de las mismas políticas (Sumner, Arha y Josling, 2007).

Con la política agrícola aplicada entre los años 1985 y 1996, el Gobierno federal continuó renunciando a aplicar el mecanismo de tierras de retirada, el apoyo a los precios de mercado de los productos agrícolas y la acumulación de *stocks* por parte del Gobierno, cambios que perpetuarían los problemas de sobreproducción. Asimismo, la situación de los precios de los carburantes y la extensión de los aranceles especiales a las importaciones de etanol mejoraban el escenario para los productores nacionales de maíz y etanol. Con la *Food, Agriculture, Conservation and trade Act* de 1990 y la *Omnibus Reconciliation Act* se continuó la senda marcada por las políticas aplicadas desde 1985. Las preocupaciones presupuestarias y las cuestiones políticas condujeron a una reducción de los pagos y de las ayudas a los precios y a una mayor flexibilidad en los niveles de producción agrícola, lo que incrementó el nivel de producción de etanol.

7 Véase: Public Law 101-549.

En el contexto internacional, aumentaba la presión sobre la tradicional política de protección agrícola estadounidense⁸. Los acuerdos comerciales de la Ronda de Uruguay que buscaban fomentar una mayor liberalización del mercado internacional de productos agrícolas quedarían recogidos mediante la *Public Law 103-465* de 1994 en la legislación estadounidense. Estos atisbos de plena liberalización eran desfavorables para el tradicionalmente protegido sector agrícola estadounidense, que consideraba que las nuevas reglas de comercio provenientes de las negociaciones multilaterales perjudicarían a los agricultores de *commodities* como el maíz, los cereales y las oleaginosas debido a que decaería el nivel de protección y de ayudas (Gardner, 2000).

Los problemas presupuestarios de aquellos años y una optimista proyección sobre los precios de los productos agrícolas justificaron un reajuste de las medidas aplicadas en el sector agrícola. La *Federal Agriculture Improvement and Reform Act* de 1996 fue un intento de cambiar el curso de la política agraria reduciendo sustancialmente las políticas de ayuda al sostenimiento de los precios y de los pagos a los productos agrícolas, aunque la caída de precios desde 1998 dio lugar a una reanudación de la política tradicional de subvenciones y ayudas al sector⁹.

Al final de la década de 1990, se consolidaron y reforzaron los cambios en los programas al relajar los requerimientos para las plantaciones de los cultivos previstos en los programas (como el maíz y la soja), al eliminar las ayudas a los precios y los programas de almacenamiento público de *stocks* de los programas de los cultivos, y al iniciar la eliminación anual de los programas de retirada de tierras. Estas medidas continuarían exacerbando el problema de sobreproducción de cultivos como el maíz, que para EE. UU. había presentado los mayores problemas de excedentes de producción.

A pesar de que los mercados y la política agrícola durante este periodo redujeron el coste de oportunidad del sector agroindustrial del maíz para la producción de etanol, la convergencia de los intereses del Gobierno federal sobre la nueva política energética y los intereses particulares de los productores de materias primas se vieron afectados por el bajo nivel de precios del petróleo durante este periodo, que dio lugar a un escenario de conflicto entre ambos actores. Aunque el Gobierno apoyaba la producción de biocarburos, los bajos precios del crudo y de sus derivados contuvieron la amplitud y la envergadura de las medidas de apoyo al sector, necesarias para el incremento del consumo y la producción a gran escala del etanol carburante.

3.3.1.5. Periodo de 2002 a 2010: Escenario de convergencia positiva (+) para la producción del etanol carburante en EE. UU.: (+) Estado (+) sector agroindustrial.

El incremento abrupto de los precios del petróleo a causa de la recuperación de la disciplina de cuotas de producción de la OPEP y la consecuente caída de los precios de los principales *commodities* agrícolas en el mercado global, impulsada por la sobreproducción de maíz y otros productos en el sector agrícola en un contexto de gradual liberalización de los mercados agrícolas, brindaron un escenario óptimo de convergencia entre el sector agrícola y el energético. En este escenario, la envergadura de las políticas de promoción de biocarburos respondían a la necesidad de sustitución de las importaciones de crudo en el marco de la política de diversificación energética, así como a la necesidad de colocar los excedentes de producción de

8 Véase: Sumner (2008).

9 Véase: Darril, De la Torre Ugarte y Tiller (2003).

maíz y otros granos fuera de los mercados alimentarios, tanto para colocar dichos excedentes en nuevos mercados como para mantener los precios de los *commodities* agrícolas en un nivel más alto, al ajustar la oferta agrícola a la demanda de energía en el sector del transporte.

Los compromisos de reducción de las ayudas a la agricultura que más distorsionaban el comercio internacional adoptados tras los acuerdos derivados de la Ronda de Uruguay limitaron la discrecionalidad de las ayudas al sector agrícola. Aun con los compromisos adoptados, la crisis de sobreproducción, determinada en gran medida por las propias políticas de ayuda al sector agrícola, continuaba siendo un problema que afectaba no solo al mercado doméstico sino al mercado global de cereales (Gardner, 2000). Esto, sumado a una caída de los precios a finales de la década de 1990, reduciría considerablemente el coste de oportunidad de los agroindustriales del maíz, lo que incentivó la expansión de la producción hacia los mercados energéticos de carburantes.

La salida al problema de sobreproducción de productos como el maíz y otros agroenergéticos vendría marcada por el uso de los excedentes en los mercados de energía. En esta estrategia confluirían los intereses de sectores importantes de la agroindustria, como el del maíz o las oleaginosas, con los intereses de la política energética para el sector del transporte rodado. En este contexto, se da un cambio en la forma de las ayudas a la agricultura con el objeto de beneficiar la expansión de estos cultivos para usos energéticos y la producción de biocarburantes. Los biocarburantes y los mercados de energía representan, entonces, una salida para mantener el nivel de ayuda a sectores que encontrarían considerables dificultades en cuanto a la consistencia de las ayudas con las normas de la OMC (Seminerio, 2008).

La promoción de energías renovables en el transporte tenía además una gran justificación política desde el punto de vista de la protección del medioambiente. La reducción de las emisiones contaminantes en el sector del transporte y la creciente preocupación por los efectos negativos del cambio climático favorecieron la adopción de medidas de promoción de los biocarburantes a gran escala. En este contexto, la prohibición del MTBE en el mercado de aditivos en 1999 en California por problemas de contaminación medioambiental dejaría el camino libre para que el etanol carburante de maíz incrementase su cuota en el mercado de aditivos.

Si vinculamos la percepción de que los biocarburantes son medioambientalmente sostenibles con los cambios devenidos en la regulación del comercio internacional en relación con los tipos y el nivel de ayudas permitidas en el marco del Acuerdo sobre la Agricultura, los biocarburantes eran además una excelente oportunidad de evitar una futura disputa ante la OMC. La naturaleza renovable de los biocarburantes, la sostenibilidad ambiental de su uso y los beneficios para la seguridad energética nacional eran argumentos consistentes para justificar que los subsidios a los biocarburantes no sean considerados como subsidios agrícolas, y que, por lo tanto, no se les apliquen los límites previstos en la *Yellow Box* del Acuerdo para la Agricultura (Seminerio, 2008).

Durante los años 2000, las políticas de apoyo al sector de los biocarburantes se incrementaron notablemente, promoviendo su producción y consumo mediante una serie de instrumentos económicos y regulatorios de diversa naturaleza. La convergencia entre el sector agroindustrial del maíz y otros agroenergéticos se manifestó plenamente en el apoyo total a la producción de biocarburantes plasmado en la *Farm Bill* de 2002. La importancia del sector de la energía para el mercado de productos agrícolas quedaría institucionalizada en el primer título específico sobre la energía, establecido dentro del marco normativo dedicado tradicionalmente a las medidas de protección del sector agroindustrial. El impulso de esta nueva legislación extendía las posibilidades

del uso del maíz y otros productos a una escala mayor de consumo en el ámbito energético, especialmente enfocado en la expansión de la industria de biocarburos. Estas medidas encontraron un pleno apoyo del Gobierno, dadas las nuevas condiciones en el mercado de la energía que había supuesto el incremento de los precios del crudo desde el año 2000.

El mercado obtendría un nuevo impulso con el lanzamiento del RFS-1. La EAct-2005 (*Energy Policy Act*) establecería el reemplazo de la política de oxigenantes y gasolina reformulada, establecida por la *Clean Air Act* a principios de la década de 1990, por un uso mínimo obligatorio de carburantes renovables en el transporte. El RFS-1 sería el estándar de carburantes renovables en que se sostendría el consumo del etanol y, en menor medida, de otros biocarburos. Además, la EAct-2005 establecería una serie de programas de apoyo a la producción de biocarburos de primera generación con el fin de incrementar la inversión en el sector.

El apoyo a los biocarburos siguió con la EISAct-2007 (*Energy Independence and Security Act*). Los incrementos de las obligaciones de uso de biocarburos fueron notables y, aunque se puso un límite al uso del etanol carburante, este límite aun otorgaba un amplio margen para colocar gran parte de la producción de maíz en los mercados de energía, lo que aseguraba una demanda significativa de las materias primas usadas para su producción. Asimismo, con la *Food Conservation and Energy Act* de 2008 se extenderían y expandirían muchos de los programas de energías renovables originalmente autorizados en la *Farm Security and Rural Investment Act* de 2002.

La promulgación de la *Farm Bill* de 2008 apoya principalmente los esfuerzos al desarrollo de biocarburos de celulosa y las nuevas tecnologías para la explotación energética de la biomasa, mientras que se mantenían las subvenciones convencionales a la industria del etanol de maíz, al menos hasta finales del 2011. Asimismo, a pesar de algunos cambios en relación con la anterior legislación, la *FCE-Act* del 2008 deja intactas las provisiones de ayuda a la agricultura doméstica, lo que benefició a los productores de materias primas agroenergéticas como el maíz y las oleaginosas¹⁰.

Como se ha mencionado, las condiciones en los mercados de energía y de productos agrícolas a inicios de la década redujeron el coste de oportunidad de los sectores de producción de materias primas agroenergéticas, así como el coste político de oportunidad para que el Gobierno federal incrementara significativamente el apoyo al sector de los biocarburos, lo que generó un escenario de plena convergencia entre los principales actores del mercado que condujo a una expansión significativa de la producción de etanol carburante durante toda la década.

3.3.1.6. Periodo de 2010 a la actualidad (2014). Escenario de conflicto para la producción de etanol carburante: (-) Estado (+) Sector agroindustrial.

Finalmente, se considera que el calendario de límites impuesto al uso de etanol obtenido de maíz en la nueva regulación del estándar de carburantes renovables RFS-2, el cambio de la prioridad de la política de sustitución energética, enfocada ahora en el fomento de tecnologías de biocarburos avanzados y, en especial, de etanol de segunda generación derivado de celulosa y de biodiesel, y el incremento de los precios de los cereales y granos desde principios del 2011 han desestabilizado las condiciones en que sostenía el escenario de convergencia positiva entre el sector agroindustrial del maíz y el Gobierno federal.

10 Véase, además, *American Tax Payer Relief Act* de 2012, conocida como la Ley del precipicio fiscal. Esta ley fue promulgada para evitar aumentos de impuestos y recortes de gastos automáticos, como los previstos en la *Farm Bill* del 2008.

Aunque el apoyo al desarrollo de energías renovables y biocarburantes todavía es alto y los precios del crudo se han recuperado luego de su caída tras la crisis financiera, los cuestionamientos sobre el coste-beneficio de expandir el uso del maíz como materia prima para obtener etanol carburante, desde el punto de vista medioambiental y socioeconómico, han tenido un considerable impacto en las decisiones de inversión y expansión de la producción. Aunque el marco regulatorio asegura una gran cantidad de etanol de maíz para ser consumido en el transporte rodado, los límites a su utilización y el giro hacia la promoción de biocarburantes más avanzados, o la apertura a las importaciones brasileñas de etanol de caña, han venido generando bastante incertidumbre en el sector agroindustrial estadounidense vinculado a la expansión del uso del maíz en los mercados de energía.

Aunque el apoyo al desarrollo de energías renovables y biocarburantes es considerablemente alto y los precios del crudo se han recuperado luego de su caída tras la crisis financiera, los cuestionamientos plasmados en el RFS-2 sobre el saldo coste-beneficio de expandir el uso del maíz como materia prima para obtener etanol carburante, desde el punto de vista medioambiental y alimentario, han afectado las expectativas de inversión y expansión de la producción en el sector. Asimismo, la productividad, incrementada notablemente desde principios de la década, ha decaído acentuadamente en los últimos años¹¹. Aunque el RFS-2 prevé que una gran cantidad de etanol de maíz sea consumida en el transporte, los límites con los que trabaja el programa han creado bastante incertidumbre en el sector agroindustrial estadounidense, lo que puede haber frenado la potencial expansión del mercado de alcoholes carburantes en EE. UU. En la tabla 5 se puede observar el relativo estancamiento de la capacidad de producción de etanol carburante en los últimos años.

Tabla 5

Capacidad de producción por de las instalaciones de etanol carburante en EE. UU.

	Número de plantas	Capacidad nominal	Máxima capacidad sostenible
Enero 2011	193	13614	14239
Enero 2012	194	13728	14321
Enero 2013	193	13852	N-d

Nota: Adaptado de *Energy Timelines*, por United States Department of Energy (US DOE), 2013.

Aunque la futura expansión de la demanda de biocarburantes en EE. UU. debe cubrirse con biocarburantes avanzados, en la actualidad casi la totalidad del consumo interno se cubre con etanol de maíz. Los altos costes de producción del etanol de segunda generación, principalmente de celulosa, todavía no permiten que el desarrollo de este biocarburante alcance la etapa comercial. Existe un significativo riesgo para las inversiones en el sector de los biocarburantes avanzados, dado que su viabilidad comercial depende no solo de que los precios del petróleo sigan al alza, sino de la seguridad del marco regulatorio y del apoyo estatal a la I+D para reducir el riesgo tecnológico que inhibe las inversiones en el sector. En este sentido, el cambio regulatorio que ha cerrado las vías a una mayor expansión del etanol de primera

¹¹ Para mayor detalle revisar Schnepf y Yacobucci (2013).

generación se observa como un mal precedente en la política agroenergética, especialmente porque el riesgo de inversión en este sector es muy alto y porque las inversiones públicas en I+D+I no terminan de dar los resultados esperados para viabilizar la comercialización de etanol de segunda generación a gran escala. Esta situación viene generando bastante incertidumbre sobre el futuro crecimiento del mercado de biocarburantes en EE. UU., dado que casi todo el suministro que ha abastecido el mercado de biocarburantes ha provenído de etanol de maíz, producción que está afectada a su vez por el coste de oportunidad de retirar productos de los mercados alimentarios para abastecer los mercados de energía.

De la abrupta expansión de la producción observada desde principios de la década, sostenida en un escenario de convergencia positiva en favor del mercado del etanol carburante de maíz, se ha pasado a un escenario de conflicto que supone una mayor ola expansiva del uso del maíz en los mercados de energía. Este estancamiento puede llevar a buscar nuevos mercados energéticos para el maíz, que reduzcan aún más las incertidumbres futuras en los mercados alimentarios. Esto es especialmente importante para el biodiesel y su potencial producción derivada del uso de aceite de maíz. El actual marco regulatorio establece objetivos propios para el biodiesel, y además permite cubrir gran parte de los otros objetivos de biocarburantes no cubiertos por la falta de capacidad de producción a escala comercial.

La dificultad para cumplir los mandatos de biocarburantes avanzados, especialmente los obtenidos de celulosa, abriría una brecha que sería cubierta con otros biocarburantes distintos a etanol del maíz que, de acuerdo con la regulación del RFS-2, no se contabilizan para cumplir otros estándares de consumo más avanzados. Esto podría llevar a un cambio en las pautas de producción entre el etanol y el biodiesel para la agroindustria del maíz. Dado que la brecha abierta de cumplimiento de etanol de celulosa puede ser cubierta con biodiesel, los agroindustriales del maíz podrían incrementar la producción de biodiesel obtenido de aceite de maíz para compensar las limitaciones al uso del etanol de primera generación, especialmente ante un aumento del precio de los RIN del etanol que haga más costoso cubrir las obligaciones de carburantes avanzados con importaciones de etanol de caña de azúcar de Brasil.

3.3.2. Contrastación empírica de las hipótesis sobre la producción de biocarburantes en EE. UU.

De acuerdo con las hipótesis planteadas en el punto anterior, el desarrollo de la producción de etanol carburante en EE. UU. corresponde a seis periodos determinados por unos escenarios de convergencia y conflicto entre el Gobierno federal de los Estados Unidos y el sector agroindustrial vinculado a la producción de etanol carburante obtenido de maíz. En línea con los planteamientos desarrollados al inicio de esta sección, estos escenarios de convergencia y conflicto, producto de la interacción entre los costes de oportunidad de los principales actores vinculados a la producción, han afectado el desarrollo del mercado de biocarburantes en este país. La siguiente contrastación empírica tiene por objeto analizar en qué medida los escenarios de convergencia y conflicto han podido afectar la evolución de la producción del etanol en el mercado estadounidense.

En la tabla 6 se pueden observar, de forma resumida, los distintos escenarios de convergencia y conflicto planteados en las hipótesis explicativas sobre el desarrollo del mercado del etanol en EE. UU.

Tabla 6

Escenarios de convergencia y conflicto sobre el desarrollo de la producción de etanol carburante en EE. UU.

Periodo	Estado-regulador	Sector agroindustrial	Característica del periodo	Condiciones regulatorias y no regulatorias vinculadas a la producción de biocarburos
1900-1949	(-)	(+)	Conflicto	Restringidas
1950-1973	(-)	(-)	Convergencia	Minimizadas
1973-1986	(+)	(-)	Conflicto	Restringidas
1986-2002	(-)	(+)	Conflicto	Restringidas
2002-2010	(+)	(+)	Convergencia	Maximizadas
2010-2014	(-)	(+)	Conflicto	Restringidas

Nota: Elaboración propia a partir del análisis histórico de las regulaciones y los mercados dicretos y conexos a la evolución del etanol carburante en EE. UU..

Como en el caso de Brasil, en el análisis de intervención de la serie temporal de producción de etanol en EE. UU., la hipótesis de correlación entre los escenarios de convergencia y conflicto, y la forma en que el mercado del etanol se ha desarrollado vienen determinadas por unos parámetros de intervención que marcan el paso a los nuevos escenarios. Teniendo en cuenta estos cambios en los escenarios, se analizará si las hipótesis planteadas para explicar la evolución del mercado de etanol son coherentes con la evolución real de la producción de etanol carburante en EE. UU. Dichos cambios de escenarios se encuentran definidos en la tabla 7.

Tabla 7

Hipótesis sobre el impacto de los cambios en los escenarios de convergencia y conflicto sobre la evolución de la producción de etanol carburante en EE. UU.

Años de inicio del cambio	Cambios de escenarios	Efectos en la producción
1950	Conflicto (-) (+) → Convergencia (-)	Contracción abrupta
1973	Convergencia (-) → Conflicto (+) (-)	Expansión moderada
1986	Conflicto(+)(-) → Conflicto (-) (+)	Expansión moderada
2002	Conflicto(-)(+) → Convergencia (+)	Expansión abrupta
2010	Convergencia (+) → Conflicto (-) (+)	Contracción moderada

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de la regulación y el mercado de EE. UU.

Con el fin de realizar el análisis de intervención de series temporales se ha utilizado una serie de producción de etanol de EE. UU. consistente en 40 observaciones procedentes de las

bases de datos del United States Department of Agriculture (USDA) y de la American Corn Growers Association (ACGA).

Los resultados que ofrece el análisis de autocorrelaciones, así como los test de ruido blanco (*Ljung-Box chi square statistics*) y el test de raíces unitarias para evaluar la estacionaridad del Modelo (*Augmented Dick-Fuller Test*) son adecuados y compatibles con un modelo consistente.

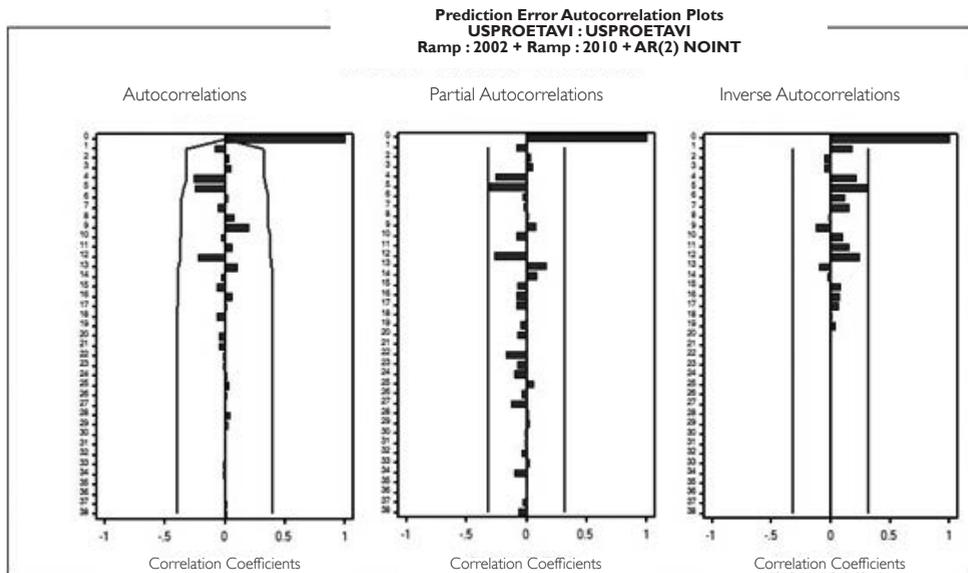


Figura 2. Resultados del ajuste de la serie temporal de producción de etanol en EE. UU. mediante el uso de SAS/ETS.

Luego de efectuar el análisis de idoneidad y consistencia del modelo, se ha observado que la serie temporal de producción de etanol carburante en EE. UU. puede explicarse adecuadamente mediante un modelo autorregresivo de orden 2, $AR(2, 0, 0)$, con las siguientes intervenciones:

Parámetros de intervención combinados con el Modelo Autorregresivo $AR(2, 0, 0)$ para la serie temporal de producción de etanol en EE. UU.

Efecto rampa o tendencia	2002	2010
--------------------------	------	------

Los correspondientes parámetros estimados del modelo $AR(2)$ para la serie temporal de producción de etanol carburante en EE. UU. son los recogidos en la tabla 9.

Tabla 8

Estimación de parámetros de intervención. Serie temporal de producción total de etanol en EE. UU.

Modelo autorregresivo AR(2, 0, 0) + intervención tipo rampa en 2000 + rampa en 2011				
Parámetro del modelo	Estimación	Error estándar	T	Probabilidad > :T:
Autorregresivo, retraso 1	1.33282	0.1621	8.2221	<.0001
Autorregresivo, retraso 2	-0.47946	0.1627	-2.9461	0.0057
Efecto tipo rampa 2002	5827600	426420	13.6663	<.0001
Efecto tipo rampa 2011	-6042177	1564333	-3.8625	0.0005
Varianza del modelo (sigma cuadrado)	2.00909E12	*	*	*
Rango del ajuste: 1973 a 2012				

Los resultados resultan importantes a un nivel de significación de 0.05, y los signos de las estimaciones responden coherentemente a las hipótesis planteadas sobre los efectos de los escenarios de convergencia y conflicto en el desarrollo de la producción del etanol carburante en EE. UU. Como se ha señalado líneas arriba, los escenarios de convergencia positiva deberían ser los escenarios más favorables para el desarrollo de la producción de etanol carburante, dado que estos periodos se han caracterizado por las mejores condiciones regulatorias y de mercado, de acuerdo con el marco general de análisis. Este es el caso del escenario de convergencia positiva del quinto periodo formulado para el mercado de EE. UU. La hipótesis de la plena convergencia de intereses entre los principales actores ligados a la producción del biocarburoante se ve reflejada en la expansión abrupta de la producción.

El incremento de los precios del crudo desde el año 2000 restituyó las condiciones perdidas tras el periodo de precios bajos del petróleo durante los años 1990. Esto, sumado a un contexto de cambios institucionales y problemas de sobreproducción incentivada por la política agrícola que condujo a la caída de los precios del maíz en el mercado internacional, favoreció la convergencia plena entre el sector público y el privado. El paso a un pleno escenario de convergencia positiva quedaría reflejado en las medidas de apoyo al sector promulgadas desde finales de los 1990, que marcarían el despliegue de una batería de medidas de fomento que, aunadas a las condiciones en los mercados alimentarios del maíz y el desarrollo de la política de protección medioambiental, darían lugar a un incremento considerable de la producción de etanol. En este sentido, la estimación de los parámetros que arroja el análisis de intervención de la serie de producción es altamente significativa. Este resultado es coherente con la hipótesis de que alrededor del año 2002 se inició un periodo de convergencia positiva entre el sector agroindustrial y el Estado, que favoreció un periodo de abrupta expansión de la producción de etanol obtenido de maíz en EE. UU.

Finalmente, el resultado negativo de la estimación del cambio de tendencia en el año 2010 también resulta significativo en un intervalo de confianza de 0.05. Este resultado es cabalmente coherente con la hipótesis del fin de la relación de convergencia positiva y el paso a un nuevo escenario de conflicto entre el Estado regulador (federal) y el sector agroindustrial del maíz para la producción de etanol de primera generación en EE. UU. Este escenario, como se

ha mencionado, ha estado influenciado principalmente por las consecuencias de los cambios regulatorios introducidos con el RFS-2, producto de los cuestionamientos medioambientales y de carácter socioeconómico vinculados al uso del maíz con fines energéticos.

La figura 3 muestra una representación de las observaciones de la serie estimada y el modelo autorregresivo AR(2) usado para la estimación de la relación entre los escenarios de convergencia y conflicto planteados, y el desarrollo del mercado.

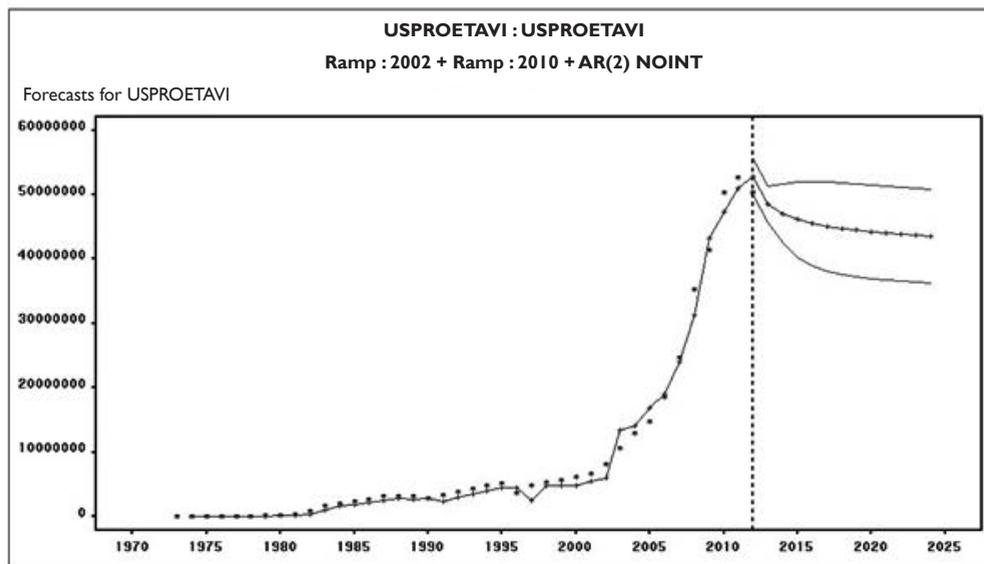


Figura 3. Modelización de la evolución de la producción de etanol carburante en EE. UU. mediante el uso de SAS/ETS.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis de intervención de series temporales, no se puede rechazar la hipótesis de que los escenarios de convergencia y conflicto entre el Gobierno federal y el sector agroindustrial vinculado a la producción de maíz sean planteamientos consistentes con la forma en que se ha desarrollado la producción de etanol carburante en EE. UU. Asimismo, los resultados de la estimación de parámetros indican que estos escenarios han dado lugar a una serie de decisiones privadas y medidas de política agrícola, energética y medioambiental que han afectado positiva o negativamente la producción de etanol carburante durante los distintos periodos analizados en este trabajo, cuyos efectos previstos en el desarrollo de las hipótesis son coherentes con los resultados del análisis de intervención.

4. Conclusiones

Aunque sus orígenes se pueden encontrar en periodos históricos anteriores, desde principios de la década del 2000, el mercado de biocarburantes ha reemergido vigorosamente a nivel global, lo que ha estrechado el vínculo entre los mercados energéticos y los mercados de productos agrícolas y ha contribuido a la producción de energías renovables para el transporte. Asimismo, el uso energético de los factores de producción agrícola tradicionalmente vinculados a los mercados alimentarios representa una de las más controvertidas polémicas en el campo

de estudio de las energías alternativas y renovables, que gira, principalmente, en torno al balance final del uso de la biomasa agrícola para cubrir necesidades energéticas en el sector del transporte rodado. Existe una serie de trabajos de investigación que han abordado este tema desde el punto de vista del análisis coste-beneficio de la promoción del uso de biocarburantes en el transporte desde múltiples dimensiones, entre las que se encuentran la medioambiental, la económica, la social, la agrícola y, por supuesto, la energética.

El enfoque adoptado en este trabajo de investigación está relacionado con el análisis del mercado de biocarburantes, principalmente aquellos obtenidos de cultivos alimentarios, y su desarrollo en relación con los cambios regulatorios que pueden haberle afectado a lo largo del tiempo. El desarrollo del mercado de biocarburantes para el transporte resulta ser un fenómeno económico y político bastante complejo, que en no pocos momentos de la investigación se presenta como un proceso considerablemente enmarañado. Las distintas dimensiones implicadas en la evolución de estos mercados revelan la poliédrica complejidad de su dinámica histórica. El análisis positivo muestra que ha sido un proceso sujeto a constantes cambios institucionales y económicos, no siempre convergentes, lo que refleja su relativa inestabilidad en el tiempo. Por su carácter multidimensional, para comprender a qué responde el desarrollo de estos mercados, ha sido necesario comprender, primero, la lógica de los fenómenos económicos e institucionales directamente vinculados al sector agroenergético, y, en segundo lugar, comprender la lógica económica e institucional de los mercados conexos, cuya incidencia en la evolución histórica del sector ha sido determinante.

El objeto de esta investigación ha sido tratar de explicar, de una forma sistemática, cómo los vectores de influencia (políticos, económicos y jurídicos) vinculados al uso energético de la biomasa se han relacionado en el tiempo, y cómo esta relación de componentes económicos e institucionales se vincula al desarrollo histórico de los mercados de biocarburantes en Estados Unidos. Con este propósito, se ha analizado la influencia del sector público y del sector privado en el desarrollo del sector de los biocarburantes, qué vectores han afectado el proceso de toma de decisiones políticas y económicas, cómo la interacción de los actores del mercado ha variado en razón de los vectores de influencia, y qué importancia han tenido los resultados de la interacción entre el sector público y privado en la evolución histórica del mercado.

Tomando distancia de los postulados normativos que interpretan la evolución histórica del mercado como producto de una política de sustitución energética costo-efectiva, o de aquellos que contrariamente sugieren que aquella debe entenderse en torno al comportamiento de los mercados de productos agrícolas y energéticos; en esta investigación se ha planteado que la evolución de los mercados de biocarburantes en Estados Unidos ha sido determinada por la interacción dinámica de una serie de costes económicos y políticos, observados históricamente alrededor de los mercados de energía y de los mercados agrícolas. El análisis de los mercados y de la regulación que ha afectado el desarrollo de los biocarburantes en EE. UU. ha permitido observar, desde una perspectiva histórica, las dificultades de un proceso de transición energética hacia fuentes renovables de energía, especialmente cuando las fuentes alternativas son relativamente escasas o cuando la adaptación del sistema a un cambio estructural en el uso de la energía resulta ser demasiado costoso o inestable en el tiempo.

En EE.UU., el uso de fuentes alternativas de energía derivadas de la biomasa ha estado modulado por decisiones políticas y económicas que han afectado y también han sido afectadas por el comportamiento de los mercados energéticos y agrícolas conexos. Esta interacción ha dado lugar a la forma específica que ha tomado el desarrollo del sector de los biocarburantes

en EE. UU. Así, se ha tratado de desarrollar un modelo coherente de interpretación de la evolución del mercado de los biocarburantes teniendo en cuenta la interacción de estas decisiones políticas y económicas y planteando un marco general de análisis basado en escenarios de convergencia y conflicto que, de acuerdo con las contrastaciones empíricas realizadas, resulta tener una profunda validez explicativa para el caso de EE. UU. y, como puede verificarse en otros capítulos de la tesis, para diferentes entidades políticas.

La interrelación entre los mercados energéticos y alimentarios y las políticas conexas a las distintas dimensiones vinculadas al uso energético de la biomasa han sido clave para entender que la evolución del sector de los biocarburantes siempre ha sido resultado de la concordancia o discordancia entre las decisiones económicas y políticas que adoptan los agentes privados y públicos en torno a la producción y el consumo de etanol o biodiesel. Esta relación se plasma en la interacción de los principales actores de estos mercados en razón del coste de oportunidad que implica el uso de biocarburantes para el transporte: los gobiernos, que hemos definido indistintamente como el Estado regulador, capaces de intervenir (y de no intervenir) en los mercados de acuerdo a sus objetivos o intereses políticos, y el sector agroindustrial, vinculado al uso de los productos agrícolas alimentarios para la producción de energía y cuyas decisiones privadas determinan el nivel de producción de etanol o biodiesel.

Sobre la base del análisis de la interacción dinámica entre el coste de oportunidad de estos actores, y desde la particularidad de los fenómenos observados en perspectiva, se han construido los mencionados escenarios de convergencia y conflicto, que conjuntamente conforman el marco general de análisis para el mercado de biocarburantes. La observación del comportamiento de las relaciones económicas y políticas subyacentes en un determinado periodo de tiempo implica el análisis de la influencia de los vectores en el coste de oportunidad de los principales actores vinculados a la producción de biocarburante. Determinado el coste de oportunidad para cada uno, se analiza su convergencia o divergencia en relación con la producción en un periodo determinado de tiempo. El resultado es una relación subyacente caracterizada por un escenario de conflicto o de convergencia para un periodo determinado.

Como el coste de oportunidad de los actores frente al uso de biocarburantes en el transporte se ve incrementado o reducido por una serie de vectores de índole económico y político, cuya influencia puede variar en el tiempo, la interacción entre los actores que da lugar a los diferentes escenarios de convergencia y conflicto es fundamentalmente dinámica. Esto significa que la influencia de los mercados y de las políticas conexas, al afectar el coste de oportunidad emergente en torno al uso de biocarburantes en un periodo determinado de tiempo, da lugar a cambios en la configuración de un tipo de escenario a otro tipo¹².

Así, se han identificado cuatro tipos principales de escenarios, dos de convergencia (uno positivo y uno negativo) y dos de conflicto, todos ellos determinados por la relación dinámica entre el coste de oportunidad de los actores del mercado en relación con la variable producción de biocarburantes. Los escenarios se caracterizan, además, por unas determinadas condiciones, tanto regulatorias como no regulatorias, en algunas ocasiones favorables y en otras desfavorables al desarrollo del mercado, y que se han sintetizado como condiciones maximizadas, restringidas o minimizadas en relación con los distintos escenarios planteados. Sobre la base de estas condiciones para cada escenario, los efectos sobre el desarrollo del

12 Esta conclusión no solo es aplicable al caso del mercado estadounidense, sino también al caso del mercado brasileño y el mercado de la UE. Para información más detallada, véase Rodríguez Morales (2014).

mercado se identifican como expansivos (moderados y abruptos) o contractivos (moderados y abruptos).

Para validar la hipótesis de existencia y pertinencia de estos escenarios se ha empleado una metodología de contrastación que permite evaluar el impacto de los distintos escenarios de convergencia y conflicto sobre la evolución histórica de las variables del mercado. El análisis de interrupción de series temporales es el método econométrico aplicado para contrastar el tipo de hipótesis planteadas. Dicho método no solamente permite identificar patrones en la secuencia de observaciones a lo largo del tiempo, predecir patrones futuros de eventos o comparar series de diferentes tipos de eventos, sino que también, como ha sido el caso de esta investigación, permite evaluar el impacto de una o más intervenciones exógenas sobre el comportamiento de las variables dependientes.

La razón de utilizar una metodología econométrica basada en el análisis de series temporales está principalmente relacionada con el enfoque histórico de la investigación. El análisis de la evolución del sector de los biocarburantes desde sus orígenes hasta la actualidad se basa en un estudio de los elementos cualitativos y cuantitativos asociados al desarrollo del mercado a lo largo del tiempo. Este análisis ha permitido desarrollar una serie de hipótesis que tratan de explicar la evolución del mercado de biocarburantes en perspectiva histórica, por lo que evaluar la relación de estas hipótesis con los datos históricos que definen la evolución del mercado es consistente con el enfoque adoptado.

Por otro lado, existe una razón de orden técnico que ha determinado el uso del análisis de series temporales en la presente investigación en lugar de otros métodos econométricos, como, por ejemplo, la regresión múltiple. Esta razón es que los datos del mercado de biocarburantes, como en otras series económicas de tiempo, se encuentran autocorrelacionados, lo que implica una explícita violación del supuesto de independencia de los errores. La utilización de una regresión múltiple en este contexto incrementaría el error de tipo I y podría llevar a rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera en la población. Además, los patrones temporales podrían esconder o agrandar de forma espuria el efecto de una intervención, a menos que se tengan en cuenta en el modelo.

Como las hipótesis planteadas sobre el desarrollo del mercado se edifican a lo largo del tiempo, los escenarios de convergencia y conflicto pueden ser entendidos como eslabones de una cadena, en la que el paso de un eslabón a otro puede tener un efecto reconocible en las variables dependientes del mercado de biocarburantes. El tamaño del efecto dependerá de los escenarios que participan en el cambio que se produce en un determinado momento del tiempo.

Con el análisis de intervención de series temporales se ha tratado de evaluar si la evolución en las observaciones de la producción de biocarburantes puede explicarse estadísticamente como resultado del impacto de los cambios observados en la cadena de escenarios de convergencia y conflicto planteados como hipótesis para EE. UU. Así, teniendo en cuenta la disponibilidad de observaciones anuales de las variables dependientes de producción en estos mercados, se han analizado los cambios que se observan en los patrones de regularidad en razón de la dependencia temporal de los datos de la serie cuando se integran los valores pasados y presentes de otra serie que incluye los parámetros de intervención. La función de transferencia así generada permite estudiar el impacto hipotético de los cambios en los escenarios de convergencia y conflicto sobre las variables dependientes de producción de biocarburantes.

En un plano operativo, antes de pasar a valorar la estimación estadística del impacto exógeno que genera el paso de un escenario a otro sobre las series temporales de producción,

ha sido necesario ajustar los patrones endógenos en las observaciones mediante la modelización de parámetros de tendencia, auto-regresión, medias móviles o periodicidad que presentan las observaciones del mercado de biocarburantes. La consistencia de la modelización subyacente es una condición *sine qua non* para realizar una correcta estimación de los parámetros de intervención.

Una vez realizado el análisis exploratorio de modelización para las series temporales de producción de biocarburantes e introducidos los escenarios de convergencia y conflicto en el modelo como parámetros de intervención (la hipótesis), el paso siguiente ha sido evaluar la significancia estadística del impacto de los escenarios en el desarrollo de las series. La organización de los tipos de impacto se ha realizado en conexión lógica con los planteamientos desarrollados en las hipótesis. Como los escenarios de convergencia y conflicto representan cambios estructurales que estabilizan la composición de la relación subyacente entre los actores del sector para un periodo determinado de tiempo, se entiende que la influencia de los cambios relevantes puede ser recogida por la función de transferencia como cambios en la tendencia de la serie.

Los resultados arrojados por el análisis de intervención efectuado con el *software* SAS/ETS han mostrado coherencia con las hipótesis planteadas en todos los casos contrastados y una alta significatividad en la estimación estadística de los parámetros de intervención, lo que demuestra que el modelo basado en escenarios de convergencia y conflicto resulta ser un mecanismo de análisis bastante coherente para explicar la evolución del mercado de biocarburantes. En general, cuanto más drástico es el cambio identificado entre los escenarios contruidos, más significativos han sido también los resultados en cuanto al cambio de tendencia de las series temporales de producción de biocarburantes. Así, por ejemplo, los cambios de un escenario restrictivo a uno de convergencia positiva, que presenta unas condiciones regulatorias y no regulatorias óptimas, han registrado, para todos los casos, una estimación de parámetros altamente significativa y coherente con el inicio de un periodo de abrupta expansión del mercado. Se ha considerado, además, que el encadenamiento de los distintos escenarios de convergencia o de conflicto no solamente es una forma razonable de explicar la evolución del mercado en Estados Unidos, sino que es además un marco general de análisis extrapolable a otros mercados.

Este planteamiento basado en relaciones de convergencia y conflicto entre el Estado regulador y el sector privado ha ayudado a comprender más claramente qué condiciones necesarias y qué condiciones suficientes han tenido que haberse dado para el desarrollo o estancamiento del sector de los biocarburantes en distintos momentos en el tiempo. Comprender los cambios en los vectores de influencia que determinan la relación de costes de oportunidad entre el sector privado y el sector público ha sido un paso fundamental para relacionar los escenarios planteados con el desarrollo del mercado en distintos periodos de tiempo.

En el caso de Estados Unidos, se ha observado que los escenarios de conflicto y convergencia negativa han prevalecido sobre los de convergencia positiva durante todo el siglo XX, restringiendo y minimizando las condiciones regulatorias y no regulatorias favorables a un desarrollo expansivo del mercado de biocarburantes, como se ha observado en los resultados de la estimación de los parámetros de intervención en el análisis empírico. Durante el primer periodo analizado para Estados Unidos, mientras que el Gobierno federal presentaba un alto coste de oportunidad debido, fundamentalmente, a su política petrolera, el sector agroindustrial vinculado a la producción de maíz y otros granos presentaba un menor coste

de oportunidad en relación con la producción de etanol, principalmente por los desequilibrios entre la producción y consumo en los mercados alimentarios y la crisis del sector. Esto haría que la relación subyacente fuera predominantemente de conflicto, lo que permitiría un uso moderado del etanol en el mercado de carburantes, especialmente en los grandes estados productores del cinturón del maíz estadounidense.

Posteriormente, el interés en destinar parte de la producción de granos hacia los mercados de energía se vería considerablemente reducido por el surgimiento de una fuerte política de protección de la agricultura. Con un alto nivel de subsidios de distinta naturaleza y un alto nivel de protección en la frontera, así como una política energética de fomento del petróleo, el coste de oportunidad de producir etanol u otros biocarburantes se incrementaría significativamente, reduciendo los potenciales incentivos en favor del incremento de la producción de biocarburantes. Estos cambios, junto al alto coste de oportunidad del Gobierno federal en torno al uso del etanol carburante, darían paso a un escenario de convergencia negativa. Los efectos de este escenario sobre la evolución del mercado se reflejan en la casi desaparición del uso energético de los productos agrícolas.

Los escenarios de convergencia y conflicto resultan ser herramientas útiles de análisis para explicar por qué la crisis energética de los años 1970 no generó una expansión del sector americano de biocarburantes como la observada en el caso, por ejemplo, de Brasil (Rodríguez Morales, 2014)¹³, aun cuando los costes energéticos tuvieron un impacto considerablemente alto en ambos países. Siguiendo la lógica del planteamiento expuesto, en Estados Unidos, las condiciones en los mercados agrícolas frenaron la expansión del mercado de biocarburantes. Esto se explica por la influencia de otros vectores políticos y económicos en las decisiones del sector privado, principalmente aquellos vinculados a los mercados y las políticas de protección del sector agrario. Estas condiciones impedirían la reducción sincrónica de costes de oportunidad de la relación subyacente entre el Estado federal y el sector agroindustrial.

En Estados Unidos, las condiciones regulatorias y no regulatorias en los mercados conexos no eran suficientes para configurar un escenario de convergencia positiva y de gran expansión del mercado. En este sentido, la cobertura de los riesgos generada por la política de protección de la agricultura incrementaba el coste de oportunidad de usar cultivos agrícolas para un mercado de carburantes bastante incierto como el mercado de los biocarburantes. Aun con la reducción del coste de oportunidad por parte del Gobierno federal tras la crisis energética, las condiciones de los mercados agrícolas no generaban los incentivos suficientes para que los agroindustriales decidan expandir significativamente el uso energético de los cultivos alimentarios en los Estados Unidos.

Posteriormente al periodo de crisis energética, la relación subyacente observada durante la etapa anterior al periodo de auge del etanol de la década del 2000 estuvo caracterizada por la predominancia de escenarios de conflicto, en los que las condiciones regulatorias y no regulatorias estarían restringidas en relación con el uso del etanol carburante obtenido de maíz. Los cuestionamientos al coste de la política agrícola, los intentos de reforma, los cambios en los mecanismos de protección y, principalmente, los cambios en el sistema de protección de la agricultura, promovidos desde el ámbito internacional del comercio, fueron afectando progresivamente el tradicional sistema de protección de los agricultores estadounidenses.

13 En otros capítulos de Rodríguez Morales (2014) se ha comprobado empíricamente la relación positiva entre el escenario de convergencia positiva y la expansión del mercado de etanol carburante en Brasil, tras la crisis energética de los años 1970.

Estos cambios institucionales redujeron la confortable cobertura que habían tenido los sectores agrícolas tradicionalmente dependientes de las ayudas federales, lo que incrementaba el riesgo de exposición al mercado, especialmente en las regiones con mayores problemas de sobreproducción, como la gran región productora de maíz del Medio Oeste. La reducción del coste de oportunidad del sector agroindustrial, influido por los cambios institucionales vinculados al funcionamiento del mercado agrícola, incrementaría gradualmente el interés en el uso energético del maíz para la producción de biocarburentes.

Sin embargo, tras la crisis energética de los 1970, las condiciones en los mercados de energía fueron desfavorables al uso del etanol, en tanto que los precios del mercado de crudo declinaban durante los 1980 y alcanzaban mínimos históricos durante los 1990. Mientras que vectores como la política medioambiental favorecían el uso de aditivos a los carburantes con el fin de controlar las emisiones contaminantes en las ciudades, otros vectores con un peso importante en la reducción del coste de oportunidad del Gobierno federal relacionado con el fomento de energías alternativas, como los problemas relacionados con la seguridad energética, se encontrarían debilitados por los bajos costes de la energía.

Esto, finalmente, reduciría los incentivos del Gobierno al establecimiento de políticas de mayor calado dirigidas a la expansión del uso de energías alternativas para el transporte. El resultado final de la interacción de estos vectores daría paso a un escenario de conflicto entre el Gobierno federal y el sector agroindustrial, lo que permitiría un incremento moderado del uso energético del maíz en el mercado de aditivos durante el periodo previo a la década del 2000, restringiendo la posibilidad de una expansión abrupta de la producción del etanol de maíz, principalmente porque las condiciones suficientes para la conformación de un escenario de convergencia positiva se encontraban bastante restringidas por los bajos costes del petróleo.

A diferencia de los años 1970, cuando la relación subyacente en EE. UU. configuraba un escenario de conflicto por las condiciones de los mercados y las políticas conexas, a principios de la década del 2000 la relación de costes de oportunidad favorables para la configuración de un escenario de convergencia positiva se dio de forma sincrónica. Esta relación de convergencia quedaría exteriorizada en una expansión abrupta del mercado de etanol carburante y biodiesel. Una nueva senda de crecimiento de los precios del petróleo en un contexto de déficit energético en el sector del transporte, una difícil situación de los mercados de los cultivos agroenergéticos y los cambios progresivos en los sistemas de protección de los agricultores en los grandes mercados de la OCDE impulsarían la convergencia necesaria de intereses públicos y privados para expandir significativamente el uso de renovables en el transporte y dar lugar una expansión abrupta del mercado de los biocarburentes observada durante la década del 2000.

En definitiva, los vectores económicos y políticos reducirían el coste de oportunidad de los gobiernos y del sector agroindustrial en favor del desarrollo del sector de los biocarburentes de primera generación, de modo que se configura un escenario de convergencia positiva que da lugar a una expansión abrupta de la producción de biocarburentes. El desarrollo de la política medioambiental y los cambios en la política agrícola acentuaron la reducción del coste de oportunidad relacionado al uso de biocarburentes, tanto para el Gobierno como para el sector agroindustrial y los consumidores finales. Tal convergencia genera efectos expansivos en los mercados de biocarburentes que han sido recogidos en los resultados altamente significativos de los parámetros estimados en el análisis de intervención de series temporales observados para este periodo.

Hay que tener en cuenta que Estados Unidos, con una alta dependencia de las importaciones energéticas y altos niveles de consumo de carburantes fósiles en el sector del transporte, se encontraba bastante expuesto al riesgo de incrementos de precios y de seguridad de suministro energético petrolero. Las nuevas tendencias alcistas que presentaba el coste de las importaciones de petróleo y las proyecciones de un escenario sostenido de incrementos de precios tendrían un efecto sumamente favorable en relación con el apoyo político al desarrollo de energías alternativas y biocarburantes para el transporte en Estados Unidos y en la Unión Europea. Las consideraciones medioambientales relacionadas con la internalización de los efectos externos generados por el uso de carburantes fósiles en el transporte rodado bajo la influencia de un nuevo paradigma de desarrollo más sostenible en materia medioambiental, y los beneficios derivados del desarrollo de la economía rural y del liderazgo tecnológico que implicaba el desarrollo de energías renovables y la explotación energética de la biomasa serían también vectores coadyuvantes de considerable importancia para determinar la reducción del coste de oportunidad político en favor de las políticas de apoyo a los biocarburantes.

Desde el punto de vista del sector agroindustrial, vinculado a la producción de cultivos con potencial agroenergético en Estados Unidos, se ha observado que las reformas y el relativo debilitamiento en los sistemas de protección de la política agrícola han sido un vector muy importante para comprender el cambio tan drástico en las decisiones de producción ligadas al uso energético de los productos agrícolas durante el periodo de convergencia positiva iniciado en los años 2000. Con un mercado de *commodities* agrícolas a la baja y con una menor protección de los mercados alimentarios que en los periodos previos a la reforma, el destino energético de los productos agrícolas era la salida económicamente racional y una alternativa jurídicamente consistente con la nueva regulación del comercio para los agroindustriales de ambos lados del Atlántico. En este sentido, las reformas de las políticas de ayudas a la agricultura y la situación de los mercados alimentarios a principios de los años 2000 fueron vectores que reducirían considerablemente el coste de oportunidad de la agroindustria vinculada a las materias primas agroenergéticas y favorecieron una convergencia plena del interés privado con el interés político del Gobierno en torno a la expansión de los biocarburantes.

Sin embargo, los cambios de la relación subyacente para la producción tras el auge de los biocarburantes generados por el escenario de convergencia positiva produjeron una subsecuente contracción del sector. Los cuestionamientos medioambientales y socioeconómicos en torno a la eficiencia y a la efectividad de una política de diversificación energética en el transporte basada en el uso de cultivos alimentarios como el maíz incrementaron el coste político de oportunidad del Gobierno federal, y esto se tradujo en cambios institucionales de gran calado recogidos principalmente por la EISA-2007 y la *Farm Bill* del 2008, que redirigieron el apoyo político a los biocarburantes más avanzados y limitaron expresamente la expansión del uso del etanol de maíz para cumplir con el RFS-2. El paso a un escenario de conflicto entre el Gobierno federal y el sector agroindustrial del maíz quedó reflejado en el estancamiento de la producción y el consumo de etanol en el mercado, impacto que ha quedado recogido, igualmente, en el análisis de intervención de series temporales.

Los resultados de la contrastación empírica de los escenarios de convergencia y conflicto han permitido analizar el valor de la relación entre el sector privado y el sector público en torno al desarrollo de energías renovables, en este caso, para cubrir las necesidades energéticas en el transporte. Al parecer ni el sector privado ni el sector público han podido, en ningún momento de la historia, generar una expansión considerable del mercado de biocarburantes

actuando de forma autárquica. En todos los escenarios de expansión contrastados en el presente trabajo ha habido una relación de convergencia o al menos de plena convergencia de intereses entre el Gobierno y los actores privados involucrados.

Esto indica que la expansión del uso de alternativas energéticas de origen biológico en sectores cautivos de los carburantes fósiles, como el transporte, no puede alcanzarse solamente por las fuerzas del mercado, pero tampoco puede alcanzarse mediante la labor autárquica del Estado regulador. Las imperfecciones del mercado de la energía para el transporte no imponen, por sí mismas, una convergencia de intereses entre el ámbito privado y público para el desarrollo de energías alternativas de origen biológico, porque esta dependerá de que los costes de oportunidad en torno al desarrollo de biocarburantes en ambos sectores se reduzcan de forma sincrónica en un periodo determinado de tiempo, lo que depende, a su vez, de otros factores que están dentro o fuera del control político y económico. Debido a esto, la convergencia no siempre es posible, lo que puede verse reflejado en la seguridad de suministro, uno de los principales objetivos que ha motivado el desarrollo de políticas de promoción de biocarburantes durante todo el siglo XX y en lo que va del siglo XXI.

Si en el caso del petróleo los altos costes de la energía pueden generarse, entre otras causas importantes, por el comportamiento estratégico maximizador de los productores en un mercado con pocas posibilidades de sustitución, en el caso de los biocarburantes, las decisiones que maximizan el beneficio pueden afectar el nivel de producción porque están condicionadas en gran medida por lo que pasa en los mercados conexos. En tanto las políticas de diversificación energética para el transporte estén basadas en cultivos alimentarios o, más genéricamente, en el uso de los factores de producción agrícola, el comportamiento de los mercados alimentarios puede afectar considerablemente la estabilidad del suministro de biocarburantes en el mercado del transporte, principalmente porque el aumento de los beneficios en los mercados alimentarios puede incrementar el coste de oportunidad del sector privado relacionado con el uso energético de los factores de producción agrícola.

La convergencia de costes de oportunidad, favorable a la expansión del mercado de biocarburantes, puede ser afectada por el coste político que implican tales políticas para el Estado. Este puede encontrar políticamente más rentable diversificar la política de sustitución de importaciones energéticas, incluyendo, además de energías renovables, fuentes de energía primaria de origen fósil. El desarrollo de nuevas fuentes alternativas a las importaciones energéticas dependerá de cómo influyan en la renta política de los gobiernos el coste de la energía, la protección medioambiental, la protección de los sectores estratégicos o políticamente importantes, los clivajes en el ámbito de la energía y la agricultura, entre otros vectores importantes, dado que las condiciones de un mercado como el de los carburantes fósiles para el transporte harían bastante difícil alcanzar un nivel de penetración de energías renovables como los biocarburantes sin la intervención del Estado regulador¹⁴.

En la actualidad, el proceso de transición energética parece inevitable, aunque también bastante incierto en relación con los futuros cambios en la matriz energética global. A pesar de que las tecnologías de conversión y explotación de los recursos energéticos se han desarrollado considerablemente en las últimas décadas, el sistema energético mundial continúa siendo alimentado principalmente por fuentes de energía no renovables que se comerciali-

14 Esta conclusión no solo es aplicable al caso del mercado estadounidense, sino también al caso del mercado brasileño y el mercado de la UE. Para información más detallada, véase: Rodríguez Morales (2014).

zan en un mercado internacional en el que los costes medioambientales, especialmente los vinculados al desafío del cambio climático, compiten políticamente con los costes energéticos vinculados a la competitividad de las industrias nacionales en el mercado global. Además de los factores tecnológicos y la debilidad de la gobernanza global en materia medioambiental, el comportamiento estratégico de los países exportadores con grandes recursos y el de los importadores y consumidores de energía son factores que pueden afectar significativamente el desarrollo del proceso de transición hacia un sistema energético económica y medioambientalmente más sostenible.

REFERENCIAS

- Box, G., y Tiago, G. (1975). Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. *Journal of the American Statistical Association*, 70-92.
- Bowers, D., Rasmussen, W., y Baker, G. (1984). History of agricultural price-support and adjustment programs, 1933-84. *Agricultural Information Bulletin* (485). Washington, D.C.: USDA-ERS.
- Crosbie, J. (1993). Interrupted time-series analysis with brief single-subject data. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 61 (6), 966-974.
- Cunningham, L., Roberts, B., Canis, B., y Yacobucci, B. (2013). *Alternative fuel and advanced vehicle technology incentives: A summary of federal programs*. Estados Unidos de América: Congressional Research Service.
- Darril, R., De la Torre Ugarte, D., y Tiller, K. (2003). *Rethinking US agricultural policy: Changing course to secure farmer livelihoods worldwide*. Tennessee: Agricultural Policy Analysis Center. The University of Tennessee.
- Gardner, B. (2000). International trade and the future of american agriculture. *Journal of Agribusiness*, 27-40.
- Gottman, J. (1981). *Time-Series Analysis: A Comprehensive Introduction for Social Scientists*. New York: Cambridge University Press.
- Halff, A. (2008). Energy nationalism, consumer style: How the quest for "energy independence" undermines U.S. ethanol policy and energy security. *Stanford Law & Policy Review*, 19, 402-425.
- Hudson, J. (1994). *Making the Corn Belt: A geographical history of Middle-Western agriculture (Midwestern History & Culture series)*. Bloomington: Indiana University Press.
- Lazzari, S. (2005). Energy tax policy: An economic analysis. *CRS Report for Congress*. Estados Unidos de América: Congressional Research Service.
- Lazzari, S. (2006). Energy tax policy: history and current issues, RL33578. *CRS Report for Congress*. Estados Unidos de América: Congressional Research Service.
- McDowall, D., McCleary, R., Meidinger, E., y Hay, R. (1980). *Interrupted time series analysis. Quantitative applications in the social sciences*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Neustrom, M. W. y Norton, W. M. (1993). The impact of drunk driving legislation in Louisiana. *Journal of Safety Research*, 24(2), 107-121.
- OCDE-FAO. (2013). *Agricultural outlook 2013-2022*. OECD Publishing.

- Rodríguez Morales, J. (2014). *La regulación de los biocarburantes en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea. Un análisis económico e institucional* (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- Schnepf, R., y Yacobucci, B.D. (2013). Renewable Fuel Standard (RFS): Overview and issues. *CRS Report for Congress*. Estados Unidos de América: Congressional Research Service.
- Seminario, F. (2008). A tale of two subsidies: How federal support programs for ethanol and biodiesel can be created in order to circumvent fair trade challenges under World Trade Organization ruling. *26 Penn State International Law Review* 963.
- Sumner, A., Arha, K., y Josling, T. (2007). *Commodity policy and the 2007 Farm Bill*. En Stanford University's Woods Institute for the Environment (ed.). Stanford, CA:Thompson.
- Sumner, D. (2000). Agricultural policy reform in an historical context. *Agricultural and Resource Economics Update*.
- US DOE. (2013). *Energy Timelines*. United States Department of Energy. Recuperado de http://www.eia.gov/kids/energy.cfm?page=tl_ethanol
- US-EPA. (setiembre de 2012). *Clean air act requirements and history*. United States Environmental Protection Agency. Recuperado de <http://www.epa.gov/air/caa/requirements.html>
- USDA-ERS. (1985). History of agriculture price support and adjustments programs, 1933-1984. Background for 1985 Farm Legislation. *Agriculture Information Bulletin*, (485). Washington, D.C.: Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture.
- Woodfield, T. (2000). *Time series intervention analysis using SAS software*. SAS Institute Inc.