

# **Escenarios de futuro y sus repercusiones sobre la agricultura de regadío: El caso de la zona regable de Arévalo-Madrigal (Ávila)<sup>1</sup>**

## ***Future scenarios and their impacts on irrigated agriculture: the case of Arévalo-Madrigal (Ávila) irrigated district***

**Jordi Gallego-Ayala**

**Universidad de Valladolid**

**José A. Gómez-Limón**

**Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA)**

Recibido, Noviembre de 2008; Versión final aceptada, Noviembre de 2009.

PALABRAS CLAVE: Prospectiva, Política Agraria Común, Programación Matemática Positiva, Simulación, Indicadores de sostenibilidad.

KEY-WORDS: Prospective, Common Agriculture Policy, Positive Mathematical Programming, Simulation, Sustainability indicators.

Clasificación JEL: C61, D83, Q15, Q18.

### RESUMEN

La agricultura se encuentra inmersa en un profundo proceso de cambio. Dentro de este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar los impactos socioeconómicos y ambientales de diversos escenarios de futuro sobre un sistema agrario real; la zona regable de Arévalo-Madrigal (Ávila). La simulación del comportamiento productivo de los agricultores ante los diversos escenarios de futuro planteados se ha llevado a cabo utilizando modelos de programación matemática positiva. Los resultados obtenidos permiten concretar la influencia de los diferentes vectores de cambio, evidenciando el interés de este tipo de trabajo de prospectiva para la toma de decisiones públicas en el ámbito de la agricultura.

1 Los autores agradecen sinceramente los comentarios y sugerencias realizadas por los tres revisores anónimos, en la medida que han contribuido a la mejora científica de su contenido. Esta investigación ha sido cofinanciada por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto FUTURPAC (AGL2006-05587-C04-01), y por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León por medio del proyecto FUTURCYL (VA036A08).

### ABSTRACT

Agriculture is undergoing a deep process of changes. Within this context, the main objective of this paper is to analyze the socioeconomic and environmental impacts of different future scenarios on a concrete agricultural system; Arévalo-Madrugal irrigated district in the province of Ávila. The simulations of farmers' behaviour in some future scenarios have been carried out using positive mathematical programming models. The results obtained enable us to quantify the influence of the different driving forces, pointing out the utility of this prospective analysis to support public decision-making in agriculture.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Soplan vientos de cambio para la agricultura. Esta afirmación podría describir cualquier instante en la evolución del sector durante las últimas décadas, sin embargo tal aseveración es hoy en día más patente que nunca. En primer lugar cabe destacar cómo la sucesión de acontecimientos y de los correspondientes procesos de adaptación se están realizando cada vez con mayor rapidez. Prueba de ello son los fenómenos derivados de la globalización (extensión del comercio internacional de productos agrarios), el crecimiento demográfico y el desarrollo económico (demanda creciente de productos agrarios para consumo humano y alimentación animal), los avances de la biotecnología (cultivos transgénicos), la creciente escasez de energías fósiles (encarecimiento de los insumos agrarios –carburantes, fertilizantes, etc.– y demanda creciente de cultivos energéticos), el cambio climático (mayor ocurrencia de eventos climáticos extremos), etc. Todo ello está conduciendo a un nuevo panorama agrario internacional. Así, tras décadas donde la agricultura era considerada un sector deprimido, con precios en clara evolución descendente, en los últimos años se aprecia un cambio de tendencia. El punto de inflexión en este sentido parece ser el año 2007, año en el que las cotizaciones de las materias primas agrarias en los mercados mundiales han sufrido un drástico aumento, alcanzándose valores máximos históricos. Esta nueva situación de precios elevados parece tener un carácter estructural, en la medida que está causada por factores que se mantendrán en el tiempo, como la demanda mundial de alimentos (EC, 2008 y OECD-FAO, 2008). Nos encontramos, pues, ante un nuevo resurgimiento de la agricultura como sector estratégico a nivel internacional.

En segundo lugar debe indicarse igualmente cómo el cariz de los cambios que se están produciendo en la actualidad puede considerarse significativamente distinto a los acontecidos en periodos precedentes. Hasta hace pocos años, los objetivos de los procesos de cambio eran primordialmente la mejora de la productividad (suficiencia alimentaria) y la eficiencia económica de las explotaciones (mejora de la renta agraria). Por el contrario, en la actualidad el proceso es mucho más complejo, incorporando entre sus fuerzas motrices aspectos hasta hace poco prácticamente

ignorados, como el medio ambiente, la seguridad alimentaria o la viabilidad de las comunidades rurales. Efectivamente, los cambios recientes en el sector han venido a centrar el debate social y político en el hecho de que la actividad agraria, además de alimentos y materias primas, produce simultáneamente otros bienes y servicios de carácter no comercial propios de una actividad multifuncional (Gómez-Limón y Barreiro, 2007). Tales consideraciones han motivado que a lo largo de la última década se hayan producido una serie de reformas de las políticas agrarias de los países desarrollados, con el propósito de dar respuesta a las nuevas demandas ciudadanas. En este sentido el caso de la Unión Europea (UE) es paradigmático, en la medida que su Política Agraria Común (PAC) ha sido reformada de forma sucesiva en los años 1992 (Reforma MacSharry), 1999 (Agenda 2000), 2003 (Reforma intermedia) y 2009 (Chequeo médico), todo ello con el propósito de fomentar el desarrollo de una agricultura cada vez más sostenible en términos económicos (competitividad), sociales (aceptabilidad) y ambientales (eco-compatibilidad).

Las circunstancias anteriores ponen de relieve el interés objetivo que tiene el estudio del futuro del sector agrario en el momento actual, máxime en una región como Castilla y León, donde este carácter multifuncional de la agricultura es más que evidente, pero donde la falta de rentabilidad amenaza seriamente la supervivencia de la actividad y del medio rural en el que ésta se desarrolla (MAPA, 2004). Se justifica así la relevancia del objetivo principal de este trabajo, que no es otro que analizar los impactos económicos, sociales y ambientales de diferentes escenarios de futuro y sus implicaciones en la agricultura de Castilla y León. No obstante, al objeto de operativizar este objetivo se ha optado por realizar una aplicación empírica en esta línea para un caso de estudio concreto: la Zona Regable de Arévalo-Madrigal, en la provincia de Ávila. Así, si bien los resultados de la investigación sólo podrán generalizarse para sistemas agrarios similares (zonas regadas de Castilla y León con aguas de origen subterráneo), esta investigación confía estar la utilidad de este tipo de análisis prospectivo como herramienta de apoyo para la toma de decisiones políticas en materia de política agraria.

---

## 2. CASO DE ESTUDIO

---

La Zona Regable (ZR) de la comarca de Arévalo-Madrigal se localiza en el sur de la cuenca del Duero, dentro de la provincia de Ávila. La superficie total abarcada por el regadío en esta comarca asciende a 13.662 ha, representando el 9,6% de la superficie agraria útil de la misma. Este sistema agrario se caracteriza por estar localizado a una altitud media cercana a los 900 m, y una climatología de marcado carácter continental, con precipitaciones escasas (media anual no supera los 450 mm) e irregularmente repartidas a lo largo del año (sequía estival). En estas condi-

ciones la agricultura de regadío se presenta como la única alternativa para romper el monocultivo de cereales de invierno típico del secano de la zona, haciendo posible el desarrollo de los cultivos de verano.

Los cultivos de regadío predominantes en la zona (datos para el año 2007) son los cereales (maíz, cebada y trigo), que ocupan el 69,3% de la superficie total, los cultivos industriales (remolacha y girasol), con el 22,4%, la patata (2,4%) y la alfalfa (1,2%). El resto de cultivos, como leguminosas y hortalizas, resultan ser de carácter minoritario. Los recursos hídricos de los que se abastece la agricultura de regadío de la zona proceden de una importante masa de agua subterránea, más concretamente de la Unidad Hidrogeológica 02.17, también conocida como el acuífero de "Los Arenales". Dado el origen subterráneo del agua, el sistema de riego predominante en la zona es el de aspersión. En este sentido debe indicarse que el uso cada vez más intensivo de las aguas subterráneas de la zona para usos agrarios ha puesto esta masa de agua al borde de la insostenibilidad, tanto en el plano cuantitativo (sobreexplotación) como cualitativo (contaminación por nitratos).

La superficie regada de la comarca está repartida entre 1.133 explotaciones, lo que supone una explotación media de regadío de 12,1 ha. No obstante, la heterogeneidad de las explotaciones existentes en la zona de estudio es grande. Al objeto de caracterizar tal diversidad, se ha realizado una tipología de las mismas aplicando la técnica cluster, considerándose como variables tipificadoras los planes de cultivo seguidos por los regantes (véase apartados 3.3 y 3.5). Así, se han podido definir tres conjuntos homogéneos de explotaciones con sus respectivas explotaciones "tipo". Las características principales de tales explotaciones pueden observarse en el Cuadro 1.

**CUADRO 1  
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS EXPLOTACIONES “TIPO”**

	<b>Grupo 1 (G1) Grandes cerealistas</b>	<b>Grupo 2 (G2) Cerealistas remolacheros</b>	<b>Grupo 3 (G3) Pequeños remolacheros</b>
Agricultores de la muestra	31,2%	50,0%	18,8%
Superficie representativa	68,4%	29,5%	2,1%
Tamaño de explotación*	115,8 ha	31,3 ha	6,0 ha
Porcentaje de las tierras de regadío en propiedad	93,0%	68,6%	66,7%
Edad	49,5 años	54,0 años	50,2 años
Tiempo dedicado a la actividad agraria	90,0%	91,3%	100,0%
Porcentaje de agricultores con estudios secundarios o superiores*	70,0%	12,5%	0,0%
Principales cultivos*	Cereales de invierno (65%), remolacha (13%) y maíz (8%)	Cereales de invierno (64%) y remolacha (21%)	Remolacha (93%)

*Fuente:* Elaboración propia a partir de Gallego y Gómez-Limón (2008).

\* Variables para las cuales se han encontrado diferencias significativas entre los diferentes grupos homogéneos de agricultores (aplicación de la prueba ANOVA para variables cuantitativas y test chi-cuadrado para variables categóricas).

Por último, cabe apuntar el interés objetivo de la zona objeto de estudio seleccionada para el propósito de la investigación, dado que se trata de un sistema agrario altamente dependiente de las ayudas PAC, donde se ponen claramente de manifiesto los conflictos existentes entre los intereses privados (rentabilidad del agricultor) y públicos (desarrollo rural y eco-compatibilidad -presiones cuantitativas y cualitativas sobre el acuífero).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Los escenarios analizados

Los escenarios de futuro considerados para la aplicación empírica de esta investigación han sido tomados de un trabajo previo realizado por Gómez-Limón

*et al.* (2009). En este estudio se han construido cuatro escenarios para el sector agrario castellano y leonés en el horizonte del año 2020, teniendo en consideración la evolución de tres vectores de cambio que se consideran como fuerzas motrices: a) la producción agraria, b) la demanda de productos agroalimentarios, y c) el marco institucional. Del análisis en profundidad de las tendencias y perspectivas de futuro de estos vectores de cambio se han generado los correspondientes “escenarios parciales”, que convenientemente combinados han dado lugar a cuatro “escenarios globales”, tal y como puede apreciarse en el Cuadro 2.

CUADRO 2  
VECTORES DE CAMBIO. ESCENARIOS PARCIALES Y GLOBALES

VECTOR DE CAMBIO	ESCENARIOS PARCIALES			
<b>Producción agraria</b>	Abandono para el ocio (A1)	Agricultura empresarial (A2)	Agricultura familiar multifuncional (A3)	
<b>Demanda de productos agrarios</b>	Tendencial (B1)	Consumismo global (B2)	Consumo responsable (B3)	
<b>Marco institucional</b>	Tendencial (C1)	Liberalización (C2)	Regionalización (C3)	Profundización (C4)
	ESCENARIOS GLOBALES			
	Tendencial (A1+B1+C1)	Triunfo del mercado (A2+B2+C2)	Sostenibilidad regional (A3+B3+C3)	Sostenibilidad europea (A3+B3+C4)

Fuente: Gómez-Limón et al. (2009).

Las características básicas de los cuatro escenarios de futuro así obtenidos pueden sintetizarse como sigue:

*Escenario “Tendencial”*. En este escenario se da continuidad a las tendencias experimentadas en la agricultura regional en los últimos años. Desde el punto de vista institucional, los agricultores deberán desenvolverse en un marco de la PAC con mayores restricciones presupuestarias. Los pagos directos a la producción, de menor cuantía que en la situación actual, se suponen estarán totalmente desacoplados, siendo recibidos a través de un régimen de Pago Único de Explotación (PUE)

individualizado, tal y como ocurre en la actualidad. No obstante, estas ayudas estarán sometidas a unas mayores exigencias medioambientales (condicionalidad). Por otro lado, en lo que respecta a la producción agraria se considera que se adoptarán nuevas técnicas de cultivo encaminadas a la reducción de costes, como estrategia frente al aumento de los precios de los insumos agrarios. Asimismo se supone que el cultivo de Organismos Modificados Genéticamente (OMGs) se generalizará<sup>2</sup>.

*Escenario "Triunfo del mercado"*. Este escenario es el resultado de una concepción mercantilista de la sociedad del futuro. Así, el primer hecho destacable es la consideración de un amplio acuerdo en el seno de la Organización Mundial de Comercio (OMC) al objeto de liberalizar mundialmente el comercio de los productos agrarios. En esta misma línea se establecerá un marco político caracterizado por una PAC bajo mínimos, con una fuerte reducción de su presupuesto (disminución sustancial de las ayudas a las rentas agrarias) y una nula protección arancelaria de los mercados. Los pagos percibidos por los productores, muy reducidos respecto a los actuales, estarán totalmente desvinculados de la producción y serán cobrados a través de un PUE individualizado como hasta ahora. En contraposición con el escenario anterior, las exigencias medioambientales ligadas a la producción serán más flexibles, al objeto de facilitar una mayor competitividad en el plano internacional. Asimismo, ante este nuevo contexto se produce un proceso de reconversión de la producción agraria, que se traduce en la adopción de nuevas tecnologías ahorradoras de costes y la adopción generalizada de OMGs.

*Escenario "Sostenibilidad regional"*. Este escenario presenta un futuro donde se consideran de forma especial los aspectos ambientales y sociales ligados a la actividad agraria. Por este motivo no se llegará a un acuerdo en la ronda negociadora de la OMC. La respuesta de los países desarrollados a esta situación será el proteccionismo comercial (incremento de aranceles para productos agrarios), lo que posibilitará un incremento de los precios internos. En el plano institucional este escenario estará caracterizado por una PAC con un presupuesto más reducido que

- 2 Sin duda el cultivo de OMGs es en la actualidad un tema de debate público en la UE, con posiciones a favor y en contra de los mismos. El mayoritario rechazo de la población a este tipo de alimentos ha hecho que hasta el momento los OMGs cultivados en la UE sean exclusivamente para alimentación animal (los productos ganaderos de animales alimentados con materias primas modificadas genéticamente no se consideran legalmente como alimentos transgénicos). Incluso algunos países de la UE, ante la alarma de ecologistas y consumidores, mantienen prohibiciones al desarrollo de este tipo de cultivos en su territorio. En todo caso, los reparos a este tipo de cultivos tiende a atenuarse en todo el mundo, especialmente en los principales productores de materias primas agrarias como Estados Unidos, China, Brasil, Argentina o Canadá, donde este tipo de cultivos están en clara fase de expansión, con más de 100 millones de hectáreas. En este sentido, la "generalización" de los OMGs a la que se refiere el escenario *Tendencial*, quiere señalar su uso mayoritario de los mismos en cultivos para alimentación animal (p.e., maíz o cebada).

el actual, donde cada miembro de la UE determinará la forma de ‘gobernanza’ de su agricultura (renacionalización parcial). En todo caso, para el conjunto de la UE se introduce un desacoplamiento total de las ayudas, que serán distribuidas entre los productores a través de pagos regionalizados. Asimismo, se implementarán medidas más restrictivas en lo concerniente a la condicionalidad y la modulación, así como una mayor dotación de los programas agroambientales. Todo lo anterior promoverá la introducción de técnicas de cultivo más respetuosas con el medio ambiente.

*Escenario “Sostenibilidad europea”*. Se trata éste de una variante del anterior, donde se atienden igualmente a cuestiones ambientales y sociales relacionadas con la agricultura, pero desde una postura común para el conjunto de la UE, manteniendo la PAC como una política realmente europea. A nivel institucional, se produce un incremento del presupuesto comunitario destinado a la política agraria, cuya operatividad se ve simplificada a través de pagos regionalizados sujetos a estrictos criterios de condicionalidad y modulación. No obstante, en esta nueva PAC gana peso la política de desarrollo rural frente a la tradicional política agraria de rentas agrarias. Por otro lado, se afirma el carácter multifuncional de la agricultura, al mismo tiempo que en el medio rural se desarrollan actividades complementarias a la agricultura.

El lector interesado puede consultar los trabajos de Gómez-Limón (2008) y Gómez-Limón *et al.* (2009) para obtener una descripción más detallada de los anteriores escenarios.

En cualquier caso, para permitir que estos escenarios sean operativos y puedan simularse a través de la programación matemática, es necesario que las anteriores narrativas se complementen con la cuantificación de las variaciones que se supone experimentarán, en cada caso, un conjunto de parámetros clave que condicionan la actividad agrícola de regadío. Los cambios asumidos para tales parámetros son los que se observan en el Cuadro 3. Las cifras recogidas en este cuadro hacen referencia al nivel que se supone alcanzarán los parámetros considerados en el horizonte 2020. En este sentido se ha tomado el valor 100 como referencia para la situación del año base (2007). Valores superiores (inferiores) a 100 en los diferentes escenarios indicarán incrementos (disminuciones) en los valores de dichos parámetros, representando dichos valores las variaciones porcentuales que experimentarán respecto a la situación actual (por ejemplo, un valor de 125 indica un incremento del parámetro de un 25% respecto a la situación actual)<sup>3</sup>.

3 Para los parámetros relativos a las ayudas públicas, como el tipo de pago único de explotación, la obligatoriedad de de barbecho ambiental, el tope de las ayudas (*capping*) o su modulación, se ha dispuesto directamente el valor (en euros o en porcentaje) asumido en cada caso.

**CUADRO 3**  
**CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LOS ESCENARIOS DE FUTURO**

	ESCENARIOS				
	<i>Situación actual (2007)</i>	<i>Tendencia</i>	<i>Triunfo del mercado</i>	<i>Sostenibilidad regional</i>	<i>Sostenibilidad europea</i>
PRECIOS PRODUCTOS AGRARIOS					
Trigo	100	73	58	84	80
Cebada	100	103	82	118	113
Maíz	100	91	73	105	100
Remolacha	100	90	72	104	99
Oleaginosas	100	96	77	110	106
Leguminosas y forrajeras	100	84	67	96	92
Patata	100	90	72	104	99
RENDIMIENTOS					
Rendimientos cultivos	100	108	115	100	104
PRECIOS INSUMOS					
Semillas	100	103	100	100	100
Abonos	100	110	100	108	120
Pesticidas	100	120	100	108	125
Maquinaria	100	100	100	100	105
Energía <sup>1</sup>	100	120	120	120	138
Mano de obra	100	110	103	113	115
Servicios contratados	100	105	103	100	115
AYUDAS PÚBLICAS					
Pagos acoplados para cultivos	100	0	0	0	0
Tipo de Pago Único de Explotación	Individual	Individual	Individual	Regionalizado	Regionalizado
Pago Único de Explotación	100	83	50	90	100
Obligación de barbecho ambiental	0%	0%	0%	3%	10%
Capping (= tope de ayudas)	No	No	100.000 €	200.000 €	200.000 €
Regresión ayudas <50.000 €	5%	5%	0%	0%	0%
Regresión ayudas 50.000-100.000 €	5%	5%	50%	25%	25%
Regresión ayudas 100.000-200.000 €	5%	5%	100%	50%	50%
Regresión ayudas >200.000 €	5%	5%	100%	100%	100%
CONDICIONALIDAD*					
Restricción uso de agroquímicos	3,0	3,5	2,0	4,0	5,0
Restricciones rotaciones y laboreo	3,0	2,8	2,0	3,0	4,0

*Fuente:* Gómez-Limón *et al.* (2009). \* Cuantificado empleando una escala 1-5, donde "3". equivale a la condicionalidad actual, "1" equivale a una disminución importante de las exigencias y "5" equivale a un aumento importante de las exigencias.

La parte empírica del trabajo abordará la simulación de los cuatro escenarios anteriores al objeto de evaluar los impactos que éstos implicarían sobre el sistema agrario objeto de estudio. No obstante, para poder darle significación a los resultados obtenidos, conviene que éstos sean comparados con los resultados de la “situación actual”. Sin embargo, la caracterización del escenario existente hoy en día es problemática, dado que, como se apuntaba en la introducción, el sector vive actualmente inmerso en un proceso de continuo cambio, especialmente remarcado en nuestro caso de estudio por: a) la adaptación a la reforma intermedia de la PAC (desacoplamiento parcial introducido a partir de 2006), b) la volatilidad que sacude los mercados de productos e insumos agrarios desde 2007, y c) la implementación de la reforma de la Organización Común de Mercado (OCM) del azúcar que, a través de un periodo transitorio, ha comenzado a aplicarse a partir del año 2008. En tales circunstancias tan cambiantes, cualquier “escenario actual” no deja de ser circunstancial. Por este motivo se ha optado por trabajar con tres escenarios de referencia. Dichos escenarios son los siguientes:

*Escenario “PAC-2005”*. Este primer escenario se corresponde con el marco político anterior al actual, derivado de la aplicación de la Agenda 2000, caracterizado por un apoyo público al sector agrario instrumentado a través de pagos directos por superficie en base a rendimientos teóricos comarcales. Asimismo, los precios de productos e insumos agrarios considerados son los existentes en el año 2005. Este escenario será el que se considere como “base” (*business-as-usual*) a la hora de comparar el resto de los resultados.

*Escenario “PAC-reformada”*. Este escenario se refiere a la situación de política agraria que existirá a partir del año 2008, tras la aplicación de la Reforma Intermedia de la PAC y la reciente reforma de la OCM del azúcar. Por tanto, se han considerado los efectos de la desvinculación parcial de las ayudas de la PAC, es decir, el mantenimiento del 25% de los pagos directos por superficie y la introducción de un régimen de PUE a través del cual se cobra el 75% de las ayudas históricas. Además, este escenario contempla igualmente la reestructuración del sector remolachero promovido por la nueva OCM, que se traduce en: a) disminución del precio de venta de la remolacha de 48 €/t a 40 €/t, b) integración de la remolacha en el régimen de PUE, en el que se incluyen 11 euros anuales por cada tonelada que se entregase como media durante el bienio 2004-2005, y c) abandono obligatorio del 50% de la producción, por el que los cultivadores recibirán una compensación de 40 euros por cada tonelada que de media entregasen durante el cuatrienio 2004-2008. Finalmente, cabe señalar que en este caso se ha asumido que los precios de productos e insumos agrarios aplicables son los mismos que los existentes en el año 2005.

*Escenario “PAC-2005 (precios actuales)”*. Se trata de una variante del escenario *PAC-2005*, del que lo diferencia únicamente la consideración de precios de los productos e insumos agrarios del año 2007. Este escenario “virtual”, serviría

como herramienta para evaluar la incidencia diferencial de la reforma de la PAC y la evolución de los precios.

### 3.2. La técnica de simulación: la Programación Matemática Positiva

La Programación Matemática Positiva (PMP) es una técnica desarrollada por Howitt (1995) que asume que la actividad productiva de una explotación agraria o de un grupo de éstas es la consecuencia del comportamiento maximizador del beneficio de sus titulares. Así, las diferencias observadas entre los distintos productores se considera que están motivadas por los diferentes costes de producción que éstos deben soportar. Sobre la base de este supuesto, esta técnica de programación matemática trata de estimar el valor de los costes de los diferentes cultivos que permiten obtener, a través de un modelo de programación matemática, la misma distribución de cultivos que la observada en la realidad. Para ello emplea un sistema de calibración basado en la información contenida en el valor dual de las variables de los correspondientes modelos de Programación Lineal (PL).

La calibración de la PMP descrita por Howitt (1995), que cabe denominar como "PMP estándar", requiere realizar tres pasos. El primer paso consiste en la construcción de un modelo de PL que permita obtener los valores de las variables duales para cada una de las actividades consideradas (cultivos). En el siguiente paso, los valores de las variables duales son utilizados para la calibración de la función de costes de los diferentes cultivos. El tercer y último paso consiste en utilizar los parámetros de las funciones de costes para definir una nueva función objetivo. Así, se transforma el modelo de PL desarrollado en la primera etapa en un modelo de programación no lineal que reproducirá la distribución de cultivos del año base, y que puede utilizarse igualmente para simular escenarios hipotéticos que condicionen un cambio en el comportamiento productivo de los agricultores. Por este motivo la PMP ha sido ampliamente utilizada por los economistas agrarios para analizar *ex-ante* los impactos de escenarios de futuro e instrumentos políticos que afectan a este sector. Así, en España pueden encontrarse numerosos trabajos que han utilizado esta técnica de programación, entre los cuales pueden citarse los de Atance y Barreiro (2006), Oñate *et al.* (2007), Iglesias y Blanco (2008) y Gallego y Gómez-Limón (2008)<sup>4</sup>.

Sin embargo, este enfoque primigenio de la PMP ha suscitado diversas críticas, que han evidenciado algunas deficiencias de esta técnica (véase Heckeley y Britz, 2005 y Henry de Frahan *et al.*, 2007). Este hecho ha obligado a realizar posteriores

4 Este último realiza una aplicación empírica sobre la misma zona considerada como caso de estudio.

desarrollos de la PMP encaminados a paliar las limitaciones de la técnica original. Dentro de este contexto de evolución de la PMP, Röhm y Dabbert (2003) presentan una extensión que permite un mayor grado de sustitución entre cultivos similares (denominados como “actividades variantes”), antes que entre otros cultivos menos parecidos (“actividades”). La argumentación para tener en consideración estas actividades variantes está basada fundamentalmente en la obtención de resultados más reales desde un punto de vista agronómico. Así, el concepto de actividad variante se puede aplicar a un mismo cultivo producido bajo diferentes técnicas, o también para cultivos de una misma familia (Röhm y Dabbert, 2003).

A continuación se realiza una exposición sintética de la formulación matemática de esta versión extendida de la PMP<sup>5</sup>, teniendo en consideración las diferentes actividades ( $i$ ) y sus posibles variantes ( $j$ ). Para ello se parte del siguiente modelo:

$$\text{Max MBT} = \sum_i \sum_j (p_{i,j} \cdot y_{i,j} - c_{i,j} + s_{i,j}) x_{i,j} \quad [1a]$$

Sujeto a:

$$\sum_i \sum_j (x_{i,j}) \leq \sum_i \sum_j (x_{i,j}^0) \quad [1b]$$

$$\sum_j (x_{i,j}) \leq \sum_j (x_{i,j}^0) (1 + \varepsilon_1) \quad [1c]$$

$$x_{i,j} \leq x_{i,j}^0 (1 + \varepsilon_2) \quad [1d]$$

$$\varepsilon_2 > \varepsilon_1 \quad [1e]$$

$$x_{i,j} \geq 0 \quad [1f]$$

La ecuación [1a] representa la función objetivo del modelo de PL, donde MBT es el margen bruto total (supuesto de maximización del beneficio). El MBT se calcula como la suma de los márgenes brutos aportados por cada cultivo. Así, el MBT es función de las  $x_{i,j}$ , las superficies dedicadas a la actividad  $i$  con su variante

5 Debe señalarse que la presentación de la versión extendida de la PMP expuesta en este trabajo tiene un carácter sintético, por lo que no se han reproducido de forma íntegra los pasos “intermedios” que permiten la calibración y derivación de la función objetivo no lineal con funciones cuadráticas de costes. Para una información más detallada sobre el desarrollo y aplicabilidad de esta técnica de programación se recomienda al lector interesado la consulta de la referencia original de Röhm y Dabbert (2003).

$j$ , que son consideradas como las variables de decisión del modelo. Además, para el cálculo de los márgenes brutos se requiere disponer de información sobre precios ( $p_{i,j}$ ), rendimientos ( $y_{i,j}$ ), costes variables ( $c_{i,j}$ ) y ayudas directas por superficie de la PAC acopladas a la producción ( $s_{i,j}$ ) para cada uno de los cultivos considerados como alternativa.

El conjunto de restricciones del modelo anterior se interpreta como sigue. La ecuación [1b] hace referencia a la restricción de la superficie de tierra disponible, donde  $x^0_{i,j}$  representa el plan de cultivos observado en el año base. La ecuación [1c], por su parte, representa la restricción para el total de las actividades, siendo  $\epsilon_1$  un pequeño número positivo que se asigna de forma arbitraria. Finalmente la ecuación [1d] acota la actividad variante, siendo  $\epsilon_2$  otro número positivo pequeño que se asigna de forma arbitraria, si bien debe cumplir lo dispuesto en la ecuación [1e].

La adición de las ecuaciones [1c] y [1d] fuerza una solución óptima del modelo de PL que reproduce las actividades observadas en el año base ( $x^0_{i,j}$ ). Como resultado de la introducción de estas dos restricciones, la solución del modelo genera el valor dual de los diferentes cultivos. La ecuación [1c] reporta el valor dual de las actividades ( $\lambda_i$ ) y la ecuación [1d] proporciona el valor dual de las actividades variantes ( $\lambda_{i,j}$ ).

Una vez calculados los valores duales de las actividades ( $\lambda_i$ ), la función objetivo genérica para un modelo de "PMP estándar" pasaría a ser la siguiente expresión:

$$Max MBT = \sum_i \left\{ x_i \left[ MB_i + \lambda_i \left( 1 - \frac{x_{i,j}}{x^0_{i,j}} \right) \right] \right\} \quad [2]$$

No obstante, al objeto de tener en cuenta la relación subordinada de las actividades variantes respecto al resto de actividades, que como anteriormente se explicó caracteriza esta extensión de la PMP, la función objetivo ha de configurarse como sigue (Henseler *et al.*, 2009):

$$Max MBT = \sum_i \left\{ \sum_j \left[ MB_{i,j} x_{i,j} + \lambda_i x_{i,j} \left( 1 - \frac{x_{i,j}}{x^0_{i,j}} \right) \right] + \lambda_{i,j} \sum_j x_{i,j} \left( 1 - \frac{\sum_j x_{i,j}}{\sum_j x^0_{i,j}} \right) \right\} \quad [3]$$

Tal y como apuntan Röhms y Dabbert (2003), en la ecuación no lineal [3] no se reflejan de forma explícita la disminución de las producciones marginales, ni el aumento de los costes marginales. Así, a partir de la ecuación [3] se puede derivar la ecuación [4], que representa la función objetivo que finalmente debe emplearse para la operatividad de esta versión extendida de la PMP (Röhms y Dabbert, 2003):

$$Max MBT = \sum_i \sum_j \left\{ x_{i,j} \left[ y_{i,j} p_{i,j} \left( 1 + \frac{\lambda_i + \lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j}} - \frac{\lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j} x^0_{i,j}} x_{i,j} - \frac{\lambda_i}{y_{i,j} p_{i,j} \bar{x}^0_i} \bar{x}_i \right) + s_{i,j} - c_{i,j} \right] \right\} \quad [4]$$

### 3.3. *La heterogeneidad en la toma de decisiones y el análisis cluster*

En la modelización de la actividad agraria a nivel de sistema agrario (o a cualquier otro nivel que considere conjuntamente distintas explotaciones) surgen los problemas de los sesgos de agregación (Hazell y Norton, 1986). Estos sesgos de agregación sólo pueden evitarse si las explotaciones agrupadas en un modelo reúnen rígidos criterios de homogeneidad (Day, 1963): homogeneidad tecnológica, proporcionalidad pecuniaria y proporcionalidad institucional.

La ZR considerada como caso de estudio está localizada en su totalidad dentro de la misma comarca agraria y utiliza la misma fuente de agua. De esta forma, teniendo en consideración la homogeneidad de las características edafo-climáticas, tecnológicas, institucionales y de mercado, podemos considerar la zona caso de estudio como una unidad de análisis que reúne los tres criterios de homogeneidad enunciados anteriormente. Así, cabría suponer que el comportamiento de todos los agricultores de la zona de estudio debería ser similar y que, por tanto, los escenarios de futuro considerados podrían analizarse a partir de un único modelo de simulación con unos sesgos de agregación relativamente pequeños. Sin embargo, esta hipótesis debe ser rechazada. Efectivamente, la experiencia adquirida en este campo demuestra que el comportamiento real de los agricultores pertenecientes a un mismo sistema agrario difiere de unos a otros, dada la heterogeneidad en los costes de cultivos (incumplimiento de la proporcionalidad pecuniaria) y/o la disparidad en los objetivos perseguidos por éstos (incumplimiento del supuesto de maximización del beneficio). Por este motivo, para minimizar los sesgos de agregación en la modelización, es necesario agrupar a los productores en grupos homogéneos en cuanto a sus planes de cultivo (Berbel y Rodríguez, 1998), donde se incluyan agricultores que tienen funciones de costes y/o objetivos productivos semejantes<sup>6</sup>.

- 6 La consideración de la existencia de una diversidad de objetivos entre productores agrarios puede parecer inconsistente con la técnica de simulación elegida (PMP), la cual, en principio, asume un comportamiento maximizador del beneficio de estos agentes económicos. En cualquier caso, debe comentarse que la construcción y posterior calibración de un modelo de PMP emplea como información básica las distribuciones de cultivos adoptadas por los agricultores. Así, cabe entender que dicha información de partida incluye implícitamente todos los condicionantes individuales de la toma de decisiones, entre los cuales cabe incluir, por ejemplo, la aversión al riesgo o la complejidad gerencial, como criterios de gestión complementarios tenidos igualmente en cuenta junto a la maximización del beneficio. Bajo esta consideración, cabe entender que la calibración seguida en la PMP empleando la información básica antes comentada permite construir funciones de costes no lineales de las diferentes variables de decisión (cultivos) en las cuales quedan recogidos, adecuadamente monetarizados en función de las preferencias personales del productor, todos los criterios que condicionan su toma de decisiones.

Para poder desarrollar la pretendida tipificación se ha realizado una encuesta entre los productores de la ZR analizada, al objeto de obtener información sobre su estructura productiva. Dicha información, y más concretamente las variables correspondientes a los planes de cultivos (superficies de cultivos expresados porcentualmente), ha sido empleada para la aplicación del análisis de conglomerados o cluster. Así se han obtenido los 3 grupos de regantes ya comentados en el apartado 2. Las correspondientes explotaciones “tipo”, representativas del conjunto de explotaciones existentes en la zona de estudio, serán las unidades de análisis que se considerarán para la construcción de los modelos de simulación. Así pues, se construirá un modelo para cada grupo homogéneo de agricultores, al objeto de poder simular los escenarios propuestos de forma independiente para cada uno de ellos.

### 3.4. Indicadores de impacto: atributos económicos, sociales y ambientales

La forma de desempeño de la actividad agraria de regadío tiene implicaciones económicas, sociales y ambientales (Gómez-Limón *et al.*, 2007). Bajo esta premisa, y teniendo presente el objetivo principal del trabajo, parece conveniente que la aplicación empírica a realizar cuantifique los impactos de los escenarios propuestos a través de una serie de indicadores que cubran estos tres ámbitos.

#### a) Indicadores económicos:

*Margen bruto total (MBT)*. Es la diferencia entre los ingresos (ventas y subvenciones, tanto acopladas como desacopladas incluidas en el PUE) y los costes variables totales de la explotación, medidos en €/ha. El margen bruto así obtenido puede considerarse un estimador válido de la rentabilidad privada de la actividad agraria.

*Ayudas públicas a la agricultura (AYUPUB)*. Con este indicador se pretende medir el esfuerzo presupuestario realizado por la administración pública a través de las ayudas a la actividad agraria en los diversos escenarios propuestos, cuantificado igualmente en €/ha.

#### b) Indicadores sociales:

*Empleo agrario (EMP)*. Este indicador, medido en jornales/ha, trata de cuantificar la contribución del sector agrario al desarrollo rural y al equilibrio territorial (fijación de población, distribución de la renta, etc.).

*Estacionalidad de la mano de obra (ESTAC)*. La demanda de mano de obra por parte de la actividad agraria está íntimamente ligada a los itinerarios productivos de los cultivos, que generan en ciertos períodos temporales una concentración de la mano de obra requerida. Así, este indicador cuantifica el porcentaje de mano de

obra requerida por la actividad agraria en los picos de demanda de trabajo agrícola a lo largo del año, lo que puede considerarse un *proxy* adecuado para medir la contribución de la agricultura a la fijación de población en el medio rural.

*c) Indicadores ambientales:*

*Uso del agua de riego (AGUA).* La cantidad de agua usada para riego, expresada en m<sup>3</sup>/ha, permite medir la presión cuantitativa ejercida por la actividad agraria sobre el acuífero del que extrae los recursos hídricos<sup>7</sup>.

*Cobertura del suelo (COBSUEL).* Este indicador representa el porcentaje de días al año durante los cuales la vegetación recubre el suelo. Así, este indicador puede considerarse como un estimador del riesgo de erosión del suelo.

*Balance de nitrógeno (BALN).* Este balance se obtiene por diferencia entre el nitrógeno contenido en los *inputs* empleados en la producción y el existente en los correspondientes *outputs*. Dicha diferencia, medida en kg N/ha, proporciona la cantidad de nitrógeno que cada año es liberada al medio, lo que representa un estimador del impacto ambiental de la agricultura de regadío sobre la calidad de las aguas subterráneas.

*Balance energético (BALE).* Este balance se calcula igualmente a través de un enfoque *input-output*, como la diferencia entre la energía presente en los insumos agrarios empleados en la producción más la energía necesaria para desarrollar las

- 7 Por la relevancia de este indicador, debe explicitarse que su cálculo se ha ajustado a la siguiente expresión:

$$AGUA = \frac{\sum_r \frac{NNHH_i}{Ef} \times x_r}{\sum_r x_r}$$

donde las *NNHH<sub>i</sub>* son las necesidades hídricas de los cultivos ofrecidos por la CHD (2007), *Ef* es la eficiencia técnica del sistema de riego, estimada en un 80% para el sistema de aspersión empleado en la zona, y *x<sub>r</sub>* son las superficies dedicadas a cada cultivo de regadío. Así, este indicador refleja las extracciones medias de agua del acuífero por hectárea regada.

En cualquier caso debe comentarse que las variaciones en las extracciones totales de agua se deben tanto a cambios en la intensidad en uso del agua derivado de las necesidades hídricas de los cultivos regados (implantación de cultivos más/menos demandantes de agua), que es cuantificado a través de este indicador, como por variaciones en la superficie regada. Efectivamente, al simular los escenarios de futuro, una de las estrategias que pueden seguir los agricultores es dedicar superficies regables a cultivos de secano (se trataría de superficie regable no regada). Por este motivo, al objeto de poder evidenciar las variaciones del consumo de agua por este segundo motivo, en la batería de indicadores empleados se ha incluido uno nuevo (*SUPSEC*) que, con carácter complementario, reporte información sobre la superficie regable no regada (cultivos de secano). Así, este indicador representa el porcentaje de la superficie regable de la explotación que es cultivada en régimen de secano.

labores agrícolas y la energía incluida en la cosecha. Este indicador se expresa en kcal/ha y trata de cuantificar la contribución de la actividad de regadío como sumidero de CO<sub>2</sub> (reducción de gases de efecto invernadero) y, por tanto, como elemento mitigador del cambio climático.

*Riesgo de pesticidas (RIESPEST)*. Este indicador se cuantifica estimando la mortandad de organismos vivos por la acción de las materias activas presentes en los productos fitosanitarios aplicados, expresado en kg de materia orgánica por ha. En este sentido, este indicador aporta información sobre la toxicidad liberada al ambiente por el regadío.

El valor de cada uno de los anteriores indicadores ha sido calculado para cada escenario y explotación "tipo" aplicando los oportunos coeficientes técnicos a las soluciones (planes de cultivo) de los correspondientes modelos. Para obtener una información completa sobre la metodología seguida para el cálculo de estos indicadores puede consultarse los trabajos elaborados por la OECD (2001) y Bazzani *et al.* (2004).

### 3.5. El origen de la información

La información necesaria para la alimentación de los modelos de simulación se ha recopilado tanto de fuentes primarias como secundarias. La información secundaria se ha extraído de los Anuarios Agroalimentarios de Castilla y León (CAG, varios años). En concreto, a partir de esta fuente oficial se han recogido datos relativos a precios percibidos por los agricultores y los rendimientos de los cultivos. Por su parte, la información primaria se ha generado a partir de dos encuestas. La primera de ellas ha estado dirigida a técnicos agrarios conocedores de la ZR analizada (agentes de extensión, técnicos de organizaciones agrarias, profesores universitarios e investigadores), con el propósito de recabar información sobre itinerarios productivos y precios de materias primas. En total fueron siete los expertos consultados. La segunda de las encuestas estuvo dirigida a los regantes de la zona de estudio, al objeto de recopilar información sobre planes de cultivo, variables estructurales de las explotaciones y características socio-demográficas de sus titulares. En total se han encuestado 62 agricultores.

Cabe señalar que estos datos obtenidos a través de las fuentes primarias y secundarias se corresponden con la situación del escenario PAC-2005. Por este motivo, estos datos han sido utilizados directamente para la modelización sólo en dicho escenario. Teniendo en consideración que varios de estos datos son parámetros de cambio en los restantes escenarios (p.e., precios de productos e insumos agrarios, ayudas de la PAC, etc.), esta base de datos ha debido modificarse convenientemente para cada caso, siguiendo las variaciones planteadas en el Cuadro 3.

## 4. MODELIZACIÓN

Para construir los modelos de simulación se han tomado como variables de decisión las superficies destinadas a cada uno de los cultivos habituales en la zona de estudio ( $x_{i,j}$ ). En este sentido, atendiendo a la extensión de la PMP seguida, primeramente se ha creado el grupo de actividades variantes. En este caso se ha definido el grupo de cereales de invierno en regadío, el cual está compuesto por dos actividades variantes, trigo en regadío y cebada en regadío<sup>8</sup>. De esta forma las actividades elegidas para la modelización han quedado definidas de la siguiente forma: cereales de invierno en regadío ( $x_1$ ), con sus actividades variantes trigo regadío ( $x_{1,1}$ ), y cebada regadío ( $x_{1,2}$ ), trigo secano ( $x_2$ ), cebada secano ( $x_3$ ), maíz ( $x_4$ ), girasol regadío ( $x_5$ ), girasol secano ( $x_6$ ), remolacha ( $x_7$ ), patata ( $x_8$ ), alfalfa regadío ( $x_9$ ), alfalfa secano ( $x_{10}$ ) y retirada ( $x_{11}$ ). Al respecto conviene comentar que se han introducido los cultivos de secano de la zona como alternativas con el propósito de dar una mayor flexibilidad al modelo, permitiendo que, como ocurre en la realidad, el riego de los cultivos sea una opción más de gestión para los productores.

A continuación se detalla la estructura de los modelos construidos para cada uno de los escenarios, a partir de los cuales se podrán determinar los valores previsibles de las variables de decisión (planes de cultivo) para cada explotación "tipo".

### 4.1. Modelización del escenario "PAC-2005"

La función objetivo para el escenario *PAC-2005* se corresponde con la ecuación [4]. Esta función, no obstante, está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\text{Restricción de superficie:} \quad \sum_i \sum_j x_{i,j} \leq SUP \quad [5a]$$

$$\text{Restricción de rotación alfalfa:} \quad x_9 + x_{10} \leq 0,55 \cdot 100 \quad [5b]$$

$$\text{Restricción del cupo de remolacha:} \quad x_7 \leq \frac{\text{cupo remolacha}}{\text{Rto. remolacha}} \quad [5c]$$

$$\text{Restricción de mercado (patata):} \quad x_8 \leq \text{valor máximo histórico} \quad [5d]$$

$$\text{Restricción de mercado (alfalfa):} \quad x_9 + x_{10} \leq \text{valor máximo histórico} \quad [5e]$$

8 Para el caso de estudio presentado en este trabajo, los cultivos en secano no se han podido incluir como actividades variantes, en la medida que estas actividades no estaban presentes en el año base y, por tanto, no han podido calibrarse como exige la extensión de la PMP utilizada.

Este ha sido el modelo a partir del cual se han estimado los parámetros de calibración  $\lambda_i$  y  $\lambda_{i,j}$ , que permitirán la simulación del resto de escenarios planteados, tal y como se detallará posteriormente. El conjunto de las restricciones [5a], [5b], [5d] y [5e], que se mantendrán constantes en el resto de modelos, se representará de aquí en adelante como  $A\vec{x} \leq \vec{B}$  (restricción modelo base).

Asimismo, cabe indicar que el mismo modelo [5] será el empleado para simular el escenario PAC-2005 (*precios actuales*), si bien para este escenario se han modificado los precios de venta de los productos agrarios, aplicándoles los valores existentes en el año 2007.

#### 4.2. Modelización del escenario "PAC-reformada"

A partir de la calibración de la versión extendida de la PMP realizada para el modelo anterior, se ha podido construir el modelo planteado para el escenario PAC-reformada. La ecuación [6a] describe la función objetivo, donde como consecuencia de la reforma la PAC se incluyen el pago único por explotación ( $PUE_{ind}$ ), calculado sobre la base de las ayudas históricas recibidas por cada agricultor, así como la compensación recibida por el abandono obligatorio del cultivo de la remolacha ( $ABREM$ )<sup>9</sup>. Así el modelo queda como sigue:

$$Max \text{ MBT} = \sum_i \sum_j \left\{ x_{i,j} \left[ y_{i,j} p_{i,j} \left( 1 + \frac{\lambda_i + \lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j}} - \frac{\lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j} x_i^0} x_{i,j} - \frac{\lambda_i}{y_{i,j} p_{i,j} \bar{x}_i} \bar{x}_i \right) + \right] \right\} + PUE_{ind} + ABREM \quad [6a]$$

Sujeto a:  
 Restricciones modelo base:  $A\vec{x} \leq \vec{B}$  [6b]

Restricción de abandono remolacha:  $x_7 \leq 50\% \frac{\text{cupo remolacha}}{\text{Rto. remolacha}}$  [6c]

Como puede apreciarse, este modelo se diferencia del anterior por la inclusión de la obligatoriedad del abandono del 50% de la producción de remolacha por parte de los productores, que se implementa a través de la restricción [6c]. Asimismo, conviene apuntar que para la correcta modelización de este escenario se han empleado los coeficientes técnicos relativos a precios ( $p_{i,j}$ ), costes ( $c_{i,j}$ ) y ayudas directas ( $s_{i,j}$ ) correspondientes al año 2007.

9 Dado que este pago adicional de 40 euros por tonelada de menos producida se cobra de una sola vez, se ha procedido a su anualización, considerando un tipo de interés del 5%; es decir 0,80 €/t.año. Así, resulta que  $ABREM=0,80 \times 50\% \times \text{cupo remolacha}$ .

#### 4.3. Modelización del escenario "Tendencial"

Para la implementación del escenario *Tendencial*, el modelo de simulación planteado es el siguiente:

$$\text{Max } MBT = \sum_i \sum_j \left\{ x_{i,j} \left[ y_{i,j} p_{i,j} \left( 1 + \frac{\lambda_i + \lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j}} - \frac{\lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j} x_{i,j}^0} x_{i,j} - \frac{\lambda_i}{y_{i,j} p_{i,j} \bar{x}_i^0} \bar{x}_i \right) + s_{i,j} - c_{i,j} \right] \right\} + PUE_{ind} \quad [7a]$$

$$\text{Restricciones modelo base: } A\bar{X} \leq \bar{B} \quad [7b]$$

$$\text{Restricción de abandono remolacha: } x_7 \leq 50\% \frac{\text{cupo remolacha}}{\text{Rto. remolacha}} \quad [7c]$$

Como puede observarse la única diferencia entre los modelos [6] y [7] es la eliminación en este último de la compensación por el abandono obligatorio de la remolacha (*ABREM*). Tal circunstancia resulta lógica en la medida que las ayudas puntuales recibidas en la actualidad no condicionan la toma de decisiones de una simulación a largo plazo (horizonte 2020).

La información utilizada para la alimentación de este modelo ha sido igualmente modificada respecto a la situación del año base 2007, siguiendo los cambios reflejados en el Cuadro 3.

#### 4.4. Modelización del escenario "Triunfo del mercado"

La estructura del modelo construido para la simulación de este escenario se corresponde con el anterior (modelo [7]). No obstante, lo que sí se ha modificado han sido los valores de los parámetros de cambio ( $p_{i,j}$ ,  $c_{i,j}$  y  $s_{i,j}$ ), de acuerdo a los dispuesto en el Cuadro 3.

#### 4.5. Modelización del escenario "Sostenibilidad regional"

Para simular el comportamiento de los agricultores "tipo" ante el escenario *Sostenibilidad regional* se ha definido el siguiente modelo:

$$\text{Max } MBT = \sum_i \sum_j \left\{ x_{i,j} \left[ y_{i,j} p_{i,j} \left( 1 + \frac{\lambda_i + \lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j}} - \frac{\lambda_{i,j}}{y_{i,j} p_{i,j} x_{i,j}^0} x_{i,j} - \frac{\lambda_i}{y_{i,j} p_{i,j} \bar{x}_i^0} \bar{x}_i \right) + s_{i,j} - c_{i,j} \right] \right\} + PUE_{reg} \quad [8a]$$

Sujeto a:

$$\text{Restricciones modelo base: } A\bar{X} \leq \bar{B} \quad [8b]$$

$$\text{Restricción de abandono remolacha: } x_7 \leq 50\% \frac{\text{cupo remolacha}}{\text{Rto. remolacha}} \quad [8c]$$

$$\text{Restricción de aplicación máxima de nitrógeno: } \sum_i \sum_j (x_{i,j}) \cdot AN_{i,j} \leq LNE_k \times \text{SUP} \quad [8d]$$

$$\text{Restricción de barbecho ambiental obligatorio: } x_{11} \leq 3\% \quad [8e]$$

La primera diferencia a señalar respecto a los escenarios anteriores es la modificación de la función objetivo, donde el  $PUE_{ind}$  ha sido sustituido por un pago único de explotación regionalizado ( $PUE_{reg}$ ), calculado sobre la base de las ayudas históricas recibidas por el conjunto del regadío de la comarca. Asimismo, se han introducido dos nuevas restricciones que reflejan las mayores exigencias ambientales del escenario. La primera representa la implementación de cuotas sobre la fertilización nitrogenada (restricción [8d]), donde  $AN_{i,j}$  hace referencia a las aplicaciones de nitrógeno para cada cultivo, y  $LNE_k$  es el límite en la aplicación de nitrógeno por explotación ( $k = 100 \text{ kg N/ha}$  para este escenario)<sup>10</sup>. Por su parte, la segunda restricción supone la obligatoriedad de dejar un mínimo del 3% de la superficie total de la explotación como barbecho ambiental (restricción [8e]).

Al igual que el resto de escenarios, los parámetros de cambio indicados en el Cuadro 3 han sido oportunamente modificados.

#### 4.6. Modelización del escenario “Sostenibilidad europea”

El modelo construido para simular la ocurrencia del escenario *Sostenibilidad europea* es muy similar al anterior. De hecho, la función objetivo planteada para dicho escenario se corresponde con la ecuación [6a]. El conjunto de restricciones planteadas en este caso son asimismo básicamente las mismas que en el modelo [8]:

$$\text{Restricciones modelo base: } A\bar{X} \leq \bar{B} \quad [9a]$$

$$\text{Restricción de abandono remolacha: } x_7 \leq 50\% \frac{\text{cupo remolacha}}{\text{Rto. remolacha}} \quad [9b]$$

10 Estos niveles de cuotas sobre la fertilización nitrogenada han sido seleccionados teniendo en consideración los resultados de trabajos anteriores desarrollados en la cuenca del Duero, entre los que cabe destacar el de Gallego-Ayala y Gómez-Limón (2009).

*Restricción de aplicación máxima de nitrógeno:*  $\sum_i \sum_j (x_{i,j}) \cdot AN_{i,j} \leq LNE_k \times SUP$  [9c]

*Restricción de barbecho ambiental obligatorio:*  $x_{11} \leq 10\%$  [9d]

Como se observa, las únicas diferencias se corresponden con el mayor nivel de exigencia de las restricciones de carácter ambiental. Así, para este escenario la cuota de fertilización nitrogenada se calcula considerando un valor límite ( $LNE_k$ ) de 80 kg N/ha, y la obligatoriedad del barbecho ambiental asciende hasta un 10%.

Los parámetros de cambio ya señalados anteriormente han sido modificados como en el resto de modelos.

#### 4.7. Agregación de resultados a nivel de zona regable

Tal y como se ha comentado anteriormente, la modelización planteada se ha desarrollado de forma independiente para cada uno de los grupos homogéneos de agricultores derivados del análisis cluster. Así, si bien los resultados obtenidos en primera instancia se refieren a las explotaciones “tipo” representativas de tales conglomerados, para todos los escenarios se ha procedido a la agregación de tales resultados al objeto de obtener igualmente resultados para el conjunto de la zona regable. Para ello se ha realizado una suma ponderada de los resultados de cada explotación “tipo”, atendiendo la superficie que representa por cada una de ellas.

---

## 5. RESULTADOS

---

Al objeto de sintetizar la exposición de resultados obtenidos a través de la resolución de los modelos de simulación construidos para cada uno de los escenarios de futuro analizados (véase apartado anterior), este epígrafe se va a centrar en el análisis de los resultados para cada uno de los escenarios planteados a nivel de la ZR (véase Cuadro 4), al ser éstos los más relevantes de cara a apoyar la toma de decisiones políticas. En cualquier caso, el lector interesado puede consultar igualmente los resultados obtenidos para cada explotación “tipo” en el mismo cuadro.

CUADRO 4  
**VARIACIÓN PORCENTUAL DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN CADA ESCENARIO**

Escenarios	MBT (€/ha)	AYUBPUB (€/ha)	EMP (€/ha)	ESTAC (%)	AGUA (m³/ha)	SUPSEC (%)	BALN (kg N/ha)	COB- SUEL (%)	BALE (kcal/ha)	RIES- PEST (kg/ha)
PAC-2005	424,55	226,38	1,93	46,5	6,053	0,0	36,7	59,5	1,42 10 <sup>7</sup>	4,489
PAC-2005 (precios actuales)	104,9%	2,3%	-9,6%	1,5%	2,9%	21,1%	-8,4%	0,5%	-6,2%	-8,2%
PAC-reformada	58,3%	43,1%	-19,9%	3,8%	-1,4%	31,1%	-31,4%	-1,8%	-24,8%	-45,7%
<b>G1</b> Tendencial	12,7%	-3,3%	-21,9%	8,0%	-8,6%	29,4%	-27,9%	0,2%	-26,3%	-73,5%
Triunfo del mercado	-24,9%	-19,7%	-27,4%	10,5%	-11,3%	37,8%	-34,7%	0,2%	-28,6%	-89,4%
Sostenibilidad regional	43,7%	14,6%	-20,8%	5,8%	-4,8%	28,3%	-30,5%	-2,6%	-30,7%	-62,9%
Sostenibilidad europea	23,6%	27,6%	-28,4%	7,2%	-8,2%	33,6%	-50,6%	-10,5%	-41,3%	-78,6%
PAC-2005	483,13	188,99	2,02	47,9	6,395	0,0	40,7	59,6	1,67 10 <sup>7</sup>	7,111
PAC-2005 (precios actuales)	102,1%	3,8%	-9,3%	0,4%	3,5%	21,7%	-10,7%	0,3%	-8,1%	-9,8%
PAC-reformada	63,9%	92,9%	-20,6%	5,3%	-3,8%	38,4%	-41,0%	-3,1%	-34,7%	-51,8%
<b>G2</b> Tendencial	21,6%	35,9%	-25,2%	13,1%	-12,9%	44,2%	-38,2%	0,2%	-41,6%	-82,1%
Triunfo del mercado	-27,7%	-18,1%	-29,0%	16,4%	-16,5%	50,9%	-44,1%	0,2%	-44,0%	-94,0%
Sostenibilidad regional	43,9%	37,3%	-24,0%	10,1%	-7,5%	42,5%	-36,7%	-1,8%	-42,5%	-71,7%
Sostenibilidad europea	23,7%	52,6%	-31,2%	12,1%	-14,4%	50,1%	-54,6%	-8,4%	-55,8%	-90,2%

continúa...

CUADRO 4  
**VARIACIÓN PORCENTUAL DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN CADA ESCENARIO  
 (CONCLUSIÓN)**

Escenarios	MBT (€/ha)	AYUBPUB (€/ha)	EMP (Jor./ha)	ESTAC (%)	AGUA (m <sup>3</sup> /ha)	SUPSEC (%)	BALN (kg N/ha)	COB- SUEL (%)	BALE (kcal/ha)	RIES- PEST (kg/ha)
PAC-2005	1.159,72	28,38	2,73	65,1	10,285	0,0	85,8	61,9	4,29 10 <sup>7</sup>	28,864
PAC-2005 (precios actuales)	20,6%	220,5%	-7,8%	-10,7%	-14,6%	0,0%	-17,3%	-0,8%	-22,8%	-28,2%
PAC-reformada	21,8%	2.829,7%	-17,4%	-20,3%	-30,5%	0,0%	-42,8%	-2,4%	-49,2%	-61,5%
<b>G3</b> Tendencial	-14,9%	2.208,3%	-27,8%	-3,2%	-50,8%	1,2%	-64,0%	-0,7%	-75,4%	-98,4%
Triunfo del mercado	-54,3%	1.290,6%	-27,9%	-2,8%	-51,0%	1,2%	-64,4%	-0,7%	-73,2%	-98,5%
Sostenibilidad regional	-45,2%	814,5%	-24,7%	-17,6%	-34,3%	3,0%	-74,2%	-12,1%	-67,0%	-81,0%
Sostenibilidad europea	-55,4%	915,8%	-33,1%	-10,6%	-45,8%	10,0%	-81,3%	-13,4%	-81,0%	-98,3%
PAC-2005	457,47	211,12	1,97	47,3	6,245	0,0	39,0	59,6	1,56 10 <sup>7</sup>	5,781
PAC-2005 (precios actuales)	102,3%	7,3%	-9,5%	0,9%	2,6%	20,9%	-9,2%	0,4%	-7,1%	-9,1%
PAC-reformada	59,2%	116,9%	-20,1%	3,7%	-2,7%	32,6%	-34,5%	-2,2%	-28,3%	-47,8%
<b>ZR</b> Tendencial	14,7%	55,2%	-23,0%	9,3%	-10,8%	33,2%	-31,7%	0,2%	-31,9%	-76,6%
Triunfo del mercado	-26,4%	8,6%	-27,9%	12,0%	-13,7%	40,9%	-38,1%	0,2%	-34,1%	-91,0%
Sostenibilidad regional	41,9%	38,3%	-21,9%	6,6%	-6,2%	32,0%	-33,3%	-2,5%	-35,0%	-65,9%
Sostenibilidad europea	21,9%	53,8%	-29,4%	8,3%	-10,8%	38,0%	-52,4%	-9,9%	-46,4%	-82,4%

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1. Los efectos de la reforma de la PAC y la evolución de los precios

En relación a los resultados del escenario político *PAC-reformada*, lo primero que cabe señalar es que cuando se termine de aplicar la última reforma de la PAC (desacoplamiento y reforma de la OCM del azúcar), la rentabilidad privada del agricultor mejorará respecto a la situación existente en el año 2005 (escenario *PAC-2005*), en la medida que se prevé un incremento del indicador *MBT* de un 59,2%. Así, si bien los nuevos planes de cultivos son más extensivos y de menor valor añadido (sustitución parcial de la superficie de remolacha y cereales en regadío por cereales de invierno en secano –aumento del indicador *SUPSEC* hasta el 32,6%), el aumento de los precios de los productos agrarios y la introducción del PUE individualizado harán que el margen empresarial se incremente en relación a la situación anterior. No obstante, si se comparan estos resultados con el escenario *PAC-2005 (precios actuales)*, se evidencia como el mantenimiento del sistema de ayudas basado en pagos por superficie combinado con los precios agrarios de 2007, hubiese tenido un impacto económico incluso más positivo (incremento del indicador *MBT* del 102,3%). Así pues, se pone de manifiesto como el aumento de la rentabilidad privada del agricultor del escenario *PAC-reformada* se debe básicamente al aumento de precios agrarios acacidos en 2007, y no al cambio experimentado por la PAC. De hecho, cabe afirmar que el desacoplamiento de las ayudas a través del régimen de PUE no ha compensado las pérdidas derivadas del abandono obligatorio de la remolacha. Y todo ello a pesar que las ayudas públicas al sector (indicador *AYUPUB*) se incrementarán en el escenario *PAC-reformada* en un 116,9% (frente al incremento del 7,3% en el escenario *PAC-2005 precios actuales*). Este incremento de las ayudas se debe a la introducción de la remolacha en el sistema de PUE derivada de la última reforma de la OCM del azúcar (sustitución del apoyo vía precios –con cargo a los consumidores- por pagos desacoplados –con cargo al presupuesto público).

Por otra parte, la implementación de este nuevo escenario de política agraria producirá un efecto negativo sobre el indicador *EMP*, dado que la demanda de mano de obra disminuirá un 20,1%. Asimismo la estacionalidad de la mano de obra agraria (indicador *ESTAC*) aumentará en un 3,7%. Ambos datos confirman que la última reforma de la PAC afectará negativamente al rol social desempeñado por la agricultura.

Desde un punto de vista ambiental, el escenario *PAC-reformada* influye de forma positiva sobre el consumo del agua de riego (tanto por el descenso del indicador *AGUA* en un 2,7%, como por la dedicación del 32,6% de la superficie regable a cultivos de secano –indicador *SUPSEC* ya comentado), la liberalización de nitrógeno al ambiente (disminución del indicador *BALN* en un 34,5%), y la toxicidad de los pesticidas empleados en el sistema agrario (variación del indicador *RIESPEST* del -47,8%). En contraposición, se producirá un efecto negativo sobre el balance de

energía y el riesgo de erosión del suelo (caídas de los indicadores *BALE* y *COBSUEL* en un 28,3% y 2,2%, respectivamente).

## 5.2. Escenario “Tendencial”

En relación a los resultados de los modelos de simulación para el escenario *Tendencial*, cabe apuntar que éste generaría un efecto positivo sobre la rentabilidad privada del agricultor respecto a la situación del escenario *PAC-2005*. Así, el indicador *MBT* se incrementaría en torno al 15%, y ello a pesar de extensificarse la producción (sustitución parcial de la remolacha y el maíz por cultivos de secano –incremento del indicador *SUPSEC* hasta el 33,2%). Esta mejora en la viabilidad económica de las explotaciones se debe a la introducción del PUE y la inclusión de la remolacha en el mismo, así como el mantenimiento de precios superiores al escenario base (aunque inferiores a los existentes en 2007). No obstante, la mejora de la rentabilidad es menor que en el escenario *PAC-reformada*, debido a las restricciones presupuestarias planteadas (aumento del indicador *AYUPUB* del 55,2%, frente a más del 100% en el escenario anterior) y la bajada de precios respecto a los existentes en el 2007.

Por otro lado, este contexto de futuro tendría un efecto negativo sobre la viabilidad de las comunidades rurales de la ZR. Así, la demanda de mano de obra requerida agrícola descendería un 23,0% como consecuencia de la extensificación de la producción (introducción de cultivos de secano menos demandantes en mano de obra) y, además, la distribución del trabajo a lo largo del año estaría más concentrada (aumento del indicador *ESTAC* en un 9,3%).

Desde un punto de vista ambiental, el impacto de este escenario es, como el anterior, igualmente positivo para la mayoría de los indicadores analizados. Así se evidencia una mejora en los valores de los indicadores *AGUA*, *BALN* y *RIESPEST* (disminuciones del 10,8%, 31,7% y 76,6%, respectivamente), amén del incremento ya comentado de las superficies regables dedicada a cultivos de secano (indicador *SUPSEC* del 33,2%), de lo que se deduce una mejora del medio ambiente local (disminución del impacto cuantitativo y cualitativo sobre el acuífero del que se nutre la ZR). No obstante, el balance de energía (indicador *BALEN*) descendería en un 31,7%, lo que se traduciría en una reducción en la captura de CO<sub>2</sub> por parte del sistema analizado, con los efectos negativos que ello traería en relación al cambio climático (medio ambiente global). Finalmente, debe señalarse que el escenario *Tendencial* apenas tendría un efecto sobre la cobertura del suelo (indicador *COBSUEL*).

En cualquier caso conviene comentar que los resultados agregados para el conjunto de la zona regable esconden importantes diferencias entre los grupos de agricultores considerados. Así, los comentarios anteriores son perfectamente ajustados para las explotaciones “tipo” G1 y G2, pero no así para la G3 (grupo

homogéneo denominado “pequeños remolacheros”). Para ésta última se aprecia que este escenario generaría una importante disminución de la rentabilidad privada de los productores (un -14,9% del indicador *MBT* respecto al escenario base). Esta diferencia se debe al impacto especialmente acusado que sobre este tipo de explotaciones tendría: a) el descenso de los precios de los productos agrarios (mayor en la remolacha por los acuerdos comerciales de la UE con los países menos desarrollados), b) el aumento del precio de los insumos (al ser el cultivo de la remolacha más intensivo en el uso de los mismos), y c) el abandono obligatorio del 50% de la producción de remolacha impuesto por el régimen de ayuda al sector.

### 5.3. Escenario “Triunfo del mercado”

De los resultados de las simulaciones realizadas para el escenario *Triunfo de mercado* se evidencia un descenso importante del indicador *MBT* (-26,4%) respecto al obtenido para el escenario base *PAC-2005*, circunstancia que pondría en peligro la supervivencia económica de un buen número de explotaciones, especialmente las de pequeño tamaño orientadas actualmente al cultivo de la remolacha. Esta pérdida de la rentabilidad se debería a la conjunción de diversos factores: a) el descenso de los precios de los productos agrarios fruto de la liberalización de los mercados, b) el aumento del precio de la energía y los insumos derivados (combustibles y fertilizantes), y c) las restricciones de gasto del presupuesto destinado a las ayudas agrícolas. Respecto a este último punto, cabe señalar que el indicador *AYUPUB* aumentaría levemente (+8,6%) respecto a la situación vigente en 2005. Sin embargo, debe destacarse que la ayuda pública recibida en concepto de subvenciones por las explotaciones “tipo” G1 y G2 se reduciría en un 19,7% y 18,1%, respectivamente. Sólo el grupo homogéneo de agricultores denominado *pequeños remolacheros* percibirían una ayuda por parte de la administración superior a la del escenario *PAC-2005*, pero en cualquier caso sería insuficiente para compensar las pérdidas derivadas del abandono obligatorio del cultivo de la remolacha y al resto de factores antes aludidos.

Por otro lado, en cuanto a la evolución de los indicadores sociales, debe comentarse que en este escenario se generarían importantes descensos en la demanda de mano de obra por parte de la actividad de regadío (variación del indicador *EMP* del -27,9% respecto al escenario base) y un aumento de la estacionalidad de la misma (incremento del indicador *ESTAC* del 12,0%). La creciente importancia del cultivo de cereales de invierno respecto a la situación del año 2005, que llegaría a cubrir el 85% de la superficie de la ZR en este escenario, sería la causa de este impacto negativo para el desarrollo rural (fomento del éxodo rural).

Para concluir este escenario, cabe apuntar que la situación generada por el *Triunfo de mercado* provocaría disminuciones importantes sobre la demanda del

agua de riego (variación del indicador *AGUA* de un -13,7% unido al uso del 40,9% de la superficie regable para cultivos de secano -indicador *SUPSEC*), la liberalización de fertilizantes nitrogenados al entorno (descenso del indicador *BALN* en un 38,1%) y la toxicidad liberada al medio ambiente por el uso de fitosanitarios (caída del indicador *RIESPEST* en un 91,0%), todo ello motivado por la extensificación de los planes de cultivo (aumento de los cultivos de secano ya mencionado). Por el contrario, como en los casos anteriores, dicha extensificación de la producción que caracteriza este escenario se traduciría asimismo en un empeoramiento del balance energético (descenso de un 34,1% del indicador *BALE*), lo que resultaría en una menor captura de gases de efecto invernadero por parte de este sistema agrario. Finalmente, en cuanto a la cobertura del suelo, cabe comentar que este escenario apenas produciría variaciones en el indicador *COBSUEL*.

#### 5.4. Escenario “Sostenibilidad regional”

En el Cuadro 4 se recogen igualmente los resultados obtenidos de las simulaciones del escenario *Sostenibilidad regional*. Observando éstos se puede apreciar como este escenario generaría un efecto positivo sobre rentabilidad privada del agricultor. Efectivamente, el indicador *MBT* experimentaría un incremento del 41,9%. Esta mejora del margen bruto se debería tanto al aumento del precio de venta de los productos como al mantenimiento de las ayudas públicas, que en este escenario se asumen se instrumentará en forma de pago único regionalizado (en función de la superficie cultivada, con independencia de lo que se cultive). No obstante, el optimismo de los resultados anteriores debe matizarse, en la medida que el impacto positivo sobre el *MBT* no se reparte por igual entre las diferentes explotaciones “tipo” de la ZR. Efectivamente, si bien las explotaciones “tipo” G1 y G2 se verían muy beneficiadas por este escenario, todo lo contrario le ocurriría al grupo homogéneo de agricultores denominado *pequeños remolacheros* (descenso del *MBT* en un 45,2%). Este impacto dispar sobre las rentas agrarias estaría motivado por la aplicación del un PUE regionalizado, que penalizaría significativamente a los cultivadores de remolacha (cultivo que ha cobrado mayores subvenciones vía previos –escenario *PAC 2005*– y ha generado mayores derechos de PUE por hectárea –escenario *PAC-reformada*), frente a los cultivadores de cereales, que se verían favorecidos por este nuevo sistema de ayudas desacopladas.

En cuanto al impacto social, este escenario generaría un efecto negativo, ya que induciría, una disminución de la demanda de mano de obra del 21,9%. Al igual que sucedía con los otros escenarios analizados, la disminución del indicador *EMP* se debe a los cambios generados en los planes productivos, caracterizados por el incremento de cultivos de secano (elevación del indicador *SUPSEC* hasta el 32,0%) y la introducción de un barbecho ambiental obligatorio, actividades menos deman-

dantes en mano de obra. Asimismo, se observa un leve incremento de estacionalidad (indicador *ESTAC*) respecto al escenario base *PAC-2005* equivalente al 6,6%.

Por otro lado, en cuanto a la evolución de los indicadores ambientales, debe comentarse el impacto globalmente positivo de este escenario, dado que generaría disminuciones de los indicadores *AGUA*, *BALN*, y *RIESPEST* del 6,2%, 33,3%, y 65,9%, respectivamente. Así, teniendo en cuenta igualmente la dedicación del 32,0% de la superficie regable a cultivos de secano, cabe deducir un importante ahorro en uso de recursos hídricos. Igualmente se deduce una disminución del riesgo de contaminación difusa por nitratos de las masas de agua y del poder biocida consecuencia de la actividad agraria. En este sentido, cabe señalar que la mejora notable de *BALN* y *RIESPEST* se debe tanto a la extensificación del plan de cultivos (introducción de cultivos de secano y barbecho ambiental), como a la aplicación de medidas más restrictivas en relación al uso de fertilizantes (cuotas de abonado nitrogenado) y fitosanitarios (prohibición de determinadas materias activas y su sustitución por otras más inocuas).

No obstante, desde esta misma perspectiva medioambiental cabe destacar igualmente el efecto negativo del escenario sobre el balance energético y la cobertura del suelo. Efectivamente, los indicadores *BALEN* y *COBSUEL* disminuirían en un 35,0% y un 3,3%, respectivamente, lo que suponen un descenso de la eficiencia energética del sistema agrario y el incremento del riesgo de erosión del suelo.

### 5.5. Escenario “Sostenibilidad europea”

Los resultados de los indicadores económicos obtenidos para el escenario de *Sostenibilidad europea* revelan un incremento de la rentabilidad privada del agricultor respecto a la situación del escenario base (incremento del *MBT* en un 21,9%). Como en el caso anterior, esta mejora se debe al mantenimiento tanto de precios agrarios elevados como de las ayudas a los agricultores (PUE regionalizado). En cualquier caso, como en el escenario de *Sostenibilidad regional*, cabe indicar que la introducción del PUE regionalizado generaría un perjuicio notable para las explotaciones “tipo” G3 (*pequeños remolacheros*), para las cuales se contabilizaría una disminución de su *MBT* superior al 55%, en la medida que el cobro de un pago uniforme por hectárea cultivada les perjudica.

En el plano social, este escenario produciría un efecto negativo, que se plasma tanto en el descenso de la demanda de mano de obra (disminución del indicador *EMP* en torno al 30%) como en el incremento de la estacionalidad de la misma (aumento del indicador *ESTAC* en un 8,3%). Ambas circunstancias estarían causadas por la introducción en los planes de cultivo de producciones de secano (utilización del 38,0% de la superficie a cereales de invierno y girasol de secano) y la obligatoriedad de destinar un 10% de la explotación a barbecho ambiental,

actividades menos intensivas en mano de obra en comparación con los cultivos regadío (remolacha, maíz, etc.).

Para concluir, cabe señalar que este mismo escenario generaría un impacto positivo en cuanto a los indicadores uso del agua de riego (-10,8%), superficie regable dedicada a cultivos de secano (38,0%), balance de nitrógeno (-52,4%) y riesgo de pesticidas (-82,4%). Como se indicaba en el caso anterior, además de por la extensificación del plan de cultivos, esta favorable evolución está marcada por la aplicación de cuotas de abonado nitrogenado y por la prohibición de determinadas materias activas de los productos fitosanitarios, dado el mayor grado de exigencia medioambiental de este escenario. Por otro lado, este mismo contexto futuro disminuiría la eficiencia energética del sistema agrario (captura de CO<sub>2</sub>), con una disminución del indicador *BALE* del 46,4%. Asimismo, se aumentaría el riesgo de erosión del suelo al disminuir los días del año durante los cuales la vegetación cubre el suelo (el indicador *COBSUEL* bajaría un 9,9%).

---

## 6. CONCLUSIONES

---

A la vista de los resultados expuestos anteriormente se evidencia la utilidad potencial de este tipo de estudios prospectivos. Efectivamente, este trabajo pone de manifiesto como cada uno de los escenarios analizados generaría impactos diferenciales en el desempeño del sistema agrícola objeto de estudio en términos económicos, sociales y medioambientales. Así, el análisis de las variaciones del conjunto de indicadores de sostenibilidad calculados permitiría establecer una jerarquía de los escenarios en función de su "deseabilidad social". Lo que ocurre es que tal priorización excede del ámbito positivo (técnico o científico) de este trabajo, para entrar dentro de lo normativo (político), motivo por el cual nada puede apuntarse en este sentido. En cualquier caso, lo que sí puede afirmarse es que si esta ordenación se realizase con el propósito de orientar la toma de decisiones política, ésta debería realizarse en función de la opinión del conjunto de la ciudadanía y/o de sus representantes políticos, tratando así de buscar el escenario alternativo que maximizase el bienestar del conjunto de la sociedad. A partir de esta ordenación según su hipotética deseabilidad social, el propósito último de la acción de los representantes públicos sería favorecer la ocurrencia del 'mejor' escenario a través de la instrumentación de las políticas más adecuadas. En este sentido, el presente trabajo debería completarse con futuras investigaciones de carácter complementario sobre la determinación de los objetivos sociales para las políticas públicas, así como la determinación de los instrumentos óptimos para su consecución.

Entrando más en detalle en los resultados obtenidos, cabría concluir afirmando igualmente la existencia de tendencias comunes en todos los escenarios analizados,

sobre las cuales el papel de la acción política resultaría menos determinante. En este sentido destaca en primer lugar que todos los escenarios barajados apuntan a una extensificación de la producción (sustitución de los cultivos más intensivos –remolacha o maíz– por cereales de invierno tanto en regadío como en secano). Esta evolución de la producción generaría en cualquier caso un deterioro del papel social de la agricultura en el medio rural (disminución de la demanda de mano de obra y concentración de la misma en períodos concretos a lo largo del año), si bien mejoraría la sostenibilidad ambiental de la actividad de regadío (disminución de las externalidades negativas: consumo del agua de riego, contaminación difusa por nitratos y efectos biocidas de los productos fitosanitarios).

Asimismo debe indicarse que en la mayoría de escenarios (todos menos el del *Triunfo del mercado*) apuntarían una mejora en la competitividad de las explotaciones de regadío analizadas. No obstante, esta circunstancia estaría básicamente justificada por el incremento de precios de los productos agrarios que, en mayor o menor medida, se ha asumido para todos los escenarios de futuro respecto al escenario “base” (*PAC-2005*). Esta situación de precios elevados es la que permitiría que la limitación del apoyo público al sector agrario y el aumento de las exigencias medioambientales no afectasen en exceso la competitividad económica (rentabilidad privada) de las explotaciones analizadas. En cualquier caso, si esta premisa de precios altos mantenidos no se cumpliera, la viabilidad económica del sistema objeto de estudio estaría comprometida, dificultando cualquier cambio de la política agraria en favor de la austeridad presupuestaria y/o la sostenibilidad ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- ATANCE, I. y BARREIRO, J. (2006). "CAP MTR versus environmentally targeted agricultural policy in marginal arable areas: impact analysis combining simulation and survey data". *Agricultural Economics* 34(3): 303-313.
- 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 GUTIÉRREZ, C. (eds.) *Sustainability of European Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. European Commission, Brussels: 49-68.
- 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: 108-118.
- CAG (Consejería de Agricultura y Ganadería), varios años. *Anuario Agroalimentarios de Castilla y León*. Consejería de Agricultura y Ganadería-Junta de Castilla y León, Valladolid.
- CHD (Confederación Hidrográfica del Duero) (2007). *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. Estudio general de la demarcación*. Documento consultado en: <http://www.chduero.es/Inicio/Planificacion/Planhidrológico2009/Documentosiniciales/>.
- DAY, R.H. (1963). "On aggregating linear programming models of production". *Journal of Farm Economics* 45(4): 797-813.
- EC (European Commission) (2008). *High prices on agricultural commodity markets: situation and prospects. A review of causes of high prices and outlook for world agricultural markets*. Directorate General for Agriculture and Rural Development-European Commission, Brussels.
- GALLEGO-AYALA, J. y GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2008). "Efectos de la aplicación de la nueva PAC y la Directiva Marco de Aguas en el regadío. El caso de la comarca de Arévalo-Madrigal (Ávila)". *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 104(3): 335-359.
- GALLEGO-AYALA, J. y GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2009). "Analysis of policy instruments for control of nitrate pollution in irrigated agriculture in Castilla y León, Spain". *Spanish Journal of Agricultural Research* 7(1): 24-40.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y BARREIRO, J. (eds.) (2007). *La multifuncionalidad de la agricultura en España*. Eumedía-MAPA, Madrid.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A., BERBEL, J. y GUTIÉRREZ, C. (2007). "Multifuncionalidad del regadío: una aproximación empírica". En: GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y BARREIRO, J. (eds.) *La multifuncionalidad de la agricultura en España*. Eumedía-MAPA, Madrid: 207-224.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (ed.) (2008). *El futuro de la agricultura de Castilla y León*. Itagra.ct-Caja España, Palencia.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A., GÓMEZ-RAMOS, A. y SÁNCHEZ, G. (2009). "Foresight analysis of agricultural sector at regional level". *Futures* 41(5): 313-324.
- HAZELL, P.B.R. y NORTON, R.D. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. MacMillan Publishing Company, New York.
- HECKELEI, T. y BRITZ, W. (2005). "Models based on positive mathematical programming: state of the art and further extensions". En: ARFINI, F. (ed.) *Modelling agricultural policies: State of the art and new challenges*. Monte Università Parma, Parma: 48-74.
- HENRY de FRAHAN, B., BUYSE, J., POLOMÉ, P., FERNAGUT, B., HARMIGNIE, O., LAUWERS, L., van HUYLENBROECK, G. y van MEENSEL, J. (2007). "Positive mathematical programming for agricultural and environmental policy analysis: Review and practice". En: WEINTRAUB, A., ROMERO, C., BJORN DAL, T. y EPSTEIN, R. (eds.) *Handbook on Operations Research in Natural Resources*. Springer, New York: 129-154.
- HENSELER, M., WIRSIG, A., HERRMANN, S., KRIMLY, T. y DABBERT, S. (2009). "Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity-based non-linear programming approach". *Agricultural Systems* 100(1-3): 31-42.
- HOWITT, R.E. (1995). "Positive Mathematical Programming". *American Journal of Agricultural Economics* 77(2): 329-342.
- IGLESIAS, E. y BLANCO, M. (2008). "New directions in water resources management. The role of water pricing policies". *Water Resources Research* 44, W06417, doi:10.1029/2006WR005708.

- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) (2004). "Castilla y León". En: MAPA (ed.) *Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural*, MAPA, Madrid: 469-522.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) (2001). *Environmental indicators for agriculture. Volume 3. Methods and results*. OECD, Paris.
- OECD-FAO (Organisation for Economic Co-operation and development- y United Nations Organization for Food and Agriculture) (2008). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017*. OECD-FAO, Paris.
- OÑATE, J.J., ATANCE, I., BARDAJÍ, I. y LLUVIA, D. (2007). "Modelling the effects of alternative CAP policies for the Spanish high-nature value cereal-steppe farming systems". *Agricultural Systems* 94(2): 247-260.
- RÖHM, O. y DABBERT, S. (2003). "Integrating Agri-Environmental Programs into Regional Production Models: An extension of positive mathematical programming". *American Journal of Agricultural Economics* 85(1): 254-265.