

*Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 5, 9. (2005). pp. 81-114*

## **Análisis de escenarios de políticas para la gestión pública de la agricultura de regadío**

Laura Riesgo\* y José A. Gómez-Limón\*\*

---

**RESUMEN:** En este trabajo se presenta un enfoque metodológico para el análisis de presiones e impactos de la aplicación conjunta de diferentes escenarios de política agraria y de tarificación del agua de riego. Para alcanzar dicho objetivo se asume que los agricultores consideran distintos criterios en la gestión de su actividad productiva. En este contexto decisional se utilizan modelos de programación matemática basados en la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT), de modo que pueda simularse el comportamiento de los agricultores en el futuro. Como resultado de dicha simulación no sólo se obtienen las variables de decisión de los agricultores (planes de cultivos), sino también un conjunto de indicadores económicos, sociales y ambientales que serán de utilidad para la toma de decisiones políticas. Los resultados obtenidos evidencian la utilidad de este enfoque metodológico para evaluar los efectos derivados de la aplicación conjunta de ambas políticas.

---

**PALABRAS CLAVE:** Modelización multicriterio, Agricultura de regadío, Escenarios, PAC, Política hidráulica.

---

---

\* Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Hª Económica. Universidad Pablo de Olavide. Ctra. de Utrera, km. 1. 41013 Sevilla. E-mail: [lrirealv@upo.es](mailto:lrirealv@upo.es).

\*\* Departamento de Economía Agraria. E.T.S.II.AA. Palencia. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid, 57. 34071 Palencia. E-mail: [limon@iaf.uva.es](mailto:limon@iaf.uva.es)

Los autores agradecen sinceramente las aportaciones del ponente y de los revisores del artículo, las cuales han permitido la mejora de sus contenidos. En cualquier caso, las deficiencias persistentes en el documento son responsabilidad única de los autores. Esta investigación ha sido cofinanciada por la Comisión de la Unión Europea a través del proyecto WADI (Contrato EVK1-CT-200-0057) y la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por medio del proyecto MULTIAGRO (AGL2003-07446-C03-01).

---

*Dirigir correspondencia a:* Laura Riesgo. E-mail: [lrirealv@upo.es](mailto:lrirealv@upo.es).

Recibido en enero de 2005. Aceptado en septiembre de 2005.



---

**Clasificación JEL:** Q25, Q15, C61.

---

**Multi-criteria policy scenarios analysis for public management  
of irrigated agriculture**

---

**SUMMARY:** In this paper we present a methodological approach to analyze the combination of different agricultural policy and irrigation water pricing alternatives. For this purpose we take into account that farmers consider a broad set of criteria at the same time when making decisions. Thus, policy scenario simulations are done through multi-criteria mathematical programming models capable to simulate farmers' future behaviour. For this purpose we have opted for models developed within the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT). It is also worth noting that results obtained from the simulation models are not only related with farmers' decision variables (crop mixes). A set of relevant economic, social and environmental attributes related to public objectives are also obtained as a way of measuring the efficiency of the policy scenarios proposed. The results obtained show the usefulness of this methodological approach to evaluate the combined pressures and impacts of both policies.

---

**KEY WORDS:** Multiple-Criteria modelling, Irrigated agriculture, Scenario analysis, CAP, Water policy.

---

**JEL classification:** Q25, Q15, C61.

---

## 1. Introducción

Al igual que ocurre en otros muchos países, la economía del agua en España ha entrado en las últimas décadas en una fase de «madurez». Esta situación ha puesto de manifiesto la creciente escasez relativa de este recurso, provocando una intensa polémica sobre la eficiencia en el uso de este bien por parte de las explotaciones agrarias, que suponen un 80% del total de la demanda consuntiva (Ministerio de Medio Ambiente, 1998). No obstante, esta situación de madurez de la economía del agua no es propia de España, sino que se extiende a otros países miembros de la Unión Europea (UE), motivo por el cual se aprobó la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, comúnmente conocida como *Directiva Marco de Aguas* o DMA. Sin duda uno de los temas más conflictivos de esta directiva es el artículo relacionado con la tarificación por el uso del agua (artículo 9), que se propone como política de demanda de agua preferente en el seno de la UE, al objeto de proveer «incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos» y, por tanto, contribuir a los objetivos medioambientales que persigue la propia Directiva.

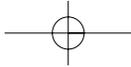
Si bien la tarificación del agua que contempla la DMA es una exigencia ambientalista, la lógica en la que se basa este instrumento económico es puramente economista. En este sentido, los usuarios del agua (por ejemplo, los agricultores de regadío), según la Teoría Económica neoclásica, responderían a la introducción (o incremento) de un precio del agua con una reducción en su consumo, siguiendo una curva de demanda de pendiente negativa. De esta forma el ahorro de agua conseguido podría redistribuirse entre otros usos más productivos (por ejemplo, la industria o las actividades de ocio) o con mayor demanda social (usos medioambientales),

según las preferencias del conjunto de la sociedad. No obstante, el empleo de este instrumento económico, si bien aparentemente justificado desde una perspectiva estrictamente económica, plantea el problema político de la oposición de los actuales usuarios a pagar más por el recurso (en especial los regantes). Este rechazo a la subida de precios del agua es también compartido por aquéllos que valoran positivamente el papel estructurador del territorio que cumple la agricultura de regadío en las zonas rurales (desarrollo rural). En este sentido, se ponen de manifiesto los efectos redistributivos y sociales que deben considerarse igualmente a la hora de tarifar los recursos hídricos.

Además de la introducción de la tarificación del agua de riego, el sector del regadío se enfrenta a otro gran reto, como es el proceso continuado de *reformas de la Política Agraria Común* (PAC). En este sentido, como último hito de este proceso, cabe mencionar la aprobación de la denominada «Reforma Intermedia de la PAC» (MTR), acordada en junio de 2003. Entre las novedades que ésta presenta destaca la disociación o desacoplamiento de las ayudas directas recibidas por los productores. Con ello, los anteriores subsidios ligados a las decisiones de cultivos de los productores han sido sustituidos por un pago único por explotación, calculado en función de la serie histórica que los agricultores han percibido de forma individual, durante el trienio 2000-2002. Este pago único se cobrará independientemente de lo que se cultive (incluso si no se cultiva nada), estando supeditado tan sólo al respeto del código de buenas prácticas relativas a temas agrarios y medioambientales, al bienestar animal y a la seguridad e higiene en el trabajo, en lo que ha venido a denominarse «condicionalidad». Con estos cambios en los mecanismos de apoyo al sector agrario la UE confía en obtener una mayor legitimación tanto a nivel interno (ante consumidores y contribuyentes), como a nivel externo, compatibilizando las ayudas a los agricultores europeos con las pautas marcadas por la Organización Mundial de Comercio (OMC) en lo que respecta al comercio internacional.

En España la entrada en vigor de este nuevo régimen de ayudas, basado en el pago único, está prevista en el año 2006. De manera concreta, nuestro país ha optado por mantener el 25% del pago vinculado a la producción de cultivos herbáceos, exceptuando el pago de retirada obligatoria de tierras de la producción. Tal opción se ha argumentado por la importancia que presentan los cultivos herbáceos en nuestro país, ya que suponen cerca del 40% de la Superficie Agraria Útil (SAU), así como el riesgo cierto de abandono de la actividad en las zonas más marginales.

Las novedades normativas comentadas (DMA y reforma de la PAC) ponen de relieve la incertidumbre a la que se enfrenta el regadío europeo en general, y el español en particular. En efecto, la aplicación de una tarifa volumétrica del agua de riego que recupere en la medida de lo posible los costes asociados al recurso, y la reducción de los precios de intervención y el desacoplamiento de las ayudas, generan un efecto de *tijera de precios*. Ciertamente, mientras la PAC reduce los mecanismos de protección a las producciones agrarias europeas (disminución de los precios agrarios), abogando por una mayor competitividad del sector y una mayor orientación al mercado, la aplicación de la DMA generará un incremento de los costes productivos por el previsible



aumento que experimentarán los precios del agua. De este modo, la aplicación conjunta de ambas políticas puede erosionar la viabilidad del regadío, en especial en aquellas zonas del interior donde predominan cultivos altamente subvencionados y tradicionalmente protegidos comercialmente (cereales, oleaginosas o remolacha). Asimismo, conviene señalar que la aplicación de la nueva PAC y la DMA no sólo va a afectar a la viabilidad financiera de las explotaciones agrarias, sino también a las funciones ambientales y sociales desempeñadas por la agricultura en el medio rural (*multifuncionalidad agraria*), variando la cantidad actual de bienes (p.ej., la viabilidad de los pueblos, el mantenimiento de los paisajes agrarios, etc.) y males (p.ej., contaminación difusa, erosión,...) públicos suministrados por este sector económico al conjunto de la sociedad.

Por la importancia de los motivos apuntados, en el presente trabajo se plantea como objetivo el análisis empírico del impacto potencial sobre la agricultura de regadío que generará la aplicación conjunta de la tarificación del agua y de distintos escenarios de política agraria, al objeto de permitir un análisis pormenorizado de sus repercusiones económicas, sociales y ambientales. De manera más concreta, la aplicación práctica se realiza sobre la agricultura de regadío de la cuenca del Duero, como caso de estudio representativo de la agricultura continental de regadío.

## 2. Metodología

### 2.1. Esquema metodológico

El esquema metodológico que sigue el presente estudio para la consecución del objetivo planteado puede esquematizarse tal y como se plasma en la figura 1.

Siguiendo este esquema, puede afirmarse que la metodología a desarrollar puede dividirse en cuatro etapas principales, como a continuación se expone.

La *primera etapa* trata de establecer los grupos de regantes a analizar de forma diferencial dentro de cada una de las zonas regables en estudio. Estos grupos deben ser lo suficientemente homogéneos en cuanto a la forma de tomar decisiones (ponderación de los objetivos considerados), de manera que la elaboración y resolución de un modelo de programación matemática a nivel agregado no presente sesgos indeseados. Esta agrupación de productores se realiza mediante la técnica de análisis de grupos o técnica cluster, tal y como se recoge en el apartado 2.3.

Una vez establecidos los grupos homogéneos a analizar, en una *segunda etapa* se construyen los modelos matemáticos multicriterio para cada uno de ellos, de forma que éstos permitan la realización de simulaciones independientes sobre la toma de decisiones de los correspondientes regantes ante las potenciales tarifas del agua de riego y los distintos escenarios de política agraria. Para ello deberán plantearse los elementos esenciales de cualquier modelo matemático, como son las variables de decisión (los diferentes cultivos y técnicas admisibles), los objetivos tenidos en cuenta por los decisores y el conjunto de restricciones que limitan sus decisiones de cultivo. La estimación de estos modelos se realiza siguiendo el procedimiento multicriterio comentado en el apartado 2.5.

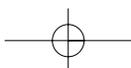
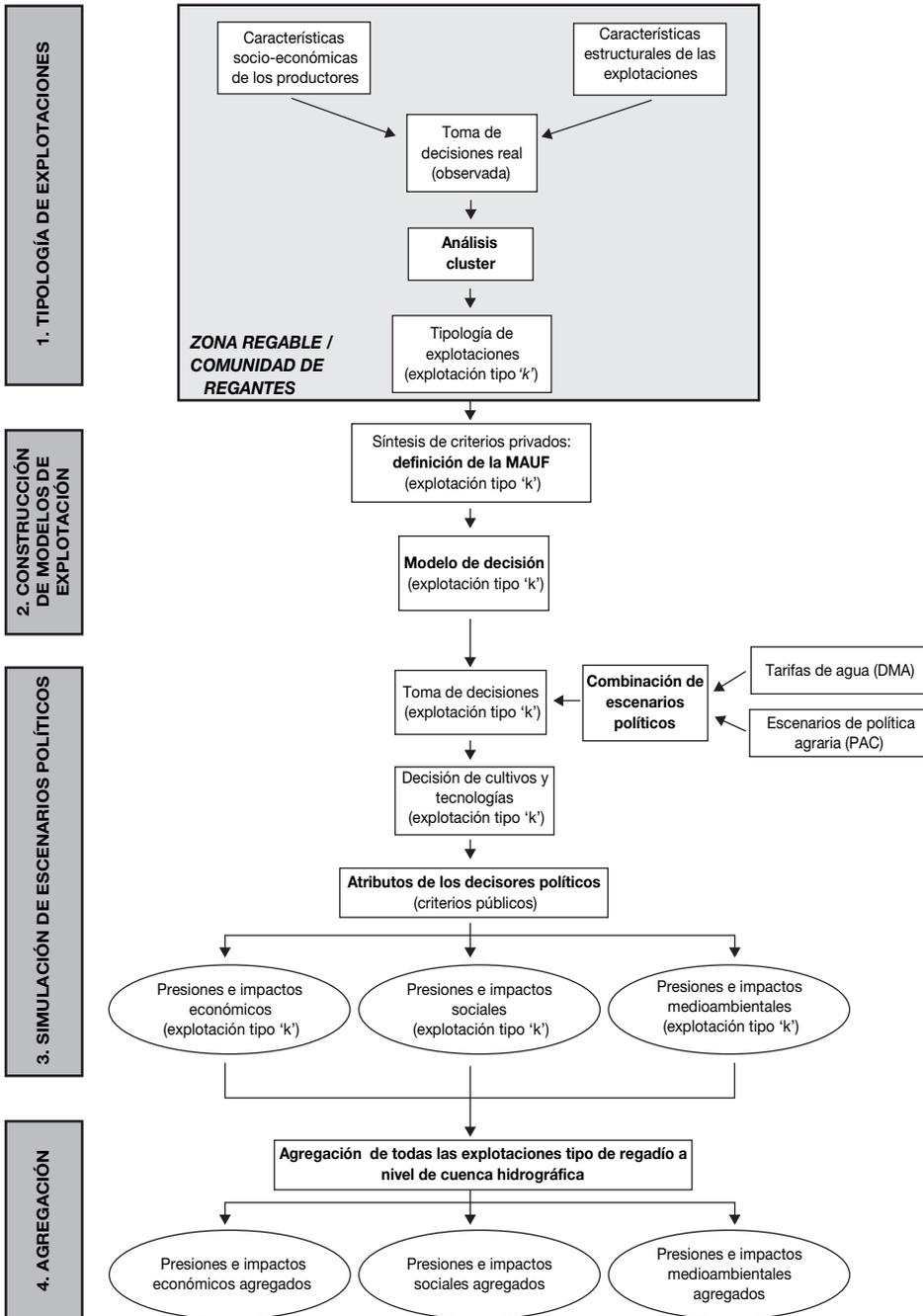
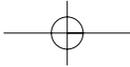


FIGURA 1  
Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.



Una vez definidos los diferentes modelos de decisión podrá desarrollarse la *tercera etapa* de la metodología, consistente en la realización de las correspondientes simulaciones. Así, partiendo de diferentes tarifas de agua y escenarios de la PAC (ver apartado 2.4), se obtendrán las decisiones tomadas por los productores en los diferentes casos; los planes de cultivos. Como consecuencia de los planes de cultivos así obtenidos, van a poder analizarse una serie de valores que permitan cuantificar las presiones e impactos resultantes de los instrumentos políticos aplicados. Nos referimos en concreto a indicadores de tipo económico, social y medioambiental.

Una vez obtenidos los resultados obtenidos de forma diferencial para los grupos homogéneos que componen las distintas zonas regables, se abordará la *cuarta y última etapa* del presente trabajo, consistente en calcular los resultados agregados para el conjunto de la cuenca del Duero.

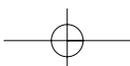
## 2.2. Teoría de la Utilidad Multiatributo

Ante la complejidad del proceso de toma de decisiones de los productores agrarios, parece adecuado analizar el problema económico que nos ocupa dentro del paradigma de la Teoría de la Decisión Multicriterio. En concreto, se ha optado por realizar una modelización de la toma de decisiones de los regantes basada en la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT), desarrollada especialmente a partir de Keeney y Raiffa (1976). Con este enfoque multiatributo se pretende analizar la importancia de diversos atributos (y los objetivos asociados) que tienen en cuenta los decisores agrarios a la hora de configurar su toma de decisiones. En concreto, se asume que las MAUFs optimizadas por estos empresarios agrarios son lineales y aditivas. Para una justificación de los supuestos simplificadores asumidos en este trabajo, así como las limitaciones de los mismos, se recomienda consultar los trabajos de Gómez-Limón y Riesgo (2004) y Gómez-Limón *et al.* (2004).

La valoración de las distintas alternativas de cultivos por parte de los agricultores (valor de la función de utilidad) teniendo en cuenta estas simplificaciones puede calcularse sumando las contribuciones de cada uno de los atributos considerados adecuadamente ponderados en función de su importancia. Matemáticamente resultaría:

$$U_i = \sum_{j=1}^n \omega_j f_{ij} \quad j = 1, \dots, m \quad [1]$$

donde  $U_i$  es el valor de la utilidad de la alternativa de cultivo  $i$ ,  $w_j$  es la ponderación o peso otorgado al atributo  $j$  y  $f_{ij}$  es el valor del atributo  $j$  para la alternativa  $i$ . La metodología seguida en el presente estudio para la estimación de esta función de utilidad se basa en la técnica desarrollada por Sumpsi *et al.* (1997) y Amador *et al.* (1998), perfeccionada posteriormente por Gómez-Limón *et al.* (2003) y Gómez-Limón y Riesgo (2004). Al objeto de evitar repeticiones innecesarias, se remite al lector a los trabajos mencionados para el desarrollo de estos aspectos.



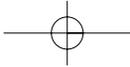
### 2.3. *El problema de la agregación y la técnica del análisis de grupos*

En la modelización de la actividad agraria han de considerarse los problemas derivados de los sesgos de agregación que aparecen cuando se modeliza a nivel sectorial (o a cualquier otro nivel que considere conjuntamente distintas explotaciones agrarias). Efectivamente, la introducción de un conjunto de explotaciones en un modelo de programación único sobreestima la movilidad de los recursos (Hazell y Norton, 1986, p. 145). El resultado final en todos los casos son resultados de las variables de decisión y de los atributos sesgados al alza, y por tanto inalcanzables en la realidad.

Estos sesgos de agregación pueden evitarse si las explotaciones agrupadas en el modelo reúnen rígidos criterios de homogeneidad, como son la homogeneidad tecnológica, la proporcionalidad pecuniaria y la proporcionalidad institucional (Day, 1963). En este sentido, cabe mencionar que las unidades de análisis en este trabajo son zonas regables relativamente pequeñas y, por tanto, con condiciones edafo-climáticas, niveles de mecanización y tecnificación similares en todas las explotaciones (homogeneidad tecnológica y proporcionalidad pecuniaria). Las restricciones a incluir en la modelización de la agricultura de estas zonas se limitan a las exigencias agronómicas (sucesión y frecuencia de cultivos) y a las impuestas por la PAC, que son semejantes para todas las explotaciones de cada zona analizada (proporcionalidad institucional). Asimismo, cuando se plantea este análisis desde una perspectiva multicriterio, surge la necesidad de definir otra homogeneidad adicional como requerimiento para evitar los sesgos de agregación; la homogeneidad relativa a los criterios de elección de los agricultores. Así, para evitar los sesgos de agregación inherentes a la modelización conjunta se ha realizado una clasificación de los agricultores en grupos homogéneos dentro de cada zona regable, en función de su forma de tomar decisiones. Esta agrupación se ha realizado a través de la técnica cluster, considerando las superficies del plan de cultivos actual como variables tipificadoras, ya que siguiendo a Berbel y Rodríguez (1998), pueden considerarse como un buen *proxy* de las MAUFs realmente planteadas por los productores como función objetivo.

Teniendo en cuenta estos criterios de homogeneidad se han establecido 22 agricultores/explotaciones «tipo» que han podido ser analizados a través de modelos matemáticos individualizados. Los resultados derivados de cada uno de estos modelos pueden considerarse adecuados para el conjunto de explotaciones a las que representan sin apenas errores de agregación (presentan suficiente homogeneidad interna). Una vez obtenidos los resultados individuales correspondientes a cada agricultor/explotación «tipo», se ha procedido a la agregación de los mismos, al objeto de obtener resultados a nivel de cuenca hidrográfica. Para ello se han ponderado los resultados de cada modelo individualizado por grupo de productores homogéneos por la importancia que cada uno de estos grupos presenta en la zona objeto de estudio (porcentaje de superficie de zona regable representada por el modelo sobre el total de superficie de las 7 zonas regables consideradas como representativas de la cuenca).

Para una exposición más detallada de la técnica de análisis de grupos empleada para agrupar a los agricultores individuales en cada zona regable, así como del proce-



dimiento de agregación puede consultarse Gómez-Limón y Riesgo (2004) y Riesgo (2004).

#### **2.4. Tarifación del agua de riego y escenarios de política agraria**

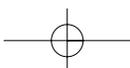
En este trabajo se van a establecer una serie de potenciales tarifas del agua de riego, de acuerdo con las directrices marcadas por la DMA. De los estudios realizados al efecto en España destaca únicamente el de Escartín y Santafé (2000), quienes estimaron la repercusión de los costes financieros del agua para cada una de las cuencas hidrográficas españolas. Para el caso concreto del Duero (donde se incluye la zona analizada), el coste total para el riego resultó ser de 0,041 €/m<sup>3</sup>.

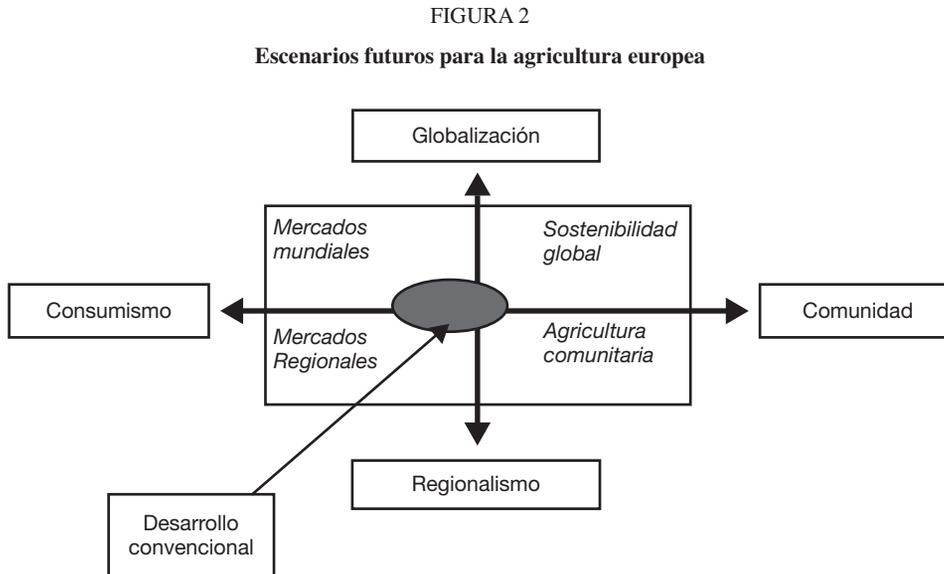
Como resultado del estudio mencionado en relación al coste del servicio del agua en la agricultura, en este trabajo se ha optado por considerar 3 posibles tarifas del agua de riego en la zona concreta de estudio:

- *Tarifación «suave»*. En este primer caso se considera una tarifa del agua de 0,02 €/m<sup>3</sup>.
- *Tarifación «media»*. En un intento de aplicar el principio de recuperación del coste del agua en la zona de regadío analizada, una tarifa de 0,04 €/m<sup>3</sup> podría considerarse como un valor «razonable», a pesar que dicha cifra no contemplaría en ningún caso la recuperación de los costes ambientales.
- *Tarifación «completa»*. En este último caso se considera una tarifa de 0,06 €/m<sup>3</sup>. Dicha cuantía supondría una aproximación a la repercusión íntegra del coste del agua en la Cuenca, considerando incluso los costes ambientales (*full-cost recovery*). Para el cálculo de esta tarifa se ha realizado una estimación a tanto alzado de los costes ambientales, cifrándolos en un 50% de los costes financieros. En consecuencia, se destaca el carácter hipotético de esta cuantía, empleada con un fin meramente exploratorio.

Asimismo, y al objeto de establecer un elemento válido de comparación, se ha considerado igualmente una tarifa hídrica de *statu quo* (no aplicación de la DMA), caracterizada por una tarifa volumétrica cero del recurso.

Aparte de las distintas tarifas del agua, se han definido los posibles escenarios que pueden presentarse en la agricultura europea para el horizonte temporal del año 2010. Tal tarea se desarrolla en función de la adopción de determinadas hipótesis relacionadas con los instrumentos de política agraria a utilizar, el comportamiento de los mercados mundiales y las acciones emprendidas para la protección del medio ambiente. En esta línea, esta investigación se ha basado en una revisión de diferentes escenarios elaborados por el *UK Foresight Programme* para el sector agrario (Berkhout *et al.*, 1998 y DTI, 1999 y 2002). Utilizando como base el mencionado marco de referencia, han podido distinguirse cuatro escenarios de futuro para el sector agrario en el horizonte temporal indicado, en función de ciertos valores sociales (consumismo o individualismo frente a interés colectivo o comunitario) y gubernamentales (globalización frente a regionalismo). Estos cuatro escenarios se pueden esquematizar tal y como aparece reflejado en la figura 2.

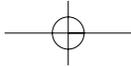




Fuente: Adaptación DTI (1999).

Se exponen a continuación las características fundamentales de cada uno de ellos:

- a) *Mercados mundiales*. Este escenario se caracteriza por tener como principales fuerzas motrices el empuje del consumo privado y la prioridad política en favor de un sistema comercial mundial. Así, en este escenario se favorece el desarrollo económico (*consumismo*) y la integración global (*globalización*). Este escenario supone en la práctica una bajada de precios agrarios fruto de la mayor competencia internacional, así como un incremento de rendimientos por la generalización de los cultivos transgénicos. Asimismo en la simulación de este escenario se supone una leve bajada de precios de los factores productivos agrarios y la práctica desaparición de las subvenciones agrarias, también como consecuencia de la liberalización internacional de los mercados.
- b) *Sostenibilidad global*. En este contexto se concede especial importancia a los valores sociales y ecológicos (*comunidad*) en el seno de un entorno global (*globalización*). Teniendo en cuenta estas consideraciones, este escenario se va a caracterizar por el desarrollo de acciones orientadas a solucionar los problemas medioambientales y sociales. Para simular este escenario se ha supuesto una bajada de precios agrarios como resultado de la mayor competencia internacional, aunque menos acusada que en el primer escenario. Asimismo se ha supuesto un incremento de rendimientos de las producciones agrarias, como resultado de un aumento gradual de la superficie de cultivos transgénicos, si bien este incremento estará sometido a controles regulares. En lo que respecta a las ayudas, se prevé una reducción moderada de las subvenciones directas con respecto a la situación actual. Finalmente, cabe señalar

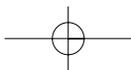


lar que los precios de los insumos agrarios tienden a aumentar, especialmente aquéllos considerados como «contaminantes» (maquinaria, abonos y pesticidas) por la introducción de ecotasas.

- c) *Mercados regionales*. En este escenario se prioriza el consumo privado (*consumismo*), si bien, al contrario que el resto de escenarios, las decisiones se supone que se toman en un ámbito nacional o regional (*regionalismo*), para enfatizar así los intereses y las prioridades de la población local. Los modelos de simulación se han adaptado a este escenario considerando que en general los precios de los productos agrarios son más altos como consecuencia de las medidas de protección a la agricultura local. Por su parte, al igual que ocurría en los escenarios anteriores, los rendimientos agrarios van a experimentar un aumento por la introducción de cultivos transgénicos. En el caso de las subvenciones agrarias, éstas van a mantenerse prácticamente iguales con respecto a las existentes en la actualidad, si bien los precios de los factores productivos tienden a aumentar como consecuencia del proteccionismo comercial.
- d) *Agricultura comunitaria*. En esta situación son los gobiernos regionales o locales los que dan mayor prioridad a los valores sociales y medioambientales (*comunidad*), protegiendo como objetivo prioritario los intereses locales (*regionalismo*). Este escenario se ha concretado a través de un aumento considerable de los precios de los productos agrarios derivado del creciente proteccionismo. No obstante, cabe destacar que a diferencia de lo que ocurre en el resto de escenarios anteriores, los rendimientos de los productos agrarios experimentan una reducción, al rechazarse el uso de productos transgénicos e imponerse estrictos controles sobre el uso de insumos. Las subvenciones directas van a experimentar un ligero incremento, así como los precios de los insumos agrícolas a consecuencia de la introducción de impuestos ambientales ligados al consumo de estos productos.

Además de estos cuatro escenarios de política agraria, van a analizarse otros dos de manera adicional:

- e) *MTR*. Este contexto pretende analizar los efectos originados por la aplicación de la Reforma Intermedia de la PAC sobre el regadío del Duero. Para simular este escenario se asume que los precios, los rendimientos y los costes se mantendrán constantes respecto a los registrados en la actualidad. Si bien, en el caso particular de las ayudas percibidas por los agricultores, se introduce el desacoplamiento parcial que van a experimentar las subvenciones directas de los cultivos herbáceos (75%), y el desacoplamiento total en el caso particular de las ayudas a la retirada obligatoria de tierras (100%). Para el cálculo del pago único que percibirán los agricultores se toma como referencia la media de las subvenciones directas obtenidas durante el trienio 2000-2002.
- f) Por último, se considera un escenario de *statu quo*. Este contexto se caracteriza por representar la situación de la agricultura de regadío vigente en el año 2000, determinada por las medidas de política agraria incluidas en la Agenda 2000. La finalidad principal de este último escenario consiste en la realiza-



ción de las oportunas comparaciones entre la situación actual y los 5 escenarios propuestos anteriormente.

El lector interesado en una definición más detallada de cada uno de estos escenarios de política agraria (*story line*) puede remitirse al trabajo de Morris *et al.* (2004) o Riesgo (2004). Asimismo, para un desglose de las implicaciones de estos escenarios en la reformulación de los correspondientes modelos de simulación (concreción de los parámetros), puede consultarse el cuadro A-1 del Anexo.

## **2.5. Modelización multicriterio a nivel de explotación**

El agricultor, como empresario que es, está obligado a tomar las decisiones referentes a la producción. Para el caso de las explotaciones agrícolas, la decisión fundamental es determinar cuál va a ser su plan de cultivos. Para ello dispone, como *variables de decisión*, de la posibilidad de asignar a cada actividad (cultivo  $i$ ) una determinada superficie ( $x_i$ ). Con el valor que conceda a cada una de ellas el productor pretende la optimización de su *función de utilidad* (MAUF) personal, en la que se condensan los distintos objetivos considerados por éste. La optimización de los anteriores objetivos está sujeta a distintas *restricciones*. A continuación se realiza una exposición más detallada de los mencionados componentes del modelo que se propone para la realización de las simulaciones.

### **2.5.1. Variables de decisión**

Los modelos a desarrollar para esta investigación son de carácter estático a largo plazo. La elección de este tipo de modelos se fundamenta en el hecho de que el análisis propuesto no se corresponde con el estudio de la evolución del comportamiento de los agricultores ante la introducción de una tarifa del agua de riego, sino en el estudio de la situación de equilibrio alcanzada al final del periodo. Así pues, para poder representar la correspondiente toma de decisiones se considera que los agricultores pueden cambiar no sólo un cultivo por otro (considerando el paso de cultivos de regadío a secano o, incluso, el abandono del cultivo o retirada), sino también tanto su tecnología de riego como las prácticas culturales (técnicas de laboreo). Teniendo en cuenta estas posibilidades, las variables de decisión en los modelos se han construido como combinaciones de cultivos con diferentes alternativas de laboreo y sistemas de riego, tal y como puede apreciarse en el cuadro 1.

No obstante, a pesar de las posibilidades consideradas *a priori* como combinaciones de las columnas del cuadro anterior, es necesario puntualizar que no todas las composiciones serán factibles desde un punto de vista agronómico. Por ello, se considerarán únicamente las 47 actividades que pueden verse en el cuadro 2.

### **2.5.2. Función objetivo**

Los modelos planteados, al objeto de simular la toma de decisiones reales de los productores, tienen como función objetivo la MAUF lineal y aditiva estimada para

CUADRO 1  
Codificación de variables

Cultivos	Regadío/ Secano	Técnica de laboreo	Sistema de riego
Trigo (TRI-)			
Cebada (CEB-)			
Maíz (MAI-)			
Remolacha (REM-)		Convencional (-CO-)	
Alfalfa (ALF-)	Regadío (-R-)	Mínimo laboreo (-ML-)	Superficie (-SUP)
Patata (PAT-)	Secano (-S-)	Siembra directa (-SD-)	Aspersión (-ASP)
Alubia (ALU-)			
Girasol (GIR-)			
Retirada (RET-)			

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 2  
Variables de decisión de la zona de estudio

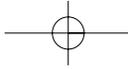
<b>Trigo</b>	TRIR	TRIR	TRIR	TRIR	TRIR	TRIR	TRIS	TRIS	TRIS
	CO	CO	ML	ML	SD	SD	CO	ML	SD
	SUP	ASP	SUP	ASP	SUP	ASP			
<b>Cebada</b>	CEBR	CEBR	CEBR	CEBR	CEBR	CEBR	CEBS	CEBS	CEBS
	CO	CO	ML	ML	SD	SD	CO	ML	SD
	SUP	ASP	SUP	ASP	SUP	ASP			
<b>Maíz</b>	MAIR	MAIR	MAIR	MAIR	MAIR	MAIR			
	CO	CO	ML	ML	SD	SD			
	SUP	ASP	SUP	ASP	SUP	ASP			
<b>Remolacha</b>		REMR		REMR		REMR			
		CO		ML		SD			
		ASP		ASP		ASP			
<b>Alfalfa</b>	ALFR	ALFR	ALFR	ALFR			ALFS		
	CO	CO	ML	ML			CO		
	SUP	ASP	SUP	ASP					
<b>Patata</b>	PATR	PATR							
	CO	CO							
	SUP	ASP							
<b>Alubia</b>	ALUR	ALUR							
	CO	CO							
	SUP	ASP							
<b>Girasol</b>	GIRR	GIRR	GIRR	GIRR	GIRR	GIRR	GIRS	GIRS	GIRS
	CO	CO	ML	ML	SD	SD	CO	ML	SD
	SUP	ASP	SUP	ASP	SUP	ASP			
<b>Retirada</b>							RET	RET	
							CO	ML	

Fuente: Elaboración propia.

cada agricultor «tipo» considerado. A partir de la revisión de literatura realizada, y más concretamente a través de las encuestas realizadas a los agricultores de la zona, se han podido identificar distintos atributos que éstos pueden tener en cuenta a la hora de tomar decisiones acerca de su plan de cultivos. En concreto, los atributos considerados *a priori* como componentes de las MAUFs de los productores han sido:

- a) *Margen Bruto Esperado Total (MBET)*. El margen bruto se considera como un buen estimador del beneficio y de la renta obtenida por el agricultor, como atributo a maximizar por los productores. La expresión del *MBET* es la suma de los márgenes brutos esperados para cada uno de los cultivos, tal y como se muestra en la siguiente expresión:  $MBET = \sum_i MBE_i \times x_i$ , donde  $i$  se refiere a cada uno de los cultivos de la zona<sup>1</sup>.
- b) *Minimización del riesgo (VAR)*. Se trata éste de un atributo a minimizar por los agricultores. En la construcción de los modelos, dicho riesgo se estima a través de la varianza del plan de cultivos, calculada a partir de la matriz de varianzas-covarianzas del margen bruto correspondiente al período considerado,  $[cov]$ . Matemáticamente su expresión es:  $VAR = \vec{X}_i^T [cov] \vec{X}_i$ .
- c) *Mano de Obra Total (MOT)*. El objetivo asociado a este atributo no persigue únicamente la minimización de tal coste, sino que también ha de considerarse al mismo como un indicador del ocio disponible por el agricultor, que éstos pretenden maximizar. Además, la mano de obra también puede interpretarse como un índice de la complejidad de gestión del cultivo, y que, por tanto, los regantes tratan igualmente de minimizar. La expresión de la mano de obra del conjunto de una explotación se obtendrá de la siguiente forma:  $MOT = \sum_i MO_i \times x_i$ , siendo  $MO_i$  la necesidad de mano de obra (en número de días por ha) demandada por cada cultivo.
- d) *Capital circulante (K)*. La minimización del endeudamiento se considera igualmente como un objetivo a perseguir por los agricultores. En este caso esta aversión al endeudamiento se ha traducido en la minimización del capital circulante. Para plantear este objetivo, se ha dividido el año en meses, diferenciando de este modo los periodos de labores (inmovilizaciones de capital) y las ventas del producto (ingresos). Matemáticamente puede expresarse como:  $CCN_m - \sum_i CC_{im} \times x_i - CCN_{m-1} \geq 0$ , donde  $CCN_m$  será el capital circulante necesario en el mes  $m$ ,  $\sum_i CC_{im} \times x_i$  es la suma del capital circulante necesario el mes  $m$  ( $CC_{im}$  es el capital circulante correspondiente al cultivo  $i$  el mes  $m$ ), y  $CCN_{m-1}$  es el capital circulante del mes  $m-1$ . El objetivo a considerar por los agricultores es la minimización del capital circulante máximo ( $K$ ) que necesita la explotación agrícola para llevar a cabo su actividad productiva. Por ello interesa minimizar el máximo  $CCNm$  calculado para los doce

<sup>1</sup> Como es bien sabido, el margen bruto es la diferencia entre los ingresos y costes variables. En este sentido cabe comentar que en este trabajo se han considerado dentro de los costes variables todos los costes relacionados con los bienes de equipos, incluidos sus amortizaciones. Con ello se permite que el modelo tenga en cuenta las diferencias de costes de los distintos equipos (técnicas) de riego y se simule adecuadamente la posibilidad del cambio tecnológico en el largo plazo.



meses. Esto se llevará a cabo utilizando el método del *minimax*, introduciendo doce nuevas inecuaciones en el modelo:  $CCN_m \leq K \quad \forall i$ .

Con todo ello, la formulación matemática de la función objetivo (MAUF) es:

$$U(\vec{X}) = w_{MBT} k_{MBT} MBT(\vec{X}) - w_{VAR} k_{VAR} VAR(\vec{X}) - w_{MOT} k_{MOT} MOT(\vec{X}) - w_K k_K K(\vec{X}) \quad [2]$$

donde  $w_j$  son los pesos asociados a los distintos atributos, y  $k_j$  son los coeficientes normalizadores que permiten operar con valores adimensionales de los atributos. Tanto los valores de  $w_j$  como de  $k_j$  han sido calculados de forma particular para cada agricultor «tipo» analizado.

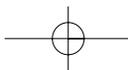
### 2.5.3. Restricciones

En cuanto a las restricciones que se consideran en los modelos correspondientes a cada agricultor «tipo», pueden distinguirse las siguientes:

- a) *Limitación de superficie disponible*. La suma de la superficie útil de todos los cultivos debe ser igual a la superficie de la explotación de cada agricultor «tipo» analizado, de manera que  $\sum_i x_i = SUP_k$ , donde  $k$  hace referencia a los distintos grupos de agricultores.
- b) *Limitaciones de la PAC* (obligación de retirada de superficie y cupo de remolacha). La PAC incluye dos restricciones. Por un lado, se limita la superficie máxima de retirada, de modo que ésta no puede superar el 20% de los cultivos COP. Así, matemáticamente tendríamos:  $x_{ret} \leq 20\% (x_{trir*} + x_{tris*} + x_{cebr*} + x_{cebs*} + x_{mai*} + x_{girr*} + x_{girs*})$ . Por otra parte, la PAC obliga a retirar como mínimo un 10% de la superficie agrícola dedicada a cultivos COP para poder obtener los pagos compensatorios. Esta superficie que obligatoriamente los agricultores deben retirar puede hacerse haciendo los ajustes correspondientes en función de los rendimientos teóricos, en tierras de secano o de regadío. Por ello, un buen indicador de la superficie que los agricultores retiran en tierras de regadío lo proporciona la simple observación de la realidad. Así, esta restricción se expresaría como:  $x_{ret*} \geq \text{Valor máximo observado}_k$ .

En relación al cultivo de remolacha existen restricciones como consecuencia del sistema de cupos de producción impuesto por la PAC, que limita la superficie cultivada por cupos individuales distribuidos por las industrias azucareras entre los agricultores. Por ello, se van a considerar distintos niveles de cupo en función del grupo de agricultores:  $x_{rem*} \geq \text{Valor máximo observado}_k$ .

- c) *Restricciones agronómicas*. De acuerdo con la información primaria obtenida de los propios productores, la única restricción agronómica realmente considerada por estos se refiere al cultivo plurianual de la alfalfa. Así debe incluirse únicamente una restricción que haga referencia al número de años necesario que debe darse de descanso al terreno antes de sembrar de nuevo



este cultivo. Matemáticamente:  $x_{alf^{r*}} + x_{alf^{s*}} \leq \frac{p}{p+q} \cdot SUP_k$  donde  $p$  es el número de años que el cultivo ocupa el terreno (4 años) y  $q$  es el número de años de descanso que necesita el terreno (3 años).

- d) *Limitaciones de mercado* para cultivos de carácter especulativo, como son la alfalfa y la patata, debido a su condición de productos perecederos. Por ello se incluye como restricción la superficie máxima observada de ambos cultivos que cada grupo ha cultivado en los últimos años, suponiendo que el mercado no puede absorber más de dichas cantidades. Las expresiones matemáticas de estas restricciones son:  $x_{alf^{r*}} \leq \text{Valor máximo observado}_k$ ,  $x_{pat^{r*}} \leq \text{Valor máximo observado}_k$ . En el caso de la alfalfa sólo se considera la restricción para el caso de la alfalfa de regadío, ya que dados los bajos rendimientos que presenta la alfalfa de secano, no supone una opción arriesgada en cuanto a que su producción supere la cantidad demandada en el mercado.

Todos estos modelos han sido alimentados con información primaria recogida *ad hoc* para esta investigación (superficie regable, distribución de cultivos, cupos de remolacha, etc., a nivel de explotación) y de carácter secundario (precios, subvenciones, etc.). Para una exposición en detalle de las fuentes de información, así como un desarrollo completo de los modelos planteados a nivel de explotación, se remite al lector interesado al trabajo de Riesgo (2004). De manera ilustrativa, en el cuadro A-2 del Anexo se reflejan todos los elementos que componen el modelo correspondiente a un escenario de *statu quo* para el grupo de agricultores 11 de la CR de los Canales del Bajo Carrión.

#### 2.5.4. Simulación de la toma de decisiones a nivel de explotación

Planteados de la manera propuesta anteriormente, los modelos desarrollados a nivel de explotación permiten la simulación de la toma de decisiones productivas de los agricultores, tanto en la situación actual como en cualquier escenario que pueda plantearse. Para ello bastará con ajustar los parámetros de los modelos para cada escenario propuesto (p.ej., precios de los productos y de los insumos agrarios, subvenciones, cupos productivos, etc.), tal y como se refleja en el cuadro A-1 del Anexo. En este sentido es importante apuntar que se asume que las MAUFs obtenidas a partir de los datos recogidos en la situación actual pueden considerarse como características estructurales de cada productor «tipo» considerado. Tal circunstancia se justifica por el hecho de que la estimación de dichas funciones se fundamenta en determinadas características psicológicas y/o culturales de los productores, que permanecen constantes en el corto y el medio plazo (Gómez-Limón *et al.*, 2003). Por ello, puede considerarse que las MAUFs estimadas para cada agricultor «tipo» van a mantenerse invariables con independencia del escenario que se defina. Este hecho es clave para la simulación realizada, ya que son estas mismas funciones de utilidad las que se supone que los productores intentarán maximizar en un futuro, ante cualquier tarifa del agua o marco institucional que se les presente.

## 2.6. Indicadores económicos, sociales y ambientales

Uno de los elementos fundamentales del presente trabajo es el cálculo de una serie de indicadores que permitan analizar las presiones y potenciales impactos<sup>2</sup> (económicos, sociales y ambientales) que pueden provocar los diferentes escenarios políticos planteados sobre la agricultura de regadío. Para ello se propone el uso de los indicadores recogidos en el cuadro 3. La selección propuesta, así como el cálculo de estos valores se basan en las directrices marcadas por la OCDE (OCDE, 2001).

CUADRO 3  
Indicadores seleccionados para el análisis a corto plazo

Área de análisis		Indicadores	Unidades de medida
Presiones e impactos económicos		Renta de los agricultores (MBET)	€/ha
		Ayudas públicas a la agricultura (AYUPUB)	€/ha
		Recaudación pública (RECPUB)	€/ha
Presiones e impactos sociales		Empleo agrario (MOT)	persona día/ha
		Estacionalidad de la mano de obra (ESTAC)	%
Presiones e impactos ambientales	Paisaje y biodiversidad	Diversidad de cultivos (DIVERS)	n.º cultivos
		Cobertura del suelo (COBSUEL)	%
	Uso del agua	Uso del agua de riego (USOAGUA)	m <sup>3</sup> /ha
	Fertilizantes y contaminantes	Balance de nitrógeno (BALN)	kg N/ha
		Balance energético (BALE)	10 <sup>6</sup> kcal/ha
	Riesgo de pesticidas (RIEPEST)	10 <sup>3</sup> RP/ha	

Fuente: Elaboración propia.

Los distintos indicadores contemplados son atributos relevantes para los decisores políticos (constituyen objetivos públicos), pero en la mayoría de los casos no son tenidos en cuenta por los agricultores en su toma de decisiones (no constituyen objetivos privados ni restricciones de la producción). Por este motivo, en su mayoría no son incluidos en los modelos de simulación correspondientes; el valor de los indicadores se calcula como funciones dependientes del vector de variables de decisión elegido por los productores en cada caso.

<sup>2</sup> Los conceptos de «presiones» e «impactos» no pueden considerarse como sinónimos. Tal y como se deduce del modelo DPSIR (*Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses*) de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA), las «presiones» están determinadas por los cambios en el modo de combinar los factores y el uso de los mismos dentro de la función de producción (p.ej., mayor consumo de agua, fertilizante, trabajo, etc.). Estas presiones son las causantes de los «impactos» sobre los sistemas físicos y socioeconómicos en que se apoya la producción, como pueden ser en nuestro caso la contaminación de acuíferos, modificación del paisaje, desocupación de los agricultores, etc. En cualquier caso, cabe señalar que los indicadores propuestos para este trabajo son cuantificadores tanto de presiones (balance de nitrógeno, balance energético, etc.) como de impactos (renta de los agricultores, estacionalidad de la mano de obra, etc.).

A continuación se expone brevemente la interpretación de cada uno de estos indicadores, así como el fundamento de su cálculo numérico.

- *Indicadores económicos:*

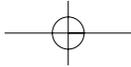
- a) *Renta de los agricultores (MBET)*. La renta de los agricultores puede aproximarse a través del margen bruto de la explotación, entendiéndose éste como la diferencia entre los ingresos y los costes variables. La utilización de este indicador permite realizar un análisis de la viabilidad financiera de las actividades agrarias. De este modo, ante reiterados resultados financieros negativos, puede considerarse que la actividad analizada no es económicamente sostenible.
- b) *Ayudas públicas a la agricultura (AYUPUB)*. A través de este indicador se pretende medir la protección que recibe la actividad agraria. En este sentido, su utilización permite analizar cómo se verán afectadas las ayudas directas percibidas por la agricultura en los distintos escenarios normativos planteados.
- c) *Recaudación pública (RECPUB)*. Este indicador recoge los ingresos por hectárea que obtiene la Administración en concepto de tarifas de agua de riego, de manera que a partir del mismo puede estimarse el nivel de recuperación de costes en la provisión de servicios relacionados con el agua.

- *Indicadores sociales:*

- a) *Empleo agrario (MOT)*. El empleo agrario es un indicador de las implicaciones sociales que tiene la agricultura en la provisión y distribución de rentas. En este sentido, el empleo agrario se perfila como uno de los indicadores sociales más relevantes en el ámbito agrario.
- b) *Estacionalidad de la mano de obra (ESTAC)*. Los requerimientos de mano de obra en las actividades agrarias se encuentran sometidos a fuertes variaciones temporales, en función del propio ciclo biológico de los cultivos y las labores requeridas (siembra, cosecha, etc.). De este modo, en determinadas etapas como la recolección existen picos de demanda en la mano de obra agraria, que suelen requerir en muchos casos la contratación de mano de obra externa. En este caso particular este indicador se cuantifica como el porcentaje de mano de obra demandada en los períodos críticos del año agrario.

- *Indicadores ambientales:*

- a) *Diversidad de cultivos (DIVERS)*. Este indicador hace referencia al número total de variedades de cultivo presentes en la explotación agrícola. De este modo, a través de este indicador puede medirse el mayor o menor nivel de biodiversidad agrícola.
- b) *Cobertura del suelo (COBSUEL)*. La ausencia de cobertura vegetal es un aspecto de particular importancia para las tierras agrarias, debido a los problemas de erosión del suelo que pueden originarse por ello. El indicador de cobertura del suelo representa el porcentaje de días al año durante los cuales la vegetación recubre el suelo.



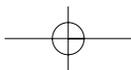
- c) *Uso del agua de riego (USOAGUA)*. En este caso el uso del agua de riego se cuantifica como la cantidad de agua utilizada por la actividad agraria medida en términos absolutos por hectárea cultivada.
- d) *Balance de nitrógeno (BALN)*. El nitrógeno es un elemento cuya presencia en exceso puede ser potencialmente dañina para el medio ambiente, en especial en lo que se refiere a la calidad del agua (eutrofización). En este análisis se utiliza el balance de nitrógeno como un indicador a través del cual es posible calcular la diferencia física (exceso/déficit) entre el nitrógeno contenido en los insumos (fertilizantes) y en los productos (cosecha). La diferencia entre ambas cantidades proporciona, por tanto, el balance de nitrógeno que cada año es liberado al medio (aire, suelo y/o agua).
- e) *Balance energético (BALE)*. El balance energético de una explotación puede calcularse utilizando el enfoque input-output comentado con anterioridad para el cálculo del balance de nitrógeno. En este caso, a la energía presente en los insumos agrarios (semillas, fertilizantes, etc.) se le añade la energía implícita en las labores necesarias para desarrollar la actividad productiva (maquinaria, combustibles, etc.). Por su parte, en el producto, se recoge la energía presente en la cosecha.
- f) *Riesgo de pesticidas (RIPEST)*. Este indicador proporciona información sobre la toxicidad liberada al medio ambiente por el uso de pesticidas. Para este trabajo la forma de cuantificar esta toxicidad se ha realizado estimando la mortalidad de organismos vivos por la acción de las materias activas presentes en estos fitosanitarios, medido en kg.

La principal fuente de información para el cálculo de estos indicadores ha sido la encuesta realizada entre los productores de la zona de estudio. No obstante, esta información se ha completado con otra de carácter secundario. En concreto puede señalarse que los coeficientes utilizados para el cálculo de los balances de nitrógeno se ha obtenido de Domínguez Vivancos (1997), los relacionados con la energía asociada a cada insumo o producto de Volpi (1992), y los valores correspondientes a los DL50 (dosis letales) utilizados para el cálculo de la toxicidad de Gómez de Barreda *et al.* (1998).

Para una exposición más detallada de la forma de cálculo de estos indicadores y el origen de la información técnica necesaria para ello puede consultarse Bazzani *et al.* (2004) y Riesgo (2004).

### 3. Caso de estudio

La metodología expuesta para la evaluación de las presiones e impactos de la aplicación conjunta de la tarifación del agua y de distintos escenarios de política agraria sobre la agricultura de regadío se ha aplicado de forma empírica al regadío de la Cuenca Hidrográfica del Duero. Esta Cuenca cuenta con 555.582 hectáreas de riego, que consumen anualmente una media de 3.500 hm<sup>3</sup> de agua (aproximadamente 6.300 m<sup>3</sup>/ha brutos al año). De hecho, el regadío es el uso principal del agua en la Cuenca, utilizando el 93% del total de recursos, mientras que los usos urbanos equi-



valen tan sólo al 6% y los usos industriales apenas al 1% del total. Esta preponderancia del regadío permite pensar que la tarifación del agua de riego puede suponer una importante oportunidad para la mejora global de la eficiencia en el uso del recurso.

Esta Cuenca constituye un claro ejemplo de la agricultura continental del interior de España, altamente dependiente de las ayudas concedidas por la UE y caracterizada por la presencia de cultivos herbáceos de carácter extensivo, bajo valor añadido y poco demandantes de mano de obra.

Del total de la superficie regable en el Duero, la mayoría (361.056 ha; el 65%) se corresponde con regadíos públicos que emplean aguas superficiales. Estas zonas regables son consecuencia de las transformaciones realizadas durante los últimos 50 años por iniciativa de las administraciones públicas, desarrolladas bajo la tradicional perspectiva de la política hidráulica de expansionar de la oferta. La concesión de aguas a estos regadíos públicos se ha realizado de forma colectiva, a través de las Comunidades de Regantes, como asociaciones de propietarios encargadas del reparto y la gestión interna del agua. Sobre este tipo de zonas regables, las más influenciadas por la aplicación de la DMA, se centra nuestra aplicación empírica.

Para el presente trabajo, dada la imposibilidad práctica de considerar todas las comunidades de regantes, se han escogido 7 comunidades representativas de la variedad presente en la Cuenca, que agrupan 51.343 hectáreas regadas (9,2% del total del regadío del Duero y el 14,2% de los regadíos públicos). En el cuadro 4 puede encontrarse la información relativa a sus características básicas.

En cada Comunidad de Regantes se han definido distintos grupos homogéneos de agricultores a través de la técnica de análisis de grupos o técnica cluster anteriormente referida. A partir de los datos de las explotaciones/regantes incluidos en cada grupo se ha obtenido la información de los agentes «tipo» a modelizar. En total se han obtenido 22 grupos de agricultores, tal y como aparece recogido en el cuadro 5. En este mismo cuadro pueden apreciarse las características básicas que definen a cada uno de ellos. Para más información al respecto puede consultarse Riesgo (2004).

A cada uno de estos agentes «tipo» obtenido del análisis de grupos se le ha aplicado la metodología multicriterio descrita anteriormente para el cálculo de las ponderaciones de los diferentes atributos propuestos *a priori*. Los resultados obtenidos pueden observarse igualmente en el cuadro 5. Como resultado cabe destacar las importantes diferencias detectadas entre los vectores de pesos de los distintos grupos, evidenciando así la disparidad existente en las MAUFs que pretende optimizar cada uno de ellos.

#### 4. Resultados

La metodología propuesta para la simulación de escenarios se ha aplicado a las diferentes combinaciones posibles de alternativas de política agraria y política hidráulica (tarifación). Así, para las 24 posibles combinaciones escenarios de política agraria-tarifas del agua (6 alternativas de la PAC y 4 posibles tarifas), se han generado los correspondientes resultados de forma individualizada para cada agricultor

CUADRO 4  
Características básicas de las 7 zonas regables analizadas

Características	CR Canales Bajo Carrión	CR Canal Margen Izda. del Porma	León	CR Canal General del Páramo	León	CR Canal del Pisuerga	Palencia y Burgos	Zamora y Valladolid	CR de la Presa de la Vega de Abajo	León	CR Virgen del Aviso	Zamora
Provincia	Palencia	León	León	León	León	Palencia y Burgos	Zamora y Valladolid	Zamora y Valladolid	CR de la Presa de la Vega de Abajo	León	CR Virgen del Aviso	Zamora
Altitud (m)	775-825	750-830	800	800	800	760-830	645	645	800	800	645	645
Precipitación media (mm)	527-448	732	498	498	498	427	364	364	498	498	364	364
Índice L. Turc	30 - 35	30-35	30-35	30-35	30-35	35	35-40	35-40	30 - 35	30 - 35	35-40	35-40
Fecha puesta en riego	Principios años 70	Principios años 70	Principios años 40	Principios años 40	Principios años 40	Principios años 60	Principios años 50	Principios años 60	Carácter histórico	Carácter histórico	Principios años 60	Principios años 60
Hectáreas regadas	6.588	12.386	15.554	15.554	15.554	9.392	4.150	4.150	1.403	1.403	1.870	1.870
Número de propietarios	899	3.500	5.950	5.950	5.950	2.715	1.406	1.406	1.500	1.500	820	820
Superf. media explotación regadio <sup>4</sup> (ha)	48,0	49,4	31,9	31,9	31,9	42,2	25,0	25,0	17,1	17,1	15,8	15,8
Asignación agua (m <sup>3</sup> /ha)	5.950	6.250	6.587	6.587	6.587	8.100	8.192	8.192	6.105	6.105	8.021	8.021
Sistemas reparto agua	A la demanda	Turnos cada 12 días	Turnos cada 14 días	Turnos cada 14 días	Turnos cada 14 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 12 días	Turnos cada 12 días
Sistemas de riego	A pie y aspersión para remolacha	A pie y aspersión para remolacha	A pie y aspersión para remolacha y alubia	A pie y aspersión para remolacha y alubia	A pie y aspersión para remolacha y alfalfa	A pie y aspersión para remolacha y alfalfa	A pie y aspersión para remolacha y alfalfa	A pie y aspersión para remolacha y alfalfa	A pie y aspersión para remolacha			
Total tarifa agua (€/ha)	40,06	66,10	85,34	85,34	85,34	60,59	85,94	85,94	36,06	36,06	Variable	Variable
Edad redes riego	30 años	20 años	50 años	50 años	50 años	30 años	40 años					
Eficiencia sistemas riego	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	75% en riego a pie y 80% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	60% en riego a pie y 65% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	65% en riego a pie y 70% en riego por aspersión	60% en riego a pie y 65% en riego por aspersión	60% en riego a pie y 65% en riego por aspersión
Número de encuestas	52	54	61	61	61	32	68	68	34	34	66	66
N.º grupos agríc./explotaciones tipo	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3

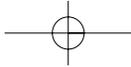
Fuente: Elaboración propia.

<sup>4</sup> Las explotaciones de regadío están compuestas en parte por tierra en propiedad del propio agricultor y en parte por tierras en arrendamiento. Este hecho explica las diferencias existentes entre el número de propietarios y el número de agricultores, siendo éste último muy inferior al primero.

CUADRO 5  
Características generales de los agricultores «tipo» considerados en la modelización

Zona regable	Cód.	Denominación	n.º agric. %	sup. total %	Principales cultivos	$W_{MBET}$	$W_{VAR}$	$W_{MOT}$	$W_K$
CR Canales Bajo Carrión	11	Agricultores a tiempo parcial	22,9	17,8	Maíz, cereales invierno y remolacha	0,327	0,672	0,000	0,000
	12	Agricultores-ganaderos	21,3	24,2	Maíz, alfalfa y cereales invierno	0,424	0,575	0,000	0,000
	13	Pequeños agricultores de perfil comercial	27,8	8,9	Maíz, alfalfa y cereales invierno	0,705	0,068	0,000	0,226
CR Canal Margen Izda. del Porma	14	Agricultores aversos al riesgo	27,8	49,2	Cereales invierno y maíz	0,658	0,341	0,000	0,000
	21	Grandes agricultores con perfil comercial	40,7	45,8	Maíz	0,974	0,025	0,000	0,000
	22	Agricultores a tiempo parcial	5,6	5,4	Cereales invierno y maíz	0,038	0,961	0,000	0,000
CR Canal del Páramo	23	Agricultores aversos al riesgo	16,7	16,6	Cereales invierno, maíz y girasol	0,411	0,383	0,000	0,205
	24	Agricultores-ganaderos	37,0	32,1	Maíz y alfalfa	0,702	0,297	0,000	0,000
	31	Agricultores neutrales al riesgo	72,0	69,6	Maíz, remolacha y alubia	0,939	0,060	0,000	0,000
CR Canal del Pisuegra	32	Agricultores diversificadores de riesgos	28,0	30,4	Maíz, cereales invierno y remolacha	0,727	0,272	0,000	0,000
	41	Agricultores de carácter conservador	20,6	12,5	Cereales invierno y alfalfa	0,000	1,000	0,000	0,000
	42	Grandes agricultores con orientación comercial	35,3	57,5	Cereales de invierno, remolacha y maíz	0,303	0,696	0,000	0,000
CR Canal de San José	43	Agricultores - ganaderos	44,1	38,2	Alfalfa, cereales de invierno, remolacha y maíz	0,580	0,419	0,000	0,000
	51	Agricultores diversificadores de riesgos	35,3	39,6	Maíz, cereales invierno y alfalfa	0,348	0,651	0,000	0,000
	52	Jóvenes agricultores de perfil comercial	35,3	40,3	Maíz y remolacha	0,771	0,228	0,000	0,000
CR Presa de la Vega de Abajo	53	Agricultores maiceros	29,4	20,1	Maíz	0,932	0,063	0,000	0,004
	61	Pequeños agricultores envejecidos	20,6	11,5	Maíz y cereales invierno	0,663	0,336	0,000	0,000
	62	Remolacheros	29,4	31,4	Maíz y remolacha	1,000	0,000	0,000	0,000
CR Virgen del Aviso	63	Jóvenes agricultores de perfil comercial	50,0	57,1	Maíz, remolacha y cereales invierno	0,646	0,353	0,000	0,000
	71	Agricultores de perfil comercial	45,5	23,2	Maíz, remolacha y cereales invierno	0,830	0,074	0,000	0,095
	72	Agricultores diversificadores de riesgos	24,2	33,4	Maíz, cereales invierno y remolacha	0,372	0,627	0,000	0,000
73	Agricultores de perfil conservador	30,3	43,4	Cereales invierno, girasol y maíz	0,204	0,795	0,000	0,000	

Fuente: Elaboración propia.



«tipo» considerado, tanto en relación a las variables de decisión privadas de los agricultores como a los distintos indicadores propuestos. Los resultados de la simulación del *statu quo* de política agraria y de una tarificación nula del agua de riego (situación actual) se han utilizado para validar los modelos, constatando la existencia de diferencias mínimas entre los valores simulados y los observables realmente en las explotaciones analizadas. Posteriormente los resultados particulares de los diferentes modelos a nivel de explotación han sido agregados para cada escenario a nivel de Cuenca, obteniendo los valores que se exponen en el cuadro A-3 del Anexo. Estos valores agregados se presentan para el análisis como variaciones en relación a la situación actual. A continuación se procede a hacer una exposición sintética de los resultados alcanzados.

#### **4.1. Indicadores económicos**

##### **4.1.1. Margen bruto esperado (MBET)**

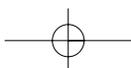
Considerando de forma aislada el efecto de la tarificación del agua, y suponiendo un escenario de política agraria de *statu quo*, puede observarse cómo este instrumento económico supone una significativa reducción del indicador de MBET (pérdida de renta para los agricultores). Esta pérdida de rentabilidad del regadío está motivada básicamente por dos causas: el incremento de los costes por el creciente pago a la Administración en concepto de tarifas de agua, y el abandono de aquellos cultivos que generan mayores ganancias, que suelen ser los más demandantes de agua (p.ej., el maíz, la remolacha o la alfalfa).

Si se analiza el efecto que podrían originar los distintos escenarios de política agraria, puede apreciarse cómo la tarificación del agua generaría una mayor presión sobre la renta del agricultor en el contexto de *mercados mundiales*. En el caso opuesto se sitúan el escenario de *mercados regionales* para una *tarifa suave* del agua, con una caída del MBET del 4%, y el escenario *MTR* que registraría las menores variaciones en este indicador para una *tarifa media o completa* (-20% y -29% respectivamente). Esta pérdida de renta de los agricultores en cualquier caso originaría un descenso notable de competitividad en el sector, pudiendo asimismo derivar en el abandono de la actividad agrícola de una proporción significativa de regantes de la cuenca del Duero.

Como consecuencia de estos resultados, cabe destacar que la política agraria constituye un factor más relevante que la tarificación del agua a la hora de determinar la renta de los productores agrarios (medida a través del MBET). Tal circunstancia es muy significativa en el caso concreto de estudio, donde los sistemas agrarios se han especializado en cultivos herbáceos de carácter continental, y cuya evolución se encuentra fuertemente condicionada por la PAC.

##### **4.1.2. Ayudas públicas (AYUPUB)**

De los datos recogidos en el cuadro A-3 del Anexo, puede apreciarse cómo las ayudas públicas a la agricultura van a experimentar una evolución dispar ante la tarificación del agua de riego en función del escenario de política agraria analizado. De



este modo, se aprecia cómo para los escenarios de *sostenibilidad global*, *agricultura comunitaria* y *mercados regionales*, las subvenciones se mantienen o aumentan conforme se incrementa la tarifa de agua aplicada. Esta circunstancia se fundamenta en el cambio experimentado por el plan de alternativas de los agricultores ante el encarecimiento del agua, abandonando aquellas actividades como MAIRCOSUP, REMRSDASP y ALFRCOSUP (éstas dos últimas carentes de ayudas) por otras menos demandantes de agua como es el caso de CERINVSSD o GIRSCO (con ayudas directas en todo caso).

Haciendo una comparativa entre escenarios de política agraria, se aprecia cómo las mayores caídas en este indicador se registrarían en un contexto de *mercados mundiales*, en el que desaparecerían las subvenciones a la producción contempladas en la actualidad por la PAC. En consecuencia se observa cómo este escenario es el más desfavorable para los agricultores de la cuenca, con independencia de la tarifa del agua aplicada. Por el contrario, el entorno caracterizado por la *MTR* sería el más favorable para estos productores ante cualquier tarifa del agua. Tal circunstancia se fundamenta en que el cambio de cultivos al que induce la tarificación de los recursos hídricos influye únicamente a las ayudas vinculadas a la producción que percibiría el agricultor, pero no al pago único.

Cabe señalar que, al igual que ocurre con el indicador anterior, el escenario de política agraria sería el elemento más determinante a la hora de analizar la tendencia futura de las ayudas públicas.

#### 4.1.3. Recaudación pública (RECPUB)

Considerando únicamente el efecto de la tarificación puede afirmarse que, en términos generales, la recaudación pública se incrementa de forma paralela a la tarifa aplicada. No obstante, cabe señalar que en algunos escenarios la aplicación de una *tarifa completa* del agua de riego produciría una disminución en este indicador respecto a la *tarifa media* (*statu quo*, *mercados mundiales* y *MTR*). Tal circunstancia se fundamenta en que la evolución creciente de este indicador alcanza su máximo para una tarifa comprendida en el intervalo (0,04-0,06 €/m<sup>3</sup>). En todo caso, para poder sacar conclusiones sobre la eficiencia de una u otra tarifa habría que analizar conjuntamente la disponibilidad al pago del resto de los sectores económicos por el agua ahorrada en el sector agrario como resultado de la introducción de una política tarifaria.

Sobre la base de los datos recogidos para los diferentes escenarios de política agraria considerados, puede apreciarse cómo ante cualquier tarifa del agua de riego aplicada, el escenario que generaría mayores incrementos en la cantidad recaudada por la Administración sería el escenario de *mercados regionales*. El caso opuesto, donde la tarificación sería menos efectiva para recaudar fondos, correspondería al contexto de *agricultura comunitaria* para una *tarifa suave* (recaudación de 102 €/ha), y el escenario de *MTR* para el resto de tarifas analizadas (149 y 145 €/ha).

En el caso concreto de este indicador se observa cómo, a diferencia de lo registrado para el resto de indicadores económicos analizados, es lógicamente el nivel de precios del agua el factor más influyente a la hora de determinar el volumen de fondos recaudado por la Administración en concepto de tarifas del agua de riego.

## 4.2. Indicadores sociales

### 4.2.1. Empleo agrario (MOT)

La tarificación de los recursos hídricos produciría una serie de efectos en el empleo agrario generado por este sector. Para el escenario de *statu quo* puede observarse que debido al incremento experimentado por el precio del agua se produciría una disminución significativa en el empleo generado por el sector agrario. Esta circunstancia constituiría un coste social derivado tanto de la sustitución de las alternativas más demandantes de agua (normalmente más intensivas en mano de obra) por otras con menores requerimientos de recursos hídricos y trabajo, como por la adopción de nuevas prácticas de laboreo menos exigentes en mano de obra.

En todo caso estas repercusiones negativas sobre el empleo, dada la baja contratación de mano de obra ajena que se produce en la cuenca del Duero, deben interpretarse como una mayor disponibilidad del tiempo de ocio por parte del productor agrario, más que como una destrucción directa de puestos de trabajo. En cualquier caso, si bien es cierto que la caída del empleo por sí sola no originaría consecuencias sociales de importancia, la concurrencia de esta circunstancia con la bajada de la rentabilidad (MBET) de la actividad sí podría acentuar el cambio estructural sufrido por el sector en los últimos decenios, que ha disminuido el número de activos y ha aumentado el tamaño medio de las explotaciones, con las consecuencias negativas que ello puede suponer para el mantenimiento de la población rural.

No obstante, hay que destacar que los efectos de la tarificación sobre este indicador varían en función del escenario político analizado. Según se recoge en el cuadro A-3, puede observarse cómo la tarificación del agua de riego produciría efectos de mayor relevancia en un escenario de *agricultura comunitaria* para precios del recurso comprendidos entre 0,02 €/m<sup>3</sup> y 0,04 €/m<sup>3</sup>, con disminuciones comprendidas entre el 16% y el 26% respectivamente. Si bien conforme aumentan las tarifas, la mayor reducción del empleo se registraría en un escenario de *statu quo* (-41%). Por otra parte, el establecimiento de una política tarifaria sobre el agua de riego afectaría positivamente al empleo en un escenario de *mercados mundiales* para una *tarifa suave*, de manera que los incrementos observados en el empleo como consecuencia de esta medida superarían el 8%. No obstante, para tarifas superiores, puede apreciarse cómo en cualquiera de los escenarios se registrarían disminuciones en este indicador, siendo menos perniciosas en un escenario de *mercados regionales*, donde la mano de obra agraria variaría entre el 5% en caso de establecer una *tarifa media* y el 13% para una *tarifa completa*.

### 4.2.2. Estacionalidad (ESTAC)

La tarificación del agua de riego por sí sola (ver escenario de *statu quo*) apenas produce efectos sobre la estacionalidad de la mano de obra. Así, puede afirmarse que este instrumento, aplicado de forma aislada, tiene una incidencia mínima sobre la distribución del empleo agrario a lo largo del año.

Comparando los diferentes escenarios de política agraria, el mantenimiento del *statu quo* es el menos favorable para la zona de estudio en lo que respecta a este indicador, puesto que con independencia de la tarifa aplicada (*suave, media o completa*), este escenario es el que recogería las menores reducciones de la estacionalidad. Por el contrario, puede apreciarse cómo el escenario de *agricultura comunitaria* sería el contexto donde una *tarifación suave o completa* recogería las mayores variaciones en este indicador, con caídas próximas al 16%. En el caso de aplicar una *tarifación media*, este rol pasaría a desempeñarse por el escenario de *mercados mundiales*, con una caída superior al 17%. Así, puede apreciarse cómo para inducir un cambio positivo en este indicador los instrumentos de política agraria parecen ser más adecuados.

### 4.3. Indicadores ambientales

#### 4.3.1. Diversidad de cultivos (DIVERS)

La tarifación del recurso por sí sola no implicaría cambio alguno en el número de cultivos presentes en los planes de los agricultores en el escenario de *statu quo*. No obstante, la aplicación de los diferentes escenarios de política agraria sí modifica significativamente el valor de este indicador. Así, se aprecia cómo los escenarios de *mercados regionales* y de *MTR* serían los más afectados en relación a este indicador. En ambos casos la evolución es positiva, al incrementar el número de variedades vegetales presentes en los planes de cultivos.

Como consecuencia de dichos resultados, puede afirmarse que la política agraria sería un factor más influyente que la tarifación del agua de riego a la hora de determinar el valor de este indicador.

#### 4.3.2. Cobertura del suelo (COBSUEL)

En lo que respecta a la cobertura del suelo, y considerando únicamente la influencia de la tarifación (escenario de *statu quo*), puede afirmarse que la aplicación de tarifas crecientes del agua de riego produciría reducciones moderadas en este indicador. Estas variaciones experimentadas por el indicador *COBSUEL* tienen su origen en el abandono de actividades de regadío con mayor permanencia sobre el terreno (p.e. maíz o remolacha) por la tarifación creciente del agua. De esta manera, puede apreciarse cómo la tarifación del agua podría producir, en principio, un efecto ambiental negativo al aumentar el riesgo potencial de erosión del suelo agrario. No obstante, conviene comentar igualmente que la tarifación del agua de riego induciría también la incorporación a los planes de cultivo de aquellas actividades que se caracterizan por la utilización de técnicas de mínimo laboreo y siembra directa. De este modo, y a pesar de que este hecho no se refleja en el indicador de cobertura del suelo, el cambio experimentado por el plan de alternativas hacia dichas técnicas de laboreo produciría efectos globalmente beneficiosos al objeto de prevenir la erosión del suelo a largo plazo.

Si se centra el análisis en la influencia que ejercen los escenarios de política agraria planteados, se puede afirmar que el contexto de *mercados mundiales* sería el más

favorable para este indicador para una *tarifa suave* (+6%), y el escenario *MTR* recogería los valores más favorables para el resto de tarifas analizadas (+6% y +1% respectivamente). Por el contrario, mostrando un comportamiento opuesto, cabe señalar que la tarificación del recurso generaría disminuciones de considerable importancia en la cobertura del suelo agrario en un contexto de *agricultura comunitaria*.

En función de los resultados recogidos anteriormente, se aprecia cómo ambas políticas (agraria e hidráulica) son fundamentales para determinar el valor alcanzado por este indicador en la cuenca del Duero.

#### 4.3.3. Demanda de agua (USOAGUA)

Si se centra el análisis únicamente en el efecto de la tarificación para el escenario de política agraria actual, se observa cómo la aplicación de este instrumento económico va a reducir considerablemente el volumen de recursos hídricos demandados por el sector agrario. Este comportamiento ante la tarificación de los recursos hídricos se debe en último término al abandono progresivo de aquellas actividades con elevados requerimientos hídricos (maíz, remolacha y alfalfa) y al aumento de la superficie dedicada a las actividades de secano (cereales de invierno). No obstante, cabe indicar asimismo que la tarificación apenas favorece, como cabría esperar, la adopción de nuevas tecnologías de riego. Tal circunstancia se debe a que en la mayoría de los casos, la baja rentabilidad de las actividades de regadío en esta zona, unida a una aversión al riesgo más o menos extendida entre los productores, provoca que la disposición de éstos a invertir en tecnologías de riego sea muy limitada.

Asimismo, cabe señalar que el consumo de agua agrícola va a variar considerablemente también en función del escenario de política agraria. Así, el escenario de *agricultura comunitaria* se revela como aquél que conseguiría mayores reducciones en el consumo de agua de riego en el caso concreto de aplicar una *tarifa suave* del recurso (+24%). Dicha situación, sin embargo, variaría en caso de establecerse una *tarifa media o completa*, donde se observa que el entorno que lograría mayores ahorros en el consumo de agua sería el escenario de *MTR*, con reducciones del 45% y del 64% respectivamente. Por el contrario, y con independencia del precio del agua finalmente establecido, el contexto de *mercados regionales* sería aquél donde la tarificación del recurso conseguiría los menores ahorros en el consumo.

Sobre la base de los resultados anteriores, puede concluirse afirmando que tanto la política de tarificación de los recursos hídricos como la política agraria son relevantes para reducir el consumo de agua.

#### 4.3.4. Balance de nitrógeno (BALN)

Si se analizan los datos contemplados para el escenario de *statu quo*, se aprecia cómo la aplicación de una tarifa del agua de riego produciría por sí sola importantes reducciones en la cantidad de nitrógeno liberado al medio. Esta circunstancia se debe al abandono de determinadas actividades productivas más exigentes en este tipo de fertilización (maíz y remolacha) por otras con menores requerimientos (cereales y alfalfa en secano).

Considerando el resto de escenarios de política agraria, se puede afirmar que el escenario de *agricultura comunitaria* sería el que recogería las disminuciones más significativas en el indicador del balance de nitrógeno. Por el contrario, el escenario caracterizado por el mantenimiento del *statu quo* sería el que registraría menores reducciones en el balance de nitrógeno, con independencia de la tarifa del agua aplicada.

A la hora de analizar la evolución de este indicador se observa cómo tanto la tarificación del agua de riego como el escenario de política agraria que se desarrolle en el futuro son factores relevantes para determinar el valor finalmente alcanzado por este indicador, y reducir así el riesgo de eutrofización de las aguas provocado por la utilización de fertilizantes nitrogenados en la actividad agrícola.

#### 4.3.5. Balance de energía (BALE)

En relación a este indicador, los resultados obtenidos para el escenario actual de política agraria muestran que la energía neta generada por el sistema agrario (equivalente a la captura de CO<sub>2</sub>) descendería como consecuencia de la tarificación del agua de riego. Este hecho se debe fundamentalmente a los cambios experimentados por los planes de alternativas productivas, donde predominan en mayor medida las actividades de secano, menos eficientes energéticamente. De este modo, la tarificación del agua de riego generaría un efecto medioambiental negativo al disminuir la captura de gases de efecto invernadero por parte del sector agrícola.

Ante distintos escenarios de política agraria puede apreciarse cómo el contexto caracterizado por la *agricultura comunitaria* es el que registra las reducciones más significativas en el balance de energía ante la aplicación de una *tarificación suave y media* del agua de riego (entre el -16% y el -25% respectivamente). Si bien, en el caso de aplicar una *tarificación completa* del recurso la mayor reducción en este indicador se localizaría en el escenario de *mercados mundiales* (-41%). Por el contrario, el escenario más favorable, y por tanto el que recoge las menores caídas en el balance de energía para el conjunto de tarifas del agua consideradas, sería el escenario de *mercados regionales*.

Tal y como ponen de relieve los resultados anteriores, cabe destacar que para promover un balance de energía más favorable en la actividad agrícola de la cuenca del Duero, sería de gran importancia la aplicación tanto de una adecuada política tarifaria del agua de riego como de una política agraria igualmente incentivadora de los cultivos más eficientes energéticamente.

#### 4.3.6. Riesgo de pesticidas (RIPEST)

En cuanto al riesgo de pesticidas puede observarse que ante una situación caracterizada por el *statu quo* en materia de política agraria, la toxicidad producida por la actividad agraria también disminuiría sensiblemente a medida que aumenta el precio del agua. Tal circunstancia tiene su origen en el cambio de actividades que se produciría ante la aplicación de este instrumento.

Al igual que ocurría en el indicador del balance de energía, se aprecia que el contexto de *agricultura comunitaria* es donde se localizarían las mayores reducciones en el riesgo de pesticidas ante la tarificación del agua. Por el contrario, puede observarse cómo el escenario caracterizado por el mantenimiento del *statu quo* sería el entorno más desfavorable para este indicador, y por tanto se registrarían las menores caídas a consecuencia de la tarificación del agua de riego.

Sobre la base de estos resultados se deduce que, a pesar de la influencia que ejerce el escenario de política agraria para disminuir el riesgo de pesticidas derivado de la actividad agrícola, la tarificación del agua de riego sería el factor más influyente a la hora de analizar la evolución de este indicador en la cuenca del Duero.

## 5. Conclusiones

Las conclusiones que se desprenden del trabajo realizado pueden dividirse en metodológicas y empíricas. Dentro de las primeras, conviene comenzar destacando cómo la diversidad de criterios considerados por los agricultores en la gestión de su actividad productiva requiere que el análisis del proceso de toma de decisiones se realice dentro del paradigma de la Teoría de la Decisión Multicriterio. En concreto, se ha optado por realizar una modelización basada en la Teoría de la Utilidad Multiatributo, la cual ha demostrado ser un marco analítico adecuado para estudiar el hipotético comportamiento que mostrarían los productores agrarios ante los diferentes escenarios políticos planteados. En segundo lugar, conviene hacer referencia igualmente a la complejidad del proceso de toma de decisiones públicas. En esta línea resulta evidente cómo en el ámbito político la toma de decisiones no sólo se basa en el logro de la eficiencia económica, sino que también debe considerar otra serie de criterios de carácter económico, social y ambiental. Como consecuencia, en este trabajo se ha desarrollado un conjunto de indicadores que permiten analizar las consecuencias derivadas de la evolución futura de ambas políticas sobre la agricultura de regadío. Así estos resultados de los indicadores deberían considerarse como criterios en el proceso de toma de decisiones políticas en relación a la gestión pública del regadío.

La aplicación práctica de la metodología propuesta se ha realizado sobre la cuenca del Duero, como ejemplo de la agricultura continental del interior de España, donde predomina el cultivo de alternativas productivas de bajo valor añadido y altamente dependientes de las ayudas concedidas por la UE. Cabe destacar en esta línea que los resultados obtenidos podrían ser extrapolables en buena medida a otros sistemas productivos similares, como son las zonas regables del Tajo o del Guadiana I.

En relación a esta aplicación cabe resaltar cómo de los resultados de las simulaciones realizadas parece comprobarse que la aplicación de una política agraria adecuada permitiría alcanzar de forma eficiente los objetivos pretendidos por la tarificación del agua (disminución del consumo de recursos hídricos, aumento de la recaudación pública o reducción de la contaminación generada por los fertilizantes y pesticidas). En esta misma línea conviene destacar que la apropiada aplicación de dichos instrumentos de política agraria permitiría igualmente minimizar los efectos negativos que podría generar la simple aplicación de una política tarifaria del agua, en-

tre los que destacan la disminución experimentada por la renta de los agricultores y la demanda de mano de obra, el aumento del riesgo potencial de erosión del suelo y la reducción del balance energético de la actividad agraria. En definitiva, se concluye en la necesaria coordinación de ambas políticas para poder alcanzar de la forma más eficiente posible los objetivos comúnmente establecidos.

En todo caso, y en función de los resultados obtenidos en este trabajo, se deduce la conveniencia de aplicar una tarifa volumétrica del agua de riego reducida (0,02 €/m<sup>3</sup>) que favorezca la consecución de los objetivos medioambientales contenidos en la DMA (mejora de la eficiencia en el uso del agua y mejora de los ecosistemas acuáticos). De este modo, a pesar de los efectos negativos que puede originar la aplicación de una tarificación del agua, ésta sería necesaria al objeto de concienciar a los agricultores sobre el valor del agua para el conjunto de la sociedad y la importancia que tiene realizar un uso apropiado de la misma. No obstante, esta instrumentación de la tarificación debería acompañarse de una aplicación adecuada de la PAC, que evite al mismo tiempo que tal medida origine efectos negativos de relevancia sobre las explotaciones de regadío y la supervivencia de estas zonas rurales (caída de la renta de los agricultores y del empleo).

## Bibliografía

- Amador, F.; Sumpsi, J.M. y Romero, C. (1998). «A non-interactive methodology to assess farmers' utility functions: An application to large farms in Andalusia, Spain». *European Review of Agricultural Economics*, 25(1):95-109.
- Bazzani, G.M.; Viaggi, D.; Berbel J.; López, M.J. y Gutiérrez, C. (2004). A methodology for the analysis of irrigated farming in Europe, en Berbel, J. y C. Gutiérrez (eds.): *The Sustainability of European Irrigated Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. Commission of the European Communities. Brussels, en prensa. <http://www.uco.es/grupos/wadi>.
- Berbel, J. y Rodríguez, A. (1998). «An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain». *European Journal of Operational Research*, 107(1):108-118.
- Berkhout, F.; Eames, M. y Skea, J. (1998). *Environmental Futures Scoping Study. Final Report*. Science and Technology Policy Research Unit. Brighton. <http://www foresight.gov.uk/>
- Day, R.H. (1963). «On aggregating linear programming models of production». *Journal of Farm Economics*, 45(4):797-813.
- Domínguez Vivancos, A. (1997). *Tratado de fertilización*. Mundi-Prensa. Madrid.
- DTI (1999). *Environmental futures*. PB 4475. Department of Trade and Industry. U.K. <http://www foresight.gov.uk/>
- DTI (2002). *Foresight futures 2020 revised scenarios and guidance*. Department of Trade and Industry. HMSO, UK.
- Escartín, C.M. y Santafé, J.M. (2000). *Application of the Cost Recovery Principle in Spain: Policies and Impacts*. Sintra Seminar «Pricing Water: Economics, Environment and Society». European Commission DGXI e Instituto da Água, Sintra (Portugal).
- Gómez-Limón, J.A. y Riesgo, L. (2004). «Irrigation water pricing: Differential impacts on irrigated farms». *Agricultural Economics*, 31(1):47-66.

- Gómez-Limón, J.A.; Riesgo, L. y Arriaza, M. (2004). Multi-Criteria analysis of input use in agriculture. *Journal of Agricultural Economics*, 55(3):381-398.
- Gómez-Limón, J.A.; Arriaza, M. y Riesgo, L. (2003). «A MCDM analysis of agricultural risk aversion». *European Journal of Operational Research*, 151(3):569-585.
- Gómez de Barreda, D.; Lidón, A.; Gómez de Barreda Ferraz, D.; Gamón, A. y Sáez, A. (1998): *Características fisicoquímicas y biológicas que definen el comportamiento en el suelo de los fitosanitarios*. SEMH (Sociedad Española de Malherbología). Ediciones y promociones Lav, S.L.
- Hazell, P.B.R. y Norton, R.D. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. MacMillan Publishing Company. Nueva York.
- Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade offs*. John Wiley & Sons. Nueva York.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998). *Libro blanco del agua*. MIMAM. Madrid.
- Morris, J.; Vasileiou, K. y Berbel, J. (2004). WADI scenario definition, en Berbel, J. y Gutiérrez, C. (eds.): *The Sustainability of European Irrigated Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. Commission of the European Communities. Brussels, en prensa. <http://www.uco.es/grupos/wadi>.
- OCDE (2001). *Environmental indicators for agriculture. Volume 3 - Methods and Results*. OCDE. París.
- Riesgo, L. (2004). *Sostenibilidad del regadío en la cuenca del Duero ante los retos de la DMA y la reforma de la PAC*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo.
- Solano, C.; León, H.; Pérez, E. y Herrero, M. (2001). «Characterising objective profiles of Costa Rican dairy farmers». *Agricultural Systems*, 67(1):153-179.
- Sumpsi, J.M.; Amador, F. y Romero, C. (1997). «On farmers' objectives: a multi-criteria approach». *European Journal of Operational Research*, 96(1):64-71.
- Volpi, R. (1992). *Bilanci Energetici in agricoltura*. Laruffa Ed. Italia.
- Willock, J.; Deary, I.J.; Edwards-Jones, G.; McGregor, M.J.; Sutherland, A.; Dent, J.B.; Morgan, O. y Grieve, R. (1999). «The role of attitudes and objectives in farmer decision making: business and environmentally-oriented behaviour in Scotland». *Journal of Agricultural Economics*, 50(2):286-303.

## Anexos

CUADRO A-1

**Precios, subvenciones y rendimientos de los productos y precios de los insumos agrícolas en los distintos escenarios. Estimación para el año 2010 (expresado en porcentaje. Año 2000 = 100)**

	<i>Statu quo</i>	Mercados mundiales	Sostenibilidad global	Mercados regionales	Agricultura comunitaria	MTR
<i>Precios</i>						
Trigo	100	85	95	105	115	100
Cebada	100	85	95	105	115	100
Maíz	100	90	100	105	115	100
Remolacha	100	60	80	95	105	100
Girasol	100	85	90	100	105	100
Alubia	100	80	90	95	110	100
Patata	100	90	100	110	125	100
Alfalfa	100	80	90	95	110	100
<i>Rendimientos</i>						
	100	120	120	120	90	100
<i>Subvenciones directas a cultivos (pagos por superficie)</i>						
Trigo	100	0	95	100	100	25
Cebada	100	0	95	100	100	25
Maíz	100	0	80	95	90	25
Girasol	100	0	100	100	115	25
Retirada	100	0	80	100	115	0
Resto de cultivos	0	0	0	0	0	25
<i>Costes</i>						
Maquinaria	100	90	130	105	140	100
Abonos	100	90	135	105	150	100
Pesticidas	100	90	140	105	140	100
Semillas	100	115	110	110	100	100
Mano de obra	100	115	135	115	140	100
Serv. contratados	100	105	120	115	135	100

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO A-2

Descripción del modelo multicriterio para el escenario de *statu quo* y tarifa cero. Grupo II de la C.R. de los Canales del Bajo Carrión

Variables	X1	X2	X3	X37	X38	X43	CC1	CC2	CC11	CC12	K
Función objetivo	$MAUF = -\max(110,081 - 1,140 \cdot 10^5 \cdot MBET1, 1,021 + 8,932 \cdot 10^9 \cdot VAR) - (9,120 \cdot 10^7 \cdot MBET - 7,146 \cdot 10^{10} \cdot VAR)$										
Atributos de la MAUF											
MBET (€)	261,94	175,25	272,66	...	981,21	870,37	...	508,79	301,02	...	177,51
VAR (ver matriz de var-covar)*											
MOT (días/ha)	11,60	6,50	9,10	...	13,10	10,55	...	24,20	15,88	...	1,20
K (€)											
<i>Restricciones</i>											
Superficie	1	1	1	...	1	1	...	1	1	...	1
PAC 1 (máx. retirada) (ha)	0,20	0,20	0,20	...	...	...	...	...	...	...	-1
PAC 2 (mín. retirada) (ha)											
PAC 3 (cuota) (ha)											
Frecuencia (ha)											
Mercado (ha)											
<i>Programa Maximin para el capital circulante (K)</i>											
Cap. circulante 1 (€)	0	0	0	...	6,36	6,36	...	0	0	...	0
Cap. circulante 2 (€)	0	0	0	...	229,64	221,94	...	0	0	...	0
Cap. circulante 3 (€)	82,39	82,39	82,39	...	358,96	358,96	...	71,97	71,97	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Cap. circulante 11 (€)	254,79	254,79	254,79	...	0	0	...	0	0	...	0
Cap. circulante 12 (€)	0	0	0	...	-3,439,73	-3,267,74	...	0	0	...	-211,21
Maximin 1 (€)											
Maximin 2 (€)											
...											
Maximin 12 (€)											

\* Siendo el riesgo total  $(VAR) = \bar{X}_j [cov] \bar{X}_i$ , donde la matriz de varianzas-covarianzas [cov] para el grupo II de la Comunidad de Regantes del Bajo Carrión es igual a:

[cov]	=	7342	3706	4321	...	-336
		3706	14856	1734	...	-2515
		4321	1734	5722	...	-134
		...	...	...	...	...
		-336	-2515	-134	...	697

CUADRO A-3  
**Variaciones en los indicadores analizados respecto a un escenario «*statu quo*»  
y una tarifa cero del agua de riego (I)**

Indicadores	Escenario PAC	Tarifa nula 0,00 €/m <sup>3</sup>	Tarifa suave 0,02 €/m <sup>3</sup>	Tarifa media 0,04 €/m <sup>3</sup>	Tarifa completa 0,06 €/m <sup>3</sup>
MBET Nivel de referencia: 701 €/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-148,7 (-21,2%)	-286,9 (-41,0%)	-380,3 (-54,3%)
	Mercados mundiales	-255,0 (-36,4%)	-417,4 (-59,6%)	-559,0 (-79,8%)	-630,5 (-90,0%)
	Sostenibilidad global	-11,4 (-1,6%)	-168,6 (-24,1%)	-311,1 (-44,4%)	-416,0 (-59,4%)
	Mercados regionales	123,8 (18,0%)	-26,2 (-3,7%)	-165,1 (-23,6%)	-283,8 (-40,5%)
	Agricult. comunitaria	-170,2 (-24,3%)	-321,5 (-45,9%)	-427,6 (-61,0%)	-493,9 (-70,5%)
	MTR	60,3 (8,61%)	-52,3 (-7,45%)	-143,2 (-20,43%)	-203,5 (-29,03%)
AYUPUB Nivel de referencia: 260 €/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-6,0 (-2,2%)	-4,5 (-1,8%)	-24,1 (-9,3%)
	Mercados mundiales	-259,7 (-100%)	-259,7 (-100,0%)	-259,7 (-100,0%)	-259,7 (-100,0%)
	Sostenibilidad global	-42,4 (-16,3%)	-39,3 (-15,1%)	-35,0 (-13,5%)	-36,3 (-14,0%)
	Mercados regionales	-32,8 (-12,6%)	-33,1 (-12,7%)	-31,0 (-11,9%)	-31,0 (-11,9%)
	Agricult. comunitaria	-24,9 (-9,6%)	-19,6 (-7,6%)	-19,1 (-7,4%)	-13,3 (-5,1%)
	MTR*	12,8 (4,93%)	35,6 (13,68%)	26,2 (10,01%)	25,5 (9,82%)
RECPUB Nivel de referencia: 0 €/ha	Statu quo	0,0	121,9	196,6	193,5
	Mercados mundiales	0,0	130,2	209,6	178,8
	Sostenibilidad global	0,0	121,4	201,5	260,3
	Mercados regionales	0,0	131,7	236,3	301,8
	Agricult. comunitaria	0,0	102,2	169,9	190,8
	MTR	0,0	108,8	148,7	145,3
MOT Nivel de referencia: 1,53 persona día/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-0,12 (-7,7%)	-0,34 (-22,5%)	-0,63 (-41,0%)
	Mercados mundiales	0,26 (17,0%)	0,13 (8,2%)	-0,10 (-6,8%)	-0,52 (-34,1%)
	Sostenibilidad global	0,20 (12,8%)	0,04 (2,5%)	-0,15 (-9,9%)	-0,28 (-18,3%)
	Mercados regionales	0,08 (5,1%)	0,03 (1,7%)	-0,08 (-5,1%)	-0,20 (-13,1%)
	Agricult. comunitaria	0,02 (1,0%)	-0,23 (-15,0%)	-0,39 (-25,7%)	-0,59 (-38,4%)
	MTR	0,01 (0,36%)	-0,06 (-4,2%)	-0,35 (-22,9%)	-0,56 (-36,8%)
ESTAC Nivel de referencia: 71%	Statu quo	0,0%	-0,4%	0,6%	-3,9%
	Mercados mundiales	-14,9%	-15,7%	-17,4%	-14,2%
	Sostenibilidad global	-11,9%	-12,5%	-10,3%	-9,8%
	Mercados regionales	-15,6%	-16,0%	-16,2%	-16,1%
	Agricult. comunitaria	-6,7%	-5,3%	-7,6%	-9,8%
	MTR	-9,9%	-13,3%	-15,8%	-12,1%
DIVERS Nivel de referencia: 7 cultivos	Statu quo	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	Mercados mundiales	0 (0,0%)	1 (14,3%)	0 (0,0%)	-1 (-14,3%)
	Sostenibilidad global	1 (14,3%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)
	Mercados regionales	2 (28,6%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)
	Agricult. comunitaria	2 (28,6%)	2 (28,6%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)
	MTR	2 (28,6%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)
COBSUEL Nivel de referencia: 66%	Statu quo	0,0%	-0,9%	-4,4%	-7,7%
	Mercados mundiales	7,3%	5,7%	0,3%	-3,8%
	Sostenibilidad global	-2,8%	-4,5%	-6,8%	-9,4%
	Mercados regionales	-2,4%	-3,6%	-5,0%	-7,1%
	Agricult. comunitaria	-9,3%	-12,0%	-14,5%	-17,6%
	MTR	4,3%	4,7%	5,6%	1,3%

\* Para el cálculo de este indicador en el escenario *MTR*, se han considerado tanto las ayudas públicas vinculadas a la producción como el pago único, por hectárea, que percibiría cada explotación.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO A-3**  
**Variaciones en los indicadores analizados respecto a un escenario «*statu quo*»**  
**y una tarifa cero del agua de riego (y II)**

USOAGUA Nivel de referencia: 6.759 m <sup>3</sup> /ha	Statu quo	0 (0,0%)	-655 (-9,9%)	-1.844 (-27,3%)	-3.534 (-52,3%)
	Mercados mundiales	503 (7,4%)	-250 (-3,7%)	-1.519 (-22,5%)	-3.778 (-55,9%)
	Sostenibilidad global	116 (1,7%)	-689 (-10,2%)	-1.722 (-25,5%)	-2.421 (-35,8%)
	Mercados regionales	91 (1,4%)	-175 (-2,6%)	-851 (-12,6%)	-1.728 (-25,6%)
	Agricult. comunitaria	-437 (-6,5%)	-1.650 (-24,4%)	-2.511 (-37,2%)	-3.578 (-52,9%)
	MTR	-786 (-11,6%)	-1.319 (-19,5%)	-3.042 (-45,0%)	-4.337 (-64,2%)
BALN Nivel de referencia: 138 kg N/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-18,6 (-13,4%)	-54,8 (-39,6%)	-81,3 (-58,8%)
	Mercados mundiales	-37,5 (-27,1%)	-46,2 (-33,4%)	-61,3 (-44,3%)	-87,8 (-63,4%)
	Sostenibilidad global	-88,4 (-63,8%)	-91,7 (-66,2%)	-98,5 (-71,1%)	-103,8 (-75,0%)
	Mercados regionales	-102,3 (-73,9%)	-103,6 (-74,8%)	-105,6 (-76,2%)	-109,6 (-79,2%)
	Agricult. comunitaria	-100,9 (-72,9%)	-107,7 (-77,8%)	-113,2 (-81,8%)	-120,4 (-87,0%)
	MTR	-8,1 (-5,8%)	-19,6 (-14,2%)	-56,3 (-40,8%)	-91,5 (-66,3%)
BALE Nivel de referencia: 15·10 <sup>6</sup> kcal/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-0,87 (-5,9%)	-2,77 (-18,6%)	-5,13 (-34,4%)
	Mercados mundiales	-0,27 (-1,8%)	-1,40 (-9,4%)	-3,50 (-23,5%)	-6,31 (-42,4%)
	Sostenibilidad global	-0,20 (-1,3%)	-1,56 (-10,5%)	-3,43 (-23,1%)	-4,49 (-30,1%)
	Mercados regionales	0,08 (0,5%)	-0,36 (-2,4%)	-1,37 (-9,2%)	-2,56 (-17,2%)
	Agricult. comunitaria	-1,67 (-11,2%)	-3,73 (-25,0%)	-4,95 (-33,3%)	-6,52 (-43,7%)
	MTR	-0,50 (-14,1%)	-0,74 (-5,0%)	-2,69 (-17,9%)	-4,69 (-31,3%)
RIEPEST Nivel de referencia: 21·10 <sup>3</sup> RP/ha	Statu quo	0,0 (0,0%)	-1,40 (-6,8%)	-4,60 (-22,4%)	-10,42 (-50,7%)
	Mercados mundiales	-5,17 (-25,2%)	-7,69 (-37,4%)	-11,16 (-54,3%)	-14,70 (-71,5%)
	Sostenibilidad global	-10,11 (-49,2%)	-11,00 (-53,5%)	-13,65 (-66,4%)	-14,59 (-71,0%)
	Mercados regionales	-8,92 (-43,4%)	-9,16 (-44,6%)	-9,65 (-46,9%)	-10,64 (-51,8%)
	Agricult. comunitaria	-11,11 (-54,1%)	-14,00 (-68,1%)	-15,12 (-73,6%)	-16,35 (-79,6%)
	MTR	-2,95 (-14,1%)	-3,69 (-17,6%)	-7,50 (-35,7%)	-10,76 (-51,3%)

Fuente: Elaboración propia.