

## DEFINICIÓN Y PRIORIZACIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE BIOCARBURANTES EN ESPAÑA

Francisca Fernández-Tirado<sup>a</sup>, Carlos Parra-López

<sup>a</sup>Área de Economía y Sociología Agrarias. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. IFAPA Centro Camino de Purchil. Granada. E-mail: francisca.fernandez.tirado@juntadeandalucia.es

### Abstract

The promotion of biofuels is now a subject of great controversy in academic, political and social contexts, because of potential environmental, economic and social repercussions that biofuels might trigger, such as increasing food prices, or the loss of biodiversity. The European Directive on the promotion of renewable energy use (CE, 2009) has conditioned the development of biofuels to their sustainability, in order to avoid negative impacts. Thus, Member States will have to design support systems to encourage the use of biofuels provided they meet certain criteria of sustainability, planning further institutional support for those biofuels which provide additional benefits.

This work defines a multicriteria model to evaluate the sustainability of biofuels in Spain through a discrete multiple criteria decision methodology, the Analytic Hierarchy Process (AHP) combined with a system of indicators. The proposed model allows the assessment of criteria and variables in a context of 'strong comparability' of values (by the system of indicators), as well as 'weak comparability' (through the AHP technique.) While the indicators provide an estimate of measurable variables, the technique of paired comparisons of AHP allows the comparison of incommensurable variables. Finally, with this model different types of biofuels can be prioritized according to the level of sustainability, which can guide policy makers to create a support system for biofuels.

**Keywords:** Sustainability, biofuels, comparability, commensurability, indicators, AHP

### Resumen

El fomento de los biocarburantes ha constituido en los últimos años un tema de gran controversia y polémica a nivel académico, político y social, debido a las repercusiones ambientales, económicas y sociales que el uso y la producción de los mismos pueden desencadenar. Mientras la mayoría de los gobiernos están apostando por el fomento de los biocarburantes, principalmente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la seguridad en el abastecimiento de combustibles, numerosas voces están surgiendo en contra de los mismos, haciéndoles responsables de problemas tales como el aumento del precio de los alimentos. En la UE, la propuesta de Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, ha condicionado el fomento de los biocarburantes a la sostenibilidad de los mismos, con el objetivo de evitar graves repercusiones negativas. De esta forma los Estados miembros han de diseñar un sistema de apoyo para fomentar el uso de biocarburantes siempre que cumplan con una serie de criterios de sostenibilidad, previéndose un mayor soporte institucional a la producción y consumo de biocarburantes que aporten ventajas adicionales. En este trabajo se ha definido un modelo multicriterio para evaluar la sostenibilidad de la producción y consumo de los biocarburantes en España. Para definir el modelo se ha

Fernández,F; Parra,C

combinado una metodología de decisión multicriterio discreta, el proceso analítico jerárquico (AHP), con un sistema de indicadores, incluyendo una serie de criterios (ambientales, económicos y sociales) que una serie de expertos han considerado de relevancia en España para evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes. AHP es una metodología que permite la resolución de problemas de toma de decisiones complejas, en las que existen múltiples criterios y actores implicados, en escenarios de gran incertidumbre y riesgo, como ocurre en el caso de los biocarburantes. El modelo aquí propuesto permite la evaluación de criterios y variables tanto en un contexto de 'comparabilidad fuerte' de valores (sistema de indicadores), como de 'comparabilidad débil' (AHP). Mientras los indicadores permiten una medición directa y exacta de las variables, cuando éstas existen o son posibles de calcular, la técnica AHP permite la comparación de variables inconmensurables, para las que no existe una unidad común de medida. El modelo permite establecer un orden de prioridades de naturaleza escalar del nivel de sostenibilidad de diferentes tipos de biocarburantes, que puede orientar a los decisores políticos para establecer un sistema de apoyo a los mismos, teniendo en cuenta tanto las ventajas como los inconvenientes económicos, ambientales y sociales que presentan unos biocarburantes con respecto a otros, tal y como señala la normativa europea.

**Palabras clave:** *Sostenibilidad, biocarburantes, comparabilidad, conmensurabilidad, indicadores,*

## 1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad del actual modelo de producción y consumo de biocarburantes constituye un tema de plena actualidad y debate a nivel internacional. Mientras muchos gobiernos están apostando por sistemas de apoyo para fomentar su uso, como es el caso de los países de la Unión Europea, numerosas voces están surgiendo en contra del desarrollo de los mismos. Como consecuencia, se ha generado una diversidad de opiniones en defensa o en contra de los biocarburantes, cuyas raíces se pueden encontrar en las repercusiones ambientales, económicas y sociales que la expansión de los mismos puede desencadenar. Dentro del campo de las energías renovables, los biocarburantes quizás representen hoy en día el sector con mayor incertidumbre en cuanto a sus impactos ambientales, económicos y sociales. Así, en los últimos años se han publicado numerosos informes y trabajos científicos que han puesto en tela de juicio la viabilidad de los biocarburantes en

alguna de las dimensiones del desarrollo sostenible (ambiental, económica o social) (p.ej. Doornbosch y Steenblik, 2007; Tió, 2007; EAC.HC, 2008).

En la Unión Europea ha sido aprobada la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, en la que se establece un objetivo vinculante mínimo del 10% como cuota de biocarburantes utilizados en el transporte para 2020, condicionado a un régimen de sostenibilidad de los mismos. De esta manera, para que los biocarburantes puedan ser contabilizados como tales en el porcentaje obligatorio en la mezcla con los carburantes fósiles y puedan beneficiarse de una prima en el mercado han de cumplir una serie de criterios de sostenibilidad. En concreto dicha normativa establece, en su artículo 15, los criterios mínimos que han de ser cumplidos por los biocarburantes, los cuales incluyen requerimientos para las emisiones de gases de efecto invernadero, la biodiversidad, los cambios de uso del suelo y las

buenas prácticas agrarias. En este contexto, cada Estado miembro ha de diseñar un sistema de apoyo para fomentar el uso de biocarburantes que cumpla con dichos criterios de sostenibilidad. Pero además, al diseñar sus sistemas de apoyo, los Estados podrán incentivar el uso de biocarburantes que aporten ventajas adicionales. Así, por ejemplo, es sabido que el biodiésel elaborado a partir de aceites usados presenta una serie de ventajas adicionales, como, por ejemplo, favorecer la gestión de estos aceites reduciendo la carga contaminante en las depuradoras de aguas residuales urbanas, o presentar menos emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con el biodiésel producido a partir de cultivos energéticos (CIEMAT, 2006 ). Estas ventajas adicionales han motivado que el Gobierno del Reino Unido haya prolongado la exención de impuestos de 0,20 libras esterlinas exclusivamente para los biocarburantes elaborados a partir de aceites reciclados, habiendo existido hasta Abril de 2010 para todos los biocarburantes (RFA, 2009 ).

Cuando en cambio la producción de biocarburantes presente desventajas adicionales y no cumpla con los criterios de sostenibilidad que impongan los Estados miembros no serán apoyados por los mismos. Así, por ejemplo, no serán apoyados en la UE los biocarburantes que conlleven una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de menos del 35% (en comparación con los combustibles fósiles) o los procedentes de materias primas cultivadas en tierras con elevadas reservas de carbono, en conformidad con la Directiva 2009/28/CE (CE, 2009).

La complejidad de las implicaciones y los múltiples impactos que el uso de biocarburantes puede generar, afectando a las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y

social), hacen que la evaluación de la sostenibilidad de los biocarburantes deba de ser una cuestión multicriterio, englobando criterios de las tres dimensiones de la sostenibilidad. Además, los criterios de sostenibilidad deben referirse a las diferentes etapas de la cadena de valor o ciclo de vida (producción, almacenamiento, transporte, consumo, etc).

Definir un modelo para evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes consiste en la elaboración de un sistema racional de criterios de sostenibilidad y de alternativas de producción y consumo de biocarburantes y la priorización, o asignación de importancia relativa, de los mismos. Estos modelos para evaluar la sostenibilidad constituyen un paso previo a los esquemas de certificación de biocarburantes, que conformarán la herramienta básica para evaluar la sostenibilidad y verificar que se cumplan unos requisitos mínimos en relación con cada uno de los criterios.

En la mayoría de los trabajos sobre sostenibilidad de biocarburantes llevados a cabo hasta el momento se habla principalmente de criterios de sostenibilidad, si bien, también es común la referencia a principios, requerimientos, estándares e indicadores. Algunos de estos conceptos nos serán de utilidad posteriormente por lo que se describen a continuación.

- Principios: Son reglas o normas de conducta basados en valores morales que actúan como orientadoras de una acción humana.
- Criterios: Son reglas, normas o condiciones conforme a las cuales se establece un juicio de valor o una decisión. En definitiva, son las condiciones que se han de cumplir para lograr los principios (RSB, 2009). Cuando a un criterio se le asigna una dirección de mejora se le suele llamar objetivo. Por ejemplo, si un criterio de sostenibilidad de los biocarburantes

es el calentamiento global, un objetivo es la reducción del calentamiento global. No obstante, en la bibliografía científica frecuentemente no se realizan distinciones entre unos y otros.

- Requerimientos o estándares: Brindan más detalle sobre los criterios. Se trata de las especificaciones que regulan la realización de ciertos procesos para que se cumpla con los objetivos. Por ejemplo, un requisito de los biocarburantes en la UE es que conlleven una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de como mínimo un 35% (en comparación con los combustibles fósiles).
- Indicadores: Son los instrumentos utilizados para la medición de los criterios. Ayudan a discernir si se cumplen o no los requerimientos. El uso de indicadores en el presente estudio se explica con más detalle en los apartados 2 (metodología) y 3 (resultados).

El mercado de los biocarburantes es un mercado globalizado, con elevadas cifras de exportaciones e importaciones entre países tanto de las materias primas para producirlos como del producto final puro o mezclado con combustibles convencionales. Por ello, se tiende a pensar que un sistema que certifique la sostenibilidad de los biocarburantes ha de ser aprobado a nivel internacional (GBEP, 2008). En este sentido, diversos esfuerzos están siendo llevados a cabo para desarrollar un sistema de certificación de biocarburantes a nivel internacional por diversos organismos, por ejemplo, por la Roundtable on Sustainable Biofuels, la Global Bioenergy Partnership (GBEP) o por el Comité Europeo de Normalización (CEN) (Zah et al., 2009).

A nivel nacional, en la actualidad varios países europeos, como Holanda, el Reino Unido y Alemania, han desarrollado iniciativas de evaluación de la sostenibilidad de los

biocarburantes mediante criterios y sistemas de certificación (van Dam, 2009). Sin embargo, en España aún no se ha establecido ningún sistema de certificación, así como tampoco criterios de sostenibilidad adicionales a la normativa europea de energías renovables.

La definición de un modelo para evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes tanto a nivel internacional como a otros niveles (como paso previo a la implantación de un sistema de certificación) es una tarea compleja, debido principalmente a la gran variedad de materias primas que pueden ser usadas para la elaboración de biocombustibles y a los diversos contextos socioeconómicos, políticos y ambientales en los que los biocarburantes pueden ser producidos o consumidos.

En cuanto al primer factor, la diversidad de materias primas, ha motivado que paralelamente a los esquemas desarrollados hasta la actualidad para evaluar la sostenibilidad de biocarburantes, también se hayan ido desarrollando, por parte de varios organismos (principalmente industrias y ONGs), esquemas de certificación y criterios de sostenibilidad específicos para algunas de las materias primas más comúnmente utilizadas para su producción, como por ejemplo, los de la Round Table on Responsible Soy (RTRS) o la Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO).

En cuanto al segundo factor, el contexto de producción o consumo, también pueden hacer variar los impactos derivados de los biocarburantes (incluso tratándose de biocarburantes producidos con la misma materia prima), ya que las condiciones de cultivo, los métodos de producción, las características socioeconómicas, políticas, etc., pueden incidir en los mismos. Además la importancia que la sociedad conceda a estos impactos dependerá de

este contexto, y por tanto la prioridad que se le asigne a los distintos criterios de sostenibilidad también puede variar.

La producción y el consumo de bioenergía no pueden maximizar todos los criterios de sostenibilidad, y por tanto, dependiendo de las prioridades que los gobiernos concedan a los mismos, las políticas irán encaminadas a favorecer más unos u otros, teniendo en cuenta los trade-offs que existen entre los mismos. Por ejemplo, la seguridad energética y el cambio climático son los criterios de sostenibilidad más importantes para la UE y otros países productores y consumidores de biocarburantes como Brasil y China, mientras que el rendimiento económico juega un papel más importante que el cambio climático en India (GBEP, 2008).

Como consecuencia, el concepto de sostenibilidad, que engloba criterios ambientales, económicos y sociales, varía según la región, ya que dependerá esencialmente de los principios que se adopten, que a su vez variarán regionalmente según las características socioeconómicas y ambientales. Por ello, a la hora de evaluar la sostenibilidad es necesario hacerse la pregunta ¿sostenibilidad para quién?, pues lo que es sostenible para unas regiones puede no serlo para otras. En este sentido, el término de sostenibilidad y el de desarrollo sostenible han sido criticados en numerosas ocasiones, ya que se le ha dado significados totalmente distintos según quien lo interprete. Además, se trata de un término muy ambiguo que ha sido utilizado de forma generalizada como objetivo final de diferentes políticas en diferentes contextos refiriéndose a fines completamente distintos, por lo que el término en sí ha sufrido numerosas críticas (Athanasakis, 2002). Así, el término de desarrollo sostenible resulta ser lo que alguna vez

se ha llamado un "concepto esencialmente discutible" (Riechmann et al., 1995). Los términos desarrollo y sostenible se combinan en un oxímoron, sobre el cual es necesario reflexionar (Redclift, 2009). Para definir qué se entiende por sostenibilidad en una región determinada habrá que identificar cuáles son los objetivos de ésta y priorizarlos (Meadowcroft, 1999).

Los impactos potenciales derivados de los biocarburantes son tan dispares en función de los factores anteriormente analizados, que los organismos que están trabajando en este terreno están estableciendo un número bastante elevado de criterios de sostenibilidad de biocarburantes. Por ejemplo, la Roundtable on Sustainable Biofuels ha establecido 37 criterios para su evaluación, englobados en 12 principios (RSB, 2009), mientras que la Global Bioenergy Partnership (de la cual el Gobierno español también forma parte) aún está en proceso de elaboración de la lista de criterios e indicadores, debido a la complicada tarea que esto supone. Mientras que es relativamente sencillo proponer una serie de criterios para evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes, la tarea más complicada es establecer los indicadores que sean capaces de medir objetivamente esos criterios (Hecht et al., 2009).

Consciente de la variedad de sistemas de certificación de sostenibilidad de biocarburantes que pueden establecerse dependiendo de los factores explicados con anterioridad, la Comisión Europea ha alentado al sector energético, a los gobiernos y a las ONG a que fijen diversos regímenes de certificación voluntarios para los biocarburantes, tras lo que evaluará su fiabilidad y su protección frente al fraude en las auditorías (RAPID, 2010).

En este contexto, los objetivos principales del presente artículo son:

- Identificar cuáles son los criterios y subcriterios más importantes para evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes en España, realizando un diagnóstico de los impactos positivos y negativos, de mercado y de no mercado (o externalidades), que los biocarburantes pueden desencadenar a nivel estatal, como la seguridad en el abastecimiento de combustibles, y a nivel global, como el aumento de la pobreza o la pérdida de biodiversidad.
- Identificar una serie de indicadores para medir cada uno de ellos.
- Realizar una priorización o ponderación de los subcriterios establecidos en el contexto nacional español.

Quedan al margen de este trabajo la definición de los requisitos o estándares que han de cumplir los procesos implicados a lo largo del ciclo de vida de los biocarburantes para que cumplan con los criterios establecidos, así como la evaluación de la sostenibilidad en base a estos criterios de tipos de biocarburantes concretos. Esta tarea, con la cual quedaría totalmente definido un régimen de certificación de biocarburantes para España se pretende realizar en investigaciones posteriores.

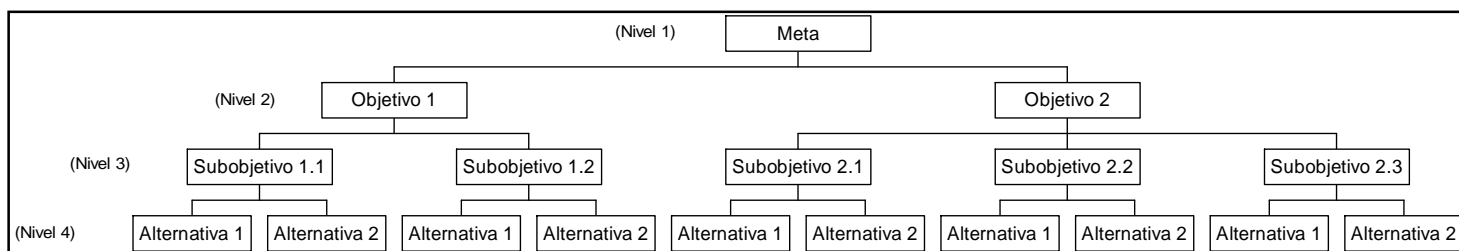
## 2. METODOLOGÍA

Debido a la variedad de criterios que es necesario tener en cuenta para analizar la sostenibilidad de los biocarburantes, es lógico que el modelo propuesto con este fin se asiente en una metodología multicriterio dentro del

paradigma del Análisis de Decisiones Multi-Criterio (MCDA - Multiple Criteria Decision Analysis). Según Martínez-Alier et al. (1998), la principal ventaja de los modelos multicriterio es que permiten considerar un gran número de datos, relaciones y objetivos que están generalmente presentes cuando hay que tomar una decisión específica en los problemas que ocurren en el mundo real. Además, según este autor el análisis multicriterio es una buena herramienta para la evaluación de la sostenibilidad.

En los últimos años los métodos MCDA están siendo ampliamente utilizados para la toma de decisiones en el contexto de sistemas complejos en los que múltiples criterios deben ser evaluados y diferentes agentes decisores y afectados han de ser considerados. Para una revisión exhaustiva de los métodos MCDA véase Figueira et al. (2005). En concreto, la técnica escogida en este trabajo es la metodología de decisión multicriterio discreta AHP (Analytic Hierarchy Process), si bien esta metodología, ha sido combinada con un sistema de indicadores. El modelo propuesto se ha estructurado según una jerarquía de decisión, característica de metodologías multicriterio como AHP. Esta estructura jerárquica ayuda a resolver problemas de toma de decisiones a través de las comparaciones entre los elementos de los diferentes niveles. Los elementos engloban, de manera general, meta, objetivos o criterios, subobjetivos o subcriterios y alternativas (Forman y Selly, 2001). Un ejemplo de jerarquía de decisión puede verse en la Figura 1.

Figura 1. Ejemplo de jerarquía de decisión con 4 niveles



Fuente: Parra López (2003)

Se explican a continuación cada uno de los elementos que la integran:

- Meta: Es el criterio u objetivo principal que se pretende alcanzar al resolver el problema de toma de decisiones. En nuestro caso este objetivo es evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes.
- Criterios u objetivos: Como se ha indicado anteriormente, un criterio u objetivo es una regla o canon para discernir una cosa de otra. Un criterio puede ser descompuesto en varios sub-criterios.
- Alternativas: Constituyen las posibles soluciones al problema. Las alternativas deben ser evaluadas y comparadas unas con otras en base a los elementos del nivel superior (sub-criterios o criterios). El grado de cumplimiento o satisfacción de los criterios por parte de las diferentes alternativas servirá para seleccionar la mejor u ordenarlas.

Una vez que la jerarquía ha sido establecida, los elementos de cada nivel han de ser evaluados con respecto al cumplimiento del elemento del nivel superior del que dependen. Esta evaluación tiene como fin priorizar, es decir, asignar un peso, a los diferentes elementos del modelo. La priorización de elementos puede realizarse mediante medidas absolutas, cuando existe una unidad común de medida entre los elementos que se comparan (ya sean unidades

monetarias o físicas), o mediante medidas relativas, cuando existe una ausencia de unidad común para su comparación o el esfuerzo requerido para su estimación de forma absoluta es demasiado grande.

Desde una perspectiva filosófica, O'Neill y Davis (1993) en Martínez-Alier et al. (1998) distinguen entre los conceptos de comparabilidad fuerte (cuando existe un único término comparativo, es decir, una propiedad singular entre varios elementos, que permite la comparación y clasificación mediante una sola medida de valor) y comparabilidad débil (cuando existen una pluralidad irreducible de valores, de tal forma que los distintos elementos del sistema pueden ser comparados racionalmente sin ser capaz de darles un único orden a los diferentes criterios de comparación que coexisten).

Por otra parte, O'Neill y Davis (1991) en Martínez-Alier et al. (1998) también distinguen entre los conceptos de conmensurabilidad e inconmensurabilidad. El término inconmensurabilidad se refiere a la ausencia de un único término comparativo a través del cual los elementos del sistema puedan ser pesados. Ahora bien, la inconmensurabilidad de valores no significa que estos elementos no puedan ser comparados entre sí y priorizados. En este caso, los elementos pueden ser comparados sobre una base racional, aunque, pudiéndose aspirar solamente a una comparabilidad débil (Martínez-Alier, 1998).

La conmensurabilidad de valores se refiere a la existencia de un único término comparativo o propiedad singular, lo cual implica una comparabilidad fuerte. No obstante, cuando existe comparabilidad fuerte la conmensurabilidad puede ser de dos tipos: conmensurabilidad fuerte (cuando existe una única medida que permite una comparación cardinal de los valores, de forma que se puede indicar la cantidad, intensidad o grado en que una unidad está presente (por ejemplo, unidades monetarias, toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> o toneladas equivalentes de petróleo)) y conmensurabilidad débil (cuando la medida que permite la comparación no es cardinal, pudiendo ser en estos casos, una medida ordinal, de intervalo o nominal).

En el modelo propuesto en este estudio existe comparabilidad fuerte en los elementos del nivel 4 de la jerarquía (figura 1). En este caso, para el establecimiento de prioridades de las diferentes alternativas se usan indicadores, que permiten una medición de los criterios tanto de forma absoluta (cuando existe conmensurabilidad fuerte) como de forma relativa (cuando existe conmensurabilidad débil o también cuando el esfuerzo necesario para la estimación de una medición absoluta es demasiado grande).

En el resto de niveles de la jerarquía (niveles 1 a 3), los elementos (criterios y sub-criterios) han sido evaluados con la técnica AHP, utilizando un peso relativo mediante 'comparaciones pareadas'. Esta técnica permite una comparabilidad débil de dichos elementos, ya que la naturaleza tan heterogénea que presentan conlleva la inconmensurabilidad de los mismos y, por lo tanto, que una comparabilidad fuerte de los mismos sea imposible.

## 2.1. Priorización mediante un sistema de indicadores

Como se ha indicado, los elementos del nivel 4 (alternativas, en nuestro caso tipos de biocarburantes), pueden evaluarse según un único término comparativo o propiedad singular, y por lo tanto presentan comparabilidad fuerte, y pueden ser medidos mediante un sistema de indicadores.

El concepto indicador ha sido definido en numerosas ocasiones por diversos autores. Las definiciones varían ampliamente, habiéndose utilizado frecuentemente gran cantidad de conceptos tales como variables, parámetros, medidas, medidas estadísticas, valores, instrumentos de medición, etc. Pero, en general, las diferentes definiciones se refieren a un indicador como un vehículo para resumir, comparar y/o comunicar información sobre cuestiones de importancia para la toma de decisiones (OECD, 1999). En el presente trabajo, se entiende por indicador el instrumento que nos permite medir el comportamiento de los diferentes tipos de biocarburantes (alternativas) en cada uno de los subcriterios seleccionados. Según el tipo de medida para la valoración de las alternativas se van a distinguir dos tipos de indicadores:

- Indicadores de conmensurabilidad fuerte: Cuando existe una única medida que permite una comparación cardinal de los valores, de forma que se puede indicar la cantidad, intensidad o grado en que una unidad está presente (por ejemplo, unidades monetarias, toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> o toneladas equivalentes de petróleo). En relación a los biocarburantes, los criterios analizados con mayor frecuencia mediante este tipo de indicadores, utilizando principalmente la técnica del análisis del ciclo de vida, son la energía consumida a lo largo de toda la cadena de valor y



las emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos análisis pueden encontrarse, por ejemplo, en Stephenson et al. (2008), CIEMAT (2005) ó CIEMAT (2006).

- Indicadores de conmensurabilidad débil: Cuando la medida que permite la comparación no es cardinal, pudiendo ser en estos casos, una medida ordinal, de intervalo o nominal. En los esquemas de evaluación de la sostenibilidad de los biocarburantes que se están desarrollando hasta el momento, en muchas ocasiones no se contemplan problemas que se derivan de los biocarburantes a un nivel más "macro", como por ejemplo, el riesgo en la seguridad alimentaria (Upham et al., 2009), debido a la complejidad de su medición de forma cardinal mediante indicadores de conmensurabilidad fuerte. La búsqueda de este tipo de indicadores conlleva en muchas ocasiones la necesidad de gran cantidad de datos de difícil disponibilidad, principalmente debido a su alto coste (OECD, 1999). De esta forma en muchas ocasiones algunos criterios de gran relevancia han sido omitidos, por la ausencia de datos, y otros criterios de menor relevancia han sido incorporados al sistema, por la fácil disponibilidad de los mismos. Por este motivo, cuando la disponibilidad de los datos es dificultosa, pero la relevancia del criterio es alta, se ha decidido establecer indicadores de conmensurabilidad débil, cuyo valor puede resolverse de forma ordinal o nominal mediante consulta a expertos.

Por otra parte, el sistema de indicadores establecido representa una simplificación de la realidad, y no una descripción exacta de la misma. En este sentido, se ha considerado importante que el número de indicadores no sea excesivo, siguiendo las recomendaciones de OECD (1999), pretendiendo los siguientes objetivos:

- Generar una visión clara de la realidad, ya que un conjunto de indicadores muy elevado podría dar una visión demasiado confusa de la misma.
- Reducir el número de mediciones y parámetros necesarios para evaluar las alternativas en análisis posteriores. Este objetivo atiende principalmente a cuestiones de limitaciones económicas y temporales.
- Simplificar la comprensión de los resultados por parte de los políticos y otros agentes decisores para facilitar la toma de decisiones y el diseño de políticas.

## 2.2. Priorización mediante la metodología AHP

AHP es una metodología que permite la resolución de problemas de toma de decisiones complejos, en los que existen múltiples criterios a considerar y actores implicados, en escenarios de gran incertidumbre por falta de información y riesgo, como ocurre en el caso de la sostenibilidad de los biocarburantes.

La metodología AHP (Analytic Hierarchy Process, Proceso Analítico Jerárquico), desarrollada en la escuela de negocios Wharton School of Business por Thomas Saaty (Saaty, 1977 y 1980), es una *técnica de decisión multicriterio discreta*, que propone la descomposición de un problema de toma de decisiones en partes más pequeñas, es decir, lo que en términos científicos se conoce como el análisis del problema, y su estructuración mediante la construcción de una jerarquía de decisión (Parra López, 2003). Posteriormente, se asignan pesos a los diferentes elementos de la jerarquía. Para ello, AHP utiliza un peso relativo mediante comparaciones pareadas basado en juicios de personas, de manera que por medio de una escala relativa (verbal, gráfica o numérica) los elementos son comparados de dos

en dos con respecto al elemento del nivel superior del que dependen.

Muchas personas pudieran poner en duda la exactitud de los juicios que son emitidos sin necesidad de una escala estándar. Sin embargo, los resultados de este método han sido probados experimentalmente habiéndose demostrado que se trata de una técnica extremadamente precisa (Forman and Selly, 2001).

En el presente trabajo se ha utilizado la opinión de siete expertos en agricultura, economía agraria y ciencias ambientales. En entrevistas individuales cara a cara se les pedía que evaluaran la importancia de diferentes criterios y subcriterios de sostenibilidad ambiental, económica y social en el contexto español. La selección de los criterios y subcriterios de sostenibilidad que los expertos debían evaluar fue realizada previamente principalmente en base a la literatura científica (Fernández-Tirado and Parra-López, 2008), pero además, algunos criterios fueron añadidos por los expertos.

En esta fase se pretendía valorar, para cada *cluster* del árbol jerárquico (conjunto de elementos que dependen de un elemento superior común), las *prioridades o pesos locales parciales* ( $\omega_L$ ) de cada uno de los elementos. En todo cluster los pesos estarán normalizados, es decir, se impone que se cumpla la condición:

$$\sum_{i=1}^n \omega_{L(i)} = 1$$

Siendo  $\omega_L$  el peso o la prioridad local de un subnodo o criterio "i" respecto a su nodo padre y n el número de subnodos o criterios del cluster.

La metodología AHP propone mediante las comparaciones pareadas un procedimiento indirecto para calcular estas prioridades. En lugar de tratar de averiguar directamente el valor de las

mismas, se trata de averiguar las *razones* (cocientes) entre las mismas y, a partir de ellas, calcular los pesos o prioridades locales. Para cada *cluster* el experto o persona interesada debe emitir *juicios* a través de *comparaciones pareadas simples* de todas las posibles combinaciones de *pares* de elementos (criterios o subcriterios) con respecto al grado de cumplimiento del elemento del que dependen.

Si para un cluster estos pesos fuesen conocidos, los cocientes entre los mismos se podrían calcular directamente y se podría construir una *matriz teórica de comparaciones pareadas*, que se puede definir como:

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} \omega_{L(1)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(1)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(1)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(1)}/\omega_{L(n)} \\ \omega_{L(2)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(2)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(2)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(2)}/\omega_{L(n)} \\ \omega_{L(3)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(3)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(3)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(3)}/\omega_{L(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{L(n)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(n)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(n)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(n)}/\omega_{L(n)} \end{pmatrix}$$

Si se opera algebraicamente se tiene:

$$\begin{pmatrix} \omega_{L(1)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(1)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(1)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(1)}/\omega_{L(n)} \\ \omega_{L(2)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(2)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(2)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(2)}/\omega_{L(n)} \\ \omega_{L(3)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(3)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(3)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(3)}/\omega_{L(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{L(n)}/\omega_{L(1)} & \omega_{L(n)}/\omega_{L(2)} & \omega_{L(n)}/\omega_{L(3)} & \dots & \omega_{L(n)}/\omega_{L(n)} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \omega_{L(1)} \\ \omega_{L(2)} \\ \omega_{L(3)} \\ \dots \\ \omega_{L(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n * \omega_{L(1)} \\ n * \omega_{L(2)} \\ n * \omega_{L(3)} \\ \dots \\ n * \omega_{L(n)} \end{pmatrix}$$

O lo que es lo mismo, en notación matricial:

$$\hat{A} * \omega_L = n * \omega_L$$

Todo lo dicho hasta el momento es en el supuesto de que los pesos o prioridades locales,  $\omega_L$  fueran conocidos y, a partir de ellos, se calcularan los ratios  $a_{ij}$  y la matriz  $\hat{A}$ . Sin embargo, como ya se ha indicado, la metodología AHP propone justamente el camino contrario, es decir, a partir de los ratios  $a_{ij}$ , calcular los pesos locales. De esta forma, al preguntar a en lugar de disponer de la *matriz teórica de comparaciones pareadas* ( $\hat{A}$ ), se dispone de la *matriz expresada de comparaciones pareadas* ( $\hat{A}^*$ ), (o, simplemente, *matriz de comparaciones pareadas*), que es una estimación o aproximación de la anterior. Cada

elemento de la esta matriz, que es un juicio del evaluador, se puede definir como:

$$a_{i,j}^* = \left( \omega_{L(i)} / \omega_{L(j)} \right)^*$$

En este caso se cumple:

$$\hat{A}^* * \varpi_L \cong n * \varpi_L$$

Si  $\hat{A}^*$  no difiere mucho de  $\hat{A}$ , se demuestra (Forman y Selly, 2001) que se cumple:

$$\hat{A}^* * \varpi_L = \lambda * \varpi_L$$

La resolución de este sistema de ecuaciones, generalmente mediante el método de los vectores propios, revelará las prioridades de cada elemento con respecto a los elementos superiores de los que depende así como un indicador de la consistencia de los juicios del evaluador.

Finalmente, para calcular la prioridad global de cada una de las alternativas (la cual nos indicará la sostenibilidad de cada uno de los biocarburantes) habrá que sintetizar las prioridades de las mismas mediante la agregación ponderada de las prioridades locales o parciales de cada una de ellas en toda la jerarquía. El

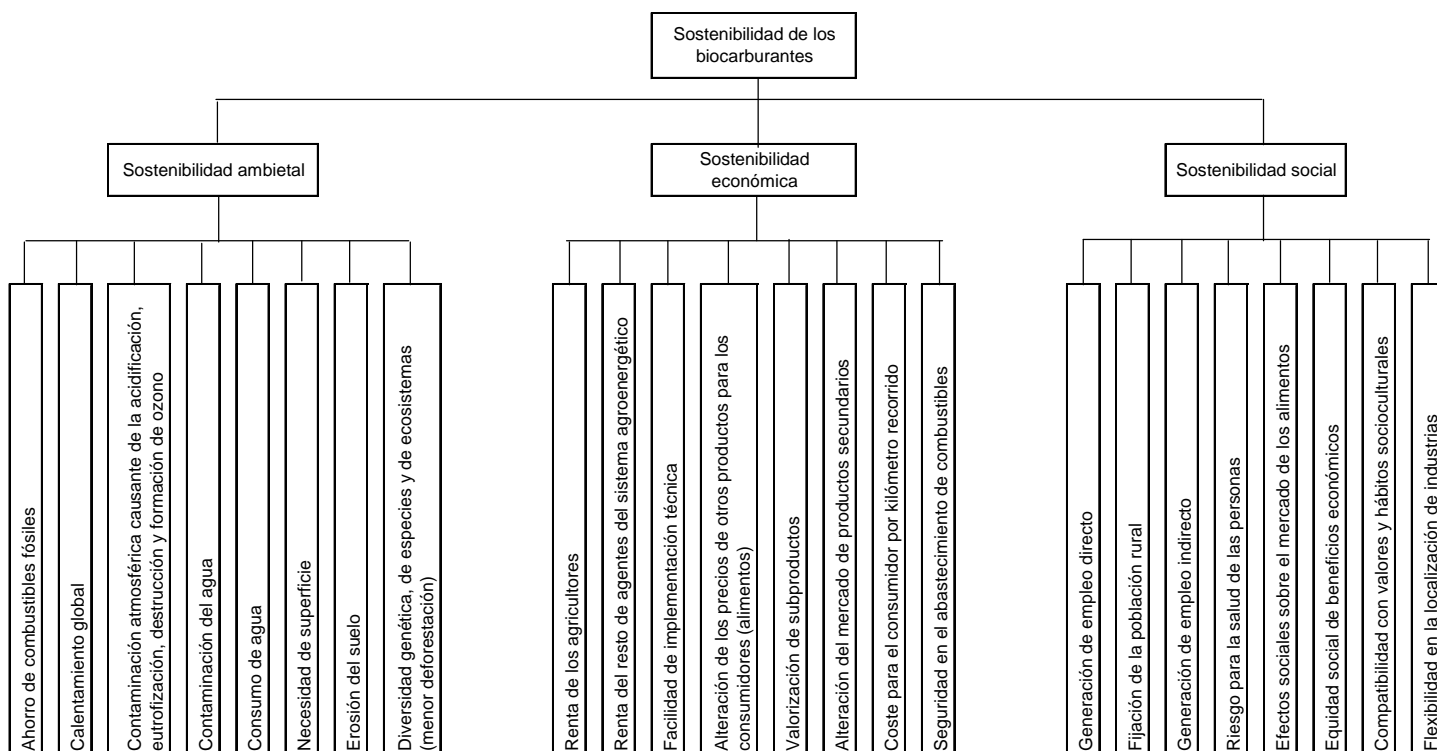
proceso de síntesis de las prioridades globales se llevará a cabo en futuras investigaciones.

### 3. RESULTADOS

En el modelo propuesto, la meta (nivel 1 de la jerarquía) corresponde a evaluar la sostenibilidad de los biocarburantes en España. De la meta parten tres clusters (nivel 2 de la jerarquía), cada uno de los cuales reflejan las tres dimensiones del desarrollo sostenible (sostenibilidad ambiental, económica y social). De cada uno de estos criterios se desprenden varios subcriterios ambientales, económicos y sociales, correspondientes al nivel 3 de la jerarquía.

Con el fin de que el modelo no fuera demasiado complejo, y de que el número de indicadores no fuera excesivo, fueron seleccionados los ocho criterios de cada dimensión del desarrollo sostenible que fueron más relevantes para los expertos consultados de un total de 12 criterios para la dimensión ambiental, 14 para la económica y 9 para la social (Fernández-Tirado and Parra-López, 2008). Los tres primeros niveles de la jerarquía de decisión quedan representados en la Figura 2.

**Figura 2. Jerarquía de decisión para el análisis de la sostenibilidad de los biocarburantes en España**



Fuente: Elaboración propia

Los resultados agregados de las prioridades según los expertos consultados se reflejan en las Tablas 1, 2 y 3.

**Tabla 1. Prioridades de los subcriterios de sostenibilidad ambiental**

| Subcriterios   | Prioridades locales |
|--|---------------------|
| Calentamiento global   | 0,1475              |
| Diversidad genética, de especies y de ecosistemas  | 0,1323              |
| Contaminación atmosférica causante de la acidificación, eutrofización, destrucción de ozono estratosférico y formación de ozono troposférico | 0,1275              |
| Ahorro de combustibles fósiles   | 0,1272              |
| Contaminación del agua   | 0,1251              |
| Erosión del suelo  | 0,1211              |
| Consumo de agua  | 0,1202              |
| Necesidad de superficie  | 0,0990              |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2. Prioridades de los subcriterios de sostenibilidad económica**

| Subcriterios   | Prioridades locales |
|--|---------------------|
| Seguridad en el abastecimiento de combustibles                                 | 0,1624              |
| Alteración de los precios de otros productos para los consumidores (alimentos) | 0,1452              |
| Renta de los agricultores  | 0,1392              |

|   |        |
|---|--------|
| Coste para el consumidor por kilómetro recorrido      | 0,1319 |
| Renta del resto de agentes del sistema agroenergético | 0,1181 |
| Facilidad de implementación técnica                   | 0,1044 |
| Alteración del mercado de productos secundarios       | 0,1015 |
| Valorización de subproductos                          | 0,0973 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. Prioridades de los subcriterios de sostenibilidad social**

| Subcriterios   | Prioridades locales |
|--|---------------------|
| Generación de empleo directo                         | 0,1555              |
| Riesgo para la salud de las personas                 | 0,1428              |
| Efectos sociales sobre el mercado de los alimentos   | 0,1410              |
| Fijación de la población rural                       | 0,1398              |
| Generación de empleo indirecto                       | 0,1186              |
| Equidad social de beneficios económicos              | 0,1124              |
| Flexibilidad en la localización de industrias        | 0,1098              |
| Compatibilidad con valores y hábitos socioculturales | 0,0802              |

Fuente: Elaboración propia

Para el nivel 4 de la jerarquía (alternativas, es decir, tipos de biocarburantes) un sistema de indicadores fue desarrollado, de forma que cada subcriterio de sostenibilidad presente un instrumento de valoración (a través de un indicador) que permita la comparabilidad en sentido fuerte de las diferentes alternativas en base a ese subcriterio, ya sea a través de indicadores de conmensurabilidad fuerte, cuando la disponibilidad de datos de naturaleza escalar lo permita, o a través de indicadores de conmensurabilidad débil, en el resto de los casos.

En las Tablas 4, 5 y 6, se definen los diferentes indicadores para los subcriterios de sostenibilidad, indicando para cada uno de ellos si se trata de un indicador de conmensurabilidad fuerte, cuyos resultados serán obtenidos en base a datos cuantitativos que permitan una comparación cardinal de los valores, o un indicador de conmensurabilidad débil, cuyos resultados pueden ser obtenidos, mediante consulta a expertos, en base a relaciones de intervalo, ordinales o nominales.

**Tabla 4. Subcriterios de sostenibilidad ambiental e indicadores**

| Subcriterios   | Indicadores  | Conmensurabilidad* |
|--|--|--------------------|
| Calentamiento global   | Balance de CO <sub>2</sub> equivalente; emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas a lo largo del ciclo de vida   | F                  |
| Diversidad genética, de especies y de ecosistemas (menor deforestación)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies de ecosistemas de alto valor afectados por los cultivos energéticos</li> <li>• Número de especies silvestres (de flora y fauna) afectadas por los cultivos energéticos</li> <li>• Pérdida de diversidad genética</li> </ul> | D                  |
| Contaminación atmosférica causante de la acidificación, eutrofización, destrucción y formación de O <sub>3</sub> | Emisiones de NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> y COVs a lo largo del ciclo de vida y en la combustión  | F                  |
| Ahorro de combustibles   | Balance energético; energía primaria de origen fósil ahorrada  | F                  |

|                         |  |   |
|-------------------------|--|---|
| fósiles                 | a lo largo del ciclo de vida   |   |
| Contaminación del agua  | Volumen de aguas superficiales y subterráneas contaminadas por la aplicación de fertilizantes y pesticidas                   | D |
| Erosión del suelo       | % de incremento o reducción de materiales desplazados según la superficie de cultivo energético con respecto al uso anterior | F |
| Consumo de agua         | Escasez de agua según el territorio y requerimientos hídricos del cultivo  | F |
| Necesidad de superficie | Superficie necesaria en función del rendimiento del cultivo  | F |

\* F = Fuerte; D = Débil. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Subcriterios de sostenibilidad económica e indicadores

| Subcriterios   | Indicadores   | Conmensurabilidad* |
|--|---|--------------------|
| Seguridad en el abastecimiento de combustibles                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>% de importaciones de petróleo evitadas</li> <li>Número de variedades de materias primas que se utilizan para la producción de biocarburantes</li> <li>Número de regiones de las que proceden las materias primas</li> </ul> | D                  |
| Alteración de los precios de otros productos para los consumidores (alimentos) | % de incremento del precio de los alimentos debido a los biocarburantes   | D                  |
| Renta de los agricultores  | % de incremento de la renta agraria por UTA en las superficies de cultivos energéticos  | F                  |
| Coste para el consumidor por kilómetro recorrido                               | % de incremento en el coste de los biocarburantes para recorrer una misma distancia   | F                  |
| Renta del resto de agentes del sistema agroenergético                          | Valor neto generado por los bienes y servicios derivados de las actividades industriales implicadas en la producción de biocarburantes  | F                  |
| Facilidad de implementación técnica  | % de biocarburantes (en contenido energético) que puede incorporarse mezclado con los carburantes convencionales cumpliendo las especificaciones del RD 61/2006.  | D                  |
| Alteración del mercado de productos secundarios                                | Número de industrias afectadas por la fabricación de productos secundarios (glicerina y piensos)  | D                  |
| Valorización de subproductos   | Toneladas de subproductos: glicerina, tortas oleaginosas y DDGS, obtenidas como subproductos de la industria de biocarburantes, que evitan importaciones de otros países  | F                  |

\* F = Fuerte; D = Débil. Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Subcriterios de sostenibilidad social e indicadores

| Subcriterios                                       | Indicadores   | Conmensurabilidad* |
|--|---|--------------------|
| Generación de empleo directo                       | Número de empleos netos generados en el sistema energético  | F                  |
| Riesgo para la salud de las personas               | <ul style="list-style-type: none"> <li>% de variación de las emisiones de PM, PAHs, SOx, NOx, COVs, CH<sub>4</sub> y CO durante la combustión y % de las emisiones de NOx durante el ciclo de vida</li> <li>Punto de inflamación y LD 50 de los biocarburantes</li> </ul> | F                  |
| Efectos sociales sobre el mercado de los alimentos | Descenso del consumo de alimentos en Países de Ingresos Bajos con Déficit Alimentario debido a los biocarburantes   | D                  |
| Fijación de la población rural                     | Número de empleos generados en zonas rurales  | D                  |
| Generación de empleo indirecto                     | Número de empleos netos generados de forma indirecta  | F                  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Equidad social de beneficios económicos              | Tep producidas por industrias de pequeño tamaño y número de agentes implicados en la cadena                                       | D |
| Flexibilidad en la localización de industrias        | Número de industrias localizadas en zonas donde puedan ser abastecidas por productos nacionales                                   | D |
| Compatibilidad con valores y hábitos socioculturales | Existencia de conflictos graves en contra del desarrollo de biocarburante o de las materias primas necesarias para su elaboración | D |

\* F = Fuerte; D = Débil. Fuente: Elaboración propia

#### 4. CONCLUSIONES

En muchas ocasiones, la toma de decisiones políticas puede verse dificultada por algunos factores como la baja disponibilidad de datos cuantitativos, para medir distintas variables, o la incertidumbre de las repercusiones que dicha decisión política pueda desencadenar. Sin embargo, en múltiples casos y por circunstancias diversas, los gobiernos han de tomar decisiones importantes a corto plazo, cuando concurren varios de estos factores, como ocurre en el caso del diseño de políticas para el apoyo a los biocarburantes. Por lo tanto, la necesidad de un modelo que permita la comparación de diferentes tipos de biocarburantes en base a diferentes criterios (ambientales, económicos y sociales), incorporando algunos factores (como la incertidumbre o la baja disponibilidad de datos), es cada vez más evidente para la toma de decisiones políticas relativas a los biocarburantes. La Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables establece una serie de criterios mínimos que los biocarburantes han de cumplir y asigna a los gobiernos de cada Estado miembro la responsabilidad de la creación de un sistema de apoyo para el fomento de los mismos, especialmente de aquellos que presenten ventajas adicionales.

En este trabajo se ha construido un modelo que combina el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) con un sistema de indicadores, realizando una priorización de subcriterios de

sostenibilidad (ambientales, económicos y sociales) que una serie de expertos consideran de máxima relevancia en España. La técnica AHP ha permitido una comparabilidad débil mediante medidas relativas de los diferentes subcriterios propuestos. Los resultados obtenidos muestran que en este país los subcriterios de sostenibilidad más importantes, según la opinión de siete expertos en agricultura, economía agraria y ciencias ambientales, son, dentro de la dimensión ambiental y por orden de importancia, el "calentamiento global", la "diversidad genética, de especies y de ecosistemas" y la "contaminación atmosférica causante de la acidificación, eutrofización, destrucción de ozono estratosférico y formación de ozono troposférico". Los subcriterios de sostenibilidad económica prioritarios, de mayor a menor peso, son la "seguridad en el abastecimiento", la "alteración de los precios de otros productos para los consumidores (alimentos)" y la "renta de los agricultores". Y los subcriterios de sostenibilidad social prioritarios, con el mismo orden de importancia, son la "generación de empleo directo", el "riesgo para la salud de las personas" y los "efectos sociales sobre el mercado de los alimentos".

Mientras que en la literatura científica relativa a los biocarburantes es frecuente encontrar abundante información sobre los impactos ambientales asociados a ellos, es mucho más escasa la información relativa a impactos económicos y principalmente sociales. Este hecho

es principalmente debido a que la cuantificación, mediante medidas absolutas, de los impactos ambientales es en muchas ocasiones más fácil de lograr, ya que existe un mayor número de indicadores de conmensurabilidad fuerte. Sin embargo, a la hora de evaluar impactos de otras dimensiones (económica y principalmente social) la tarea es más complicada debido a la conmensurabilidad débil que presentan las variables de estudio. Esto ha motivado que en muchos casos algunos criterios de gran relevancia no hayan sido tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones políticas, ya que no habían sido evaluados previamente debido a la ausencia de datos disponibles para su estudio. Por este motivo, en el presente estudio se ha incorporado un conjunto de indicadores de conmensurabilidad débil, que permiten estimar los impactos ocasionados por los diferentes tipos de biocarburantes mediante medidas relativas que expresen los expertos en relación a cada uno de los subcriterios seleccionados. Todo ello con la pretensión de que sirva de ayuda en las decisiones políticas relativas a biocarburantes.

Una vez los indicadores hayan sido medidos, en análisis posteriores, este modelo permitirá una comparación de las ventajas e inconvenientes que presentan los distintos tipos de biocarburantes. A partir de este modelo se podrá establecer un orden de prioridades, de naturaleza escalar, de las diferentes alternativas, en la que puedan basarse políticas para establecer un sistema de apoyo a los biocarburantes que tenga en cuenta tanto los beneficios como los costes que presentan diferentes tipos de biocarburantea, tal y como señala la Directiva 2009/28/CE.

Este modelo proporcionará una herramienta de ayuda para resolver una serie de preguntas relacionadas con los biocarburantes

como pueden ser: ¿sería más sostenible para España producir sus propios biocarburantes o importarlos?, ¿con qué tecnología?, ¿con qué materia prima?, ¿qué cantidad sería posible producir sosteniblemente a nivel nacional?, ¿y qué cantidad consumir sosteniblemente importada de otros países?. Al facilitar la comparación entre diferentes criterios, subcriterios y alternativas, el modelo propuesto permitirá establecer una clasificación de los distintos tipos de biocarburantes en base a su sostenibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por la financiación del Proyecto RTA2005-00150, de título "Análisis de viabilidad económica y valoración de externalidades ambientales en sistemas agrarios orientados a la producción de energía: electricidad y biodiésel", dentro del cual se engloba este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Athanassakis, A. M., 2002, *Sustainable development and protection of the environment: Two management strategies not always compatible*, in A. G. Kungolos, A. B. Liakopoulos, G. P. Korfiatis, A. D. Koutsospyros, K. L. Katsifarakis, and A. D. Demetracopoulos, eds., *Protection and Restoration of the Environment VI*, Vols I - Iii, Proceedings: Thessaloniki, Grafima Ioannis Tsarouchidis, p. 1779-1781.

CE, 2009, *Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y*



*se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.*

CIEMAT, 2005, *Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Energía y cambio climático.* Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) - Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

CIEMAT, 2006, *Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de Biodiésel y Diésel. Energía y cambio climático.* Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) - Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Doornbosch, R., and R. Steenblik, 2007, "Biofuels: Is the cure worse than the disease?" Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). París.

EAC.HC, 2008, "Are biofuels sustainable?" *First Report of Session 2007-2008. Volume I.* Environmental Audit Committee (EAC). House of Commons (HC). Disponible en <http://www.parliament.uk>

Fernández-Tirado, F., and C. Parra-López, 2008, *Objetivos de sostenibilidad para el modelo de producción y consumo de biodiésel en España.* III Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales. Palma de Mallorca. Disponible en <http://www.uibcongres.org>

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.) (2005). "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys". International Series in Operations Research & Management Science. Springer.

Forman, E. H., and M. A. Selly, 2001, *Decision by Objectives: How to Convince Others That You Are Right: World Scientific Publishing Co.*

GBEP, 2008, *A Review of the Current State of Bioenergy Development in G8 +5 Countries.* Global Bioenergy Partnership (GBEP). Disponible en <http://www.globalbioenergy.org/>

Hecht, A. D., D. Shaw, R. Bruins, V. Dale, K. Kline, and A. Chen, 2009, *Good policy follows good science: using criteria and indicators for assessing sustainable biofuel production: Ecotoxicology*, v. 18, p. 1-4.

Martinez-Alier, J., 1998, *Curso de Economía Ecológica. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N° 1. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Martinez-Alier, J., G. Munda, and J. O'Neill, 1998, *Weak comparability of values as a foundation for ecological economics: Ecological Economics*, v. 26, p. 277-286.

Meadowcroft, J., 1999, Planning for sustainable development: what can be learned from the critics?, in M. Kenny, and J. Meadowcroft, eds., *Planning Sustainability: Environmental Politics* (Series): London, Routledge, p. 12-38.

O'Neill, C. E., and J. Davis, 1991, *Alternative definitions of demand for recreational angling in Northern Ireland: Journal of Agricultural Economics*, v. 42, p. 174-179.

OECD, 1999, "Environmental Indicators for Agriculture. Volume 2: Issues and Design. The York Workshop." Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, París

Parra López, C., 2003, *"Sistemas de producción ecológica, integrada y convencional en olivar: Estudio de difusión de innovaciones y evaluación multifuncional"*. Tesis Doctoral. Departamento de Economía, Sociología y Política Agraria. Universidad de Córdoba.: Economía Agraria y Recursos Naturales.

RAPID, 2010, *La Comisión fija un sistema de certificación de los biocarburantes sostenibles*. Comunicado de Prensa. MEMO/10/247. Date:10/06/2010. Disponible en <http://europa.eu/>

Redclift, M. R., 2009, *Sustainable Development (1987-2005) - an Oxymoron Comes of Age: Problemy Ekorozwoju*, v. 4, p. 33-50.

RFA, 2009, *Used cooking oil gets duty relief extension*. Renewable Fuels Digest. Issue No. 17 December 2009. Renewable Fuels Agency (RFA). Disponible en <http://www.renewablefuelsagency.gov.uk>

Riechmann, J., J. M. Naredo, and otros, 1995, *"Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. De la Economía a la Ecología"*. Fundación 1º de Mayo, Editorial Trotta, SA, Madrid, 1995.

RSB, 2009, *Principios y Criterios RSB para la producción sostenible de biocombustible* (versión 1.0). Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB). Disponible en <http://energycenter.epfl.ch/>

Saaty, T.L. (1977). *"A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures"*. Journal of Mathematical Psychology, 15: 234-281.

Saaty, T.L. (1980). *"The Analytic Hierarchy Process"*. McGraw Hill, New York. Reimpreso en 1996 por RWS Publications, Pittsburgh.

Stephenson, A. L., J. S. Dennis, and S. A. Scott, 2008, *Improving the sustainability of the production of biodiesel from oilseed rape in the UK: Process Safety and Environmental Protection*, v. 86, p. 427-440.

Tió, C., 2007, *"Análisis de la actual estrategia europea en materia de biocarburantes. Otras verdades incómodas"*. Asociación Española de Productores de Vacuno de Carne (ASOPROVAC). Disponible en <http://www.asoprovac.com>.

Upham, P., P. Thornley, J. Tomei, and P. Boucher, 2009, *Substitutable biodiesel feedstocks for the UK: a review of sustainability issues with reference to the UK RTFO: Journal of Cleaner Production*.

van Dam, J., 2009, *Sustainability of bioenergy chains: the result is in the details*. Promotor: A.P.C. Faaij, Co-promotor: W.C. Turkenburg, Copernicus Institute, Utrecht University.

Zah, R., M. Faist, J. Reinhard, and D. Birchmeier, 2009, *Standardized and simplified life-cycle assessment (LCA) as a driver for more sustainable biofuels: Journal of Cleaner Production*, v. 17, p. S102-S105.