

Diseños alternativos para un índice de sostenibilidad agrícola: el caso de la agricultura de regadío del Duero (*)

JOSÉ A. GÓMEZ-LIMÓN (**)

LAURA RIESGO (***)

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El concepto de «agricultura sostenible» no goza de un significado unívoco. Tal y como pone de manifiesto Hansen (1996), existen dos acepciones básicas de este término. La primera, de carácter normativo (prescriptivo), surgió como respuesta a los impactos negativos generados por la «agricultura convencional», y apuesta por la implementación de enfoques «alternativos» de ejercer la agricultura (agricultura ecológica, agricultura de conservación, etc.), como opción ideológica al objeto de alcanzar determinados valores que para los seguidores de este enfoque deben caracterizar al sector. La segunda acepción es de carácter positivo (descriptivo), centrándose en analizar la capacidad que tienen los sistemas agrarios para satisfacer determinadas necesidades de forma continuada en el tiempo. Como evidencia este mismo autor, sólo esta última significación resulta adecuada desde una perspectiva científica, siendo, pues, la que se adopta en este trabajo.

En todo caso es necesario apuntar que el concepto de sostenibilidad así definido no está exento de problemas para su formulación ope-

(*) Esta investigación ha sido cofinanciada por el por 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). Asimismo, los autores agradecen sinceramente las aportaciones realizadas por los/as revisores/as anónimos/as, que han permitido mejorar la calidad científica del trabajo.

(**) Departamento de Economía Agraria. ETSIIAA. Universidad de Valladolid.

(***) Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica. Universidad Pablo de Olavide.

rativa. En primer lugar están los problemas derivados de su carácter temporal. Efectivamente, el análisis de la sostenibilidad en términos de preservación indefinida de la capacidad productiva exigiría analizar la generación futura de bienes y servicios, circunstancia que no puede observarse en un marco temporal de intervención razonable (imposibilidad de realizar experimentos a tan largo plazo). En segundo lugar está la dificultad de determinar qué demandas concretas debe satisfacer la actividad agraria para ser sostenible, cuestión sobre la cual pueden existir multitud de opciones. En este sentido la sostenibilidad debe entenderse en buena medida como una construcción social, cambiante en función de las demandas de la ciudadanía (específica, por tanto, para cada ámbito geográfico y temporal). Ambos problemas han dificultado durante largo tiempo el empleo práctico del concepto de sostenibilidad como herramienta operativa para guiar el desarrollo agrario.

Al objeto de superar las dificultades antes comentadas, desde una perspectiva eminentemente pragmática, se ha ido consolidando la idea de que el análisis de la sostenibilidad debe fundamentarse en una triple dimensión: medioambiental, económica y social (Douglass, 1984; Yunlong y Smit, 1994). Así, puede admitirse que un sistema agrario es sostenible cuando las tasas de intercambio entre los objetivos considerados para la evaluación pública de su desempeño (*objetivos económicos* –como el crecimiento del ingreso y el mantenimiento de la estabilidad macroeconómica–, *objetivos sociales* –como la equidad o la cobertura de las necesidades básicas–, y *objetivos ecológicos* –como la protección de ecosistemas o la regeneración de los recursos naturales) alcanzan valores aceptables para el conjunto de la sociedad (Hediger, 1999; Kates *et al.*, 2001; Stoorvogel *et al.*, 2004). Esta aproximación al concepto de sostenibilidad agraria tiene la virtud de permitir su desarrollo operativo, utilizando para ello *sistemas de indicadores* que abarquen cada una de las dimensiones mencionadas.

La cuantificación de la sostenibilidad agraria a través de indicadores, sin embargo, sigue planteando ciertos problemas hoy en día. La mayor de estas dificultades la constituye la complejidad de interpretar conjuntamente los múltiples indicadores que requiere este tipo de análisis, circunstancia que obstaculiza la utilización de este tipo de estudios como herramienta práctica de apoyo a la toma de decisiones públicas. Este problema ha tratado de superarse a través de la aplicación de métodos de agregación de estos conjuntos multidimensionales de indicadores en indicadores sintéticos o índices. Esta opción ya ha sido empleada, entre otros, por Stockle *et al.* (1994), Andreoli y Tellarini (2000), Pirazzoli y Castellini (2000), Sands y Pod-

more (2000), Rigby *et al.* (2001) o van Calker *et al.* (2006). La agregación de indicadores, no obstante, ha sido criticada tanto por el carácter «subjetivo» de los métodos empleados (elección de las formas funcionales para la agregación y de las ponderaciones de los diferentes indicadores individuales) como por permitir la compensación de las diferentes dimensiones o atributos que componen la sostenibilidad (métodos aditivos de agregación), a pesar de su supuesta inconmensurabilidad (Hansen, 1996; 1997; Morse *et al.*, 2001; Ebert y Welsch, 2004; Munda, 2005).

Dentro de este contexto general, el presente trabajo se ha planteado con un doble objetivo, el primero de índole metodológico y el segundo de carácter práctico. En primer lugar, la investigación realizada tiene el propósito de aplicar diferentes métodos alternativos para la obtención de indicadores sintéticos de sostenibilidad, al objeto de poder discutir las ventajas e inconvenientes de los mismos a través de un análisis comparativo de tipo empírico. De forma más concreta cabe señalar que estos métodos de agregación se han aplicado para cuantificar la sostenibilidad global de la agricultura de regadío del Duero, utilizando para ello una base informativa de indicadores ya desarrollada con anterioridad (Riesgo y Gómez-Limón, 2005), y que cubre las tres dimensiones de la sostenibilidad antes comentadas. El conjunto de indicadores utilizados en este trabajo ha sido calculado para diferentes explotaciones-tipo del sistema agrícola analizado y para diferentes escenarios políticos de futuro. Estas características de los datos han permitido plantear un segundo objetivo de carácter práctico: analizar las posibilidades reales de emplear el criterio de sostenibilidad como elemento de apoyo para la mejora de la gestión pública del sector. Así, el enfoque cuantitativo basado en indicadores sintéticos va ser utilizado, primero, para establecer una jerarquía de escenarios políticos en función de su nivel de sostenibilidad y, segundo, para realizar una evaluación de la heterogeneidad de la sostenibilidad proporcionada por las diferentes explotaciones-tipo en cada uno de estos escenarios. La utilidad de este tipo de resultados es obvia, en la medida que podrían ser empleados para la toma de decisiones estratégicas (impulso de la acción política para propiciar la ocurrencia futura del escenario que mayor sostenibilidad proporcione) y tácticas (fomento de estructuras productivas –explotaciones– más sostenibles en cada caso) en materia de política agraria.

Para alcanzar estos objetivos, el trabajo se ha estructurado como sigue. Tras esta sección introductoria, el segundo apartado aborda la descripción del caso de estudio, detallando el origen y significado de la información de partida de esta investigación. El tercer apartado

explica los métodos utilizados para el cálculo de los indicadores sintéticos de sostenibilidad. Tras ello, en la cuarta sección se presentan los resultados empíricos obtenidos. Finalmente, el quinto apartado trata de discutir la utilidad de los diferentes resultados obtenidos y de obtener las oportunas conclusiones.

2. CASO DE ESTUDIO

2.1. La agricultura de regadío del Duero

La aplicación operativa del concepto de sostenibilidad exige la concreción previa de un ámbito geográfico y temporal determinado. En este caso el análisis empírico a desarrollar se centra en la agricultura de regadío de la cuenca del Duero. Este sistema agrícola cubre 563.105 ha de regadío, y se caracteriza por la presencia de cultivos herbáceos de carácter extensivo, de bajo valor añadido y poco demandantes de mano de obra, así como por su alta dependencia de las ayudas concedidas por la Política Agraria Común (PAC).

El interés particular de este caso de estudio se debe a los recientes cambios experimentados por las políticas encargadas de su gestión pública. Así cabe destacar la reciente reforma de la PAC, que ha entrado en vigor en España en 2006. Dicha reforma ha introducido como mayor novedad la disociación o desacoplamiento parcial de las ayudas directas recibidas por los productores. Asimismo, deben señalarse las importantes implicaciones de la puesta en marcha de la Directiva Marco de Aguas (DMA), que obliga a los Estados miembros a introducir, antes de 2010, una nueva política de precios que permita la recuperación de costes de los servicios relacionados con el agua. Las anteriores novedades normativas de la política agraria e hídrica ponen de relieve la incertidumbre a la que se enfrenta el regadío europeo en general, y el del Duero en particular, dada su baja rentabilidad relativa y su elevada dependencia de las subvenciones. Todo ello justifica de sobra el interés objetivo del análisis propuesto sobre la sostenibilidad futura de este caso de estudio.

Por último, debe señalarse que este trabajo forma parte de una investigación más amplia, desarrollada dentro del proyecto europeo WADI (1), donde el regadío del Duero ha sido uno de los casos de estudio analizados en profundidad (Riesgo y Gómez-Limón, 2005).

(1) Proyecto financiado por el V Programa Marco de la Unión Europea, titulado «The Sustainability of European Irrigated Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000». Una referencia completa del mismo puede encontrarse en Berbel y Gutiérrez (2004).

En este sentido, a continuación se explica de forma sintética el origen de la información de partida del presente trabajo, resultante de etapas anteriores del mencionado proyecto.

2.2. Simulación del desempeño futuro de la agricultura de regadío

Como la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha, esta investigación ha optado por considerar la explotación agraria como unidad de análisis básica para el estudio de la sostenibilidad (van der Werf y Petit, 2002), dado el estado actual del conocimiento sobre las interacciones agricultura-ecosistema y la disponibilidad de datos existentes.

Ante la heterogeneidad de las explotaciones de regadío existente en la cuenca del Duero, ha sido necesario realizar una clasificación exhaustiva de las mismas. Para ello se han considerado criterios relacionados tanto con las propias explotaciones (edafoclimáticos y estructurales) como con sus titulares (variables sociodemográficas y de gestión). Así se han establecido 22 explotaciones-tipo representativas del sistema agrícola analizado, las cuales han podido ser analizadas adecuadamente a través de modelos matemáticos individualizados. Una descripción sintética de las características de las diferentes explotaciones-tipo consideradas puede consultarse en el Anejo 1. Ante la complejidad del proceso de toma de decisiones dentro de las explotaciones agrícolas, ha parecido adecuado realizar simulaciones del comportamiento futuro de las mismas a través de la Teoría de la Decisión Multicriterio. En concreto, se ha optado por realizar una modelización de la toma de decisiones de los productores agrícolas basada en la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT). Al objeto de evitar repeticiones innecesarias, se remite al lector interesado a los trabajos de Gómez-Limón y Riesgo (2004a y 2004b) y Riesgo y Gómez-Limón (2005) para una descripción detallada de la técnica de modelización utilizada para la simulación de la toma de decisiones de las diferentes explotaciones-tipo consideradas en los distintos escenarios de futuro que se presentan a continuación.

2.3. Los escenarios

Uno de los resultados del proyecto WADI empleados en este trabajo ha sido la elaboración de los posibles escenarios que pueden presentarse en la agricultura europea de regadío para el horizonte 2020 (Morris *et al.*, 2004). En este trabajo se distinguen cuatro escenarios de futuro en función de los valores sociales predominantes (consumo privado o individualismo frente a interés colectivo o comunita-

rio) y del tipo de acción gubernamental (globalización frente a regionalismo). Dichos escenarios han sido caracterizados como sigue:

- *Mercados mundiales (MM)*. Este escenario se distingue 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 y la integración global. Este escenario supone en la práctica una bajada de precios agrarios fruto de la mayor competencia internacional, así como un incremento de los rendimientos por la generalización de los cultivos transgénicos. Asimismo, se asume una leve bajada de precios de los factores productivos agrarios y la práctica desaparición de las subvenciones agrarias.
- *Sostenibilidad global (SG)*. En este contexto se concede especial importancia a los valores sociales y ecológicos en el seno de un entorno global. Teniendo en cuenta estas consideraciones, este escenario se va a caracterizar por el desarrollo de acciones orientadas a solucionar los problemas medioambientales y sociales. Igualmente se ha supuesto una bajada de precios agrarios como resultado de la mayor competencia internacional, aunque menos acusada que en el primer escenario. Asimismo, cabe señalar que los precios de los insumos agrarios tienden a aumentar, especialmente aquellos considerados como «contaminantes» (abonos y pesticidas) por la introducción de ecotasas.
- *Mercados regionales (MR)*. En este escenario se prioriza el consumo privado, si bien, al contrario que los escenarios anteriores, las decisiones se supone que se toman en un ámbito nacional o regional. Para este escenario se ha considerado que los precios de los productos agrarios son más altos como consecuencia de las medidas de protección a la agricultura local. Los rendimientos agrarios van a experimentar igualmente un aumento por la introducción de cultivos transgénicos. Las subvenciones agrarias se mantienen prácticamente iguales a las existentes en el año 2005, si bien los precios de los factores productivos tienden a aumentar como consecuencia del proteccionismo comercial.
- *Agricultura comunitaria (AC)*. En esta situación los gobiernos dan mayor prioridad a los valores sociales y medioambientales, protegiendo como objetivo prioritario los intereses locales. Este escenario se ha concretado a través de un aumento considerable de los precios de los productos agrarios como consecuencia 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 (2).

Además de estos cuatro escenarios de futuro, se van a considerar otros dos escenarios de manera adicional:

- *Statu quo (SQ)*. Se considera como situación de referencia aquella de la que se dispone de datos reales más recientes. En concreto este escenario se caracteriza por representar la situación de la agricultura de regadío vigente en el año 2005, determinada por el marco de política agraria definido por la Agenda 2000. La finalidad principal de este último escenario consiste en la realización de las oportunas comparaciones entre la situación de referencia del análisis y los diferentes escenarios propuestos.
- *Acuerdo de Luxemburgo (AL)*. Este contexto pretende analizar los efectos previsibles originados por la aplicación de la última reforma de la PAC sobre el regadío del Duero, que entró en vigor en 2006. La única diferencia con respecto al statu quo es la consideración de las ayudas parcialmente acopladas (equivalentes al 25 por ciento de las ayudas directas anteriores) y del nuevo pago desacoplado por explotación (75 por ciento de las ayudas directas recibidas durante el trienio anterior).

El lector interesado en una definición más detallada de cada uno de estos escenarios (*story lines*) para el conjunto del regadío europeo puede remitirse al trabajo de Morris *et al.* (2004). La concreción de estos escenarios generales para la UE al caso concreto del regadío del Duero (cuantificación de los cambios de los precios y rendimientos de los productos agrícolas, de los precios de los insumos y de las subvenciones) puede encontrarse asimismo en Riesgo y Gómez-Limón (2005).

2.4. Los indicadores

Para cuantificar la sostenibilidad de la agricultura de regadío, considerando la explotación agrícola como unidad de análisis, el proyec-

(2) Para una mayor información sobre las ecotasas o los impuestos ambientales que se proponen aplicar en los escenarios de Sostenibilidad Global (SG) y Agricultura Comunitaria (AC), el lector interesado puede consultar el trabajo de Nam *et al.* (2007). Asimismo cabe mencionar como referencias relevantes en este sentido los manuales de Gago y Labandeira (1999) y la OECD (2006).

to WADI realizó una cuidadosa selección de indicadores, basándose en las directrices marcadas por la OCDE (OECD, 2001). Los indicadores elegidos son los que se observan en el cuadro 1.

Cuadro 1

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD SELECCIONADOS

Área de salida	Indicadores	Unidades
Sostenibilidad económica	Renta bruta de los agricultores (MBET)	€/ha
	Renta neta de los agricultores (BENEF)	€/ha
	Contribución al PIB (CONPIB)	€/ha
	Ayudas públicas a la agricultura (AYUPUB)	€/ha
Sostenibilidad social	Empleo agrario (MOT)	persona/día ha
	Estacionalidad de la mano de obra (ESTAC)	%
Sostenibilidad ambiental	Paisaje y biodiversidad	Agro-diversidad (AGRDIV) Cobertura del suelo (COBSUEL)
	Uso del agua	Uso del agua de riego (USOAGUA)
	Fertilizantes y contaminantes	Balance de nitrógeno (BALN) Balance energético (BALE) Riesgo de pesticidas (RIEPEST)
		nº cultivos % m ³ /ha kg N/ha 10 ⁶ kcal/ha 10 ³ RP/ha

Fuente: Elaboración propia.

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 el Anejo 2.

A través de la técnica de simulación multicriterio antes comentada se ha podido estimar el valor de todos estos indicadores para cada uno de los 6 escenarios considerados en las 22 explotaciones-tipo representativas del caso de estudio.

3. METODOLOGÍA

3.1. Marco metodológico

Cada vez más se reconoce la utilidad de los indicadores sintéticos para analizar y comunicar temas complejos y multidimensionales, como es el caso de la sostenibilidad. Tal interés se ha reflejado en diversas publicaciones recientes que analizan los métodos y técnicas más apropiados para abordar esta tarea de construcción de índices. En esta línea cabe destacar por su interés los trabajos de Nardo *et al.* (2005a y 2005b). Estos autores señalan que la construcción de estos indicadores sintéticos requiere abordar de forma sucesiva las siguientes 10 etapas:

1. Desarrollo del marco teórico.
2. Selección de indicadores básicos.
3. Análisis multivariante.
4. Imputación de datos ausentes.
5. Normalización de los datos.
6. Asignación de pesos y agregación.
7. Análisis de robustez y sensibilidad.
8. Análisis de la relación de los índices calculados con otras variables.
9. Análisis de la relación entre los índices calculados con los datos originales.
10. Presentación y difusión.

El desarrollo de las 3 primeras etapas ya ha sido comentado en los dos apartados anteriores. En lo que respecta a la etapa 4, tampoco es necesario realizar comentarios adicionales, en la medida que la base informativa de indicadores utilizada está completa y no ha requerido la imputación de ningún dato ausente.

La normalización (etapa 5) es una necesidad previa a cualquier agregación de indicadores, dado que estos están cuantificados normalmente en diferentes unidades. En nuestro caso, de las diferentes técnicas de normalización existentes (Freudenberg, 2003), se ha elegido la normalización por cambio de escala, al objeto de que el valor de todos los indicadores, una vez normalizados, varíe en un rango adimensional $[0,1]$, donde el 0 se corresponde con el peor valor posible del indicador (el menos sostenible) y el 1 con el mejor (el más sostenible).

Tras esta etapa de normalización, debe desarrollarse la etapa relativa a la construcción de los indicadores sintéticos propiamente dicha (etapa 6, de asignación de pesos y agregación). Para ello, como exponen Nardo *et al.* (2005a y 2005b), existen múltiples métodos alternativos. Para nuestro trabajo se han elegido tres de estos métodos, los basados en: a) el análisis de componentes principales, b) el proceso analítico jerárquico, y c) en una técnica multicriterio fundamentada en el concepto de distancia al punto ideal. En los siguientes apartados se comentará la operatividad de cada uno de estos métodos para la obtención del *índice de sostenibilidad global* (ISG) buscado. Posteriormente, tras la exposición de los resultados obtenidos, se procederá a la discusión de los mismos, donde se hará un análisis comparativo y crítico de las tres alternativas metodológicas consideradas, cubriendo con ello las etapas 7, 8 y 9 antes comentadas.

3.2. Método de agregación basado en el Análisis de Componentes Principales (ACP)

Una descripción detallada sobre el procedimiento a seguir para la obtención de índices a través del Análisis de Componentes Principales (ACP) puede consultarse Nicoletti *et al.* (2000) y Nardo *et al.* (2005a y 2005b). Este apartado trata de sintetizar la aplicación de este procedimiento a nuestro caso de estudio, enfocado hacia el cálculo del denominado *ISG-ACP* de la actividad agrícola.

Para este trabajo la técnica del ACP se ha aplicado sobre la base de indicadores relativa al escenario del statu quo (SQ) (12 indicadores \times 22 explotaciones-tipo), al objeto de agrupar aquellos indicadores originales que registran entre sí una mayor correlación. Así se han podido obtener las correspondientes componentes principales (Z_j). Con este propósito se ha optado por retener aquellas componentes principales que tienen un autovalor superior a la unidad. Los resultados así obtenidos han permitido seleccionar 3 componentes principales, que explican en conjunto el 86,3 por ciento de la varianza total. Para facilitar la comprensión del significado de las componentes extraídas se ha analizado la composición de las mismas a través de sus cargas factoriales, tal y como se recoge en el cuadro 2.

Cuadro 2

MATRIZ DE COMPONENTES ROTADOS DEL ACP (CARGAS FACTORIALES)

Indicadores	Z_1	Z_2	Z_3	Comunalidad
MBET	0,605	0,685	0,364	0,967
BENEF	-0,015	0,769	0,393	0,746
CONPIB	0,727	0,419	0,454	0,910
AYUPUB	0,244	0,925	-0,059	0,919
MOT	0,800	0,383	0,240	0,845
ESTAC	-0,220	-0,811	0,298	0,795
AGRDIV	-0,339	-0,335	-0,766	0,813
COBSUEL	-0,010	-0,190	0,924	0,890
USOAGUA	-0,908	-0,164	0,085	0,858
BALN	-0,666	-0,642	-0,126	0,871
BALE	-0,885	-0,193	0,099	0,830
RIEPEST	0,898	-0,051	0,324	0,914

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas las componentes principales Z_j , se procede a calcular el valor de los indicadores sintéticos intermedios (ISI_j), correspondientes a cada una de las componentes principales extraídas. Para ello, en cada caso, se requiere realizar una agregación ponderada de los indicadores. Los pesos necesarios para la construcción de estos ISI se obtienen a partir de la matriz de componentes rotados antes presentada. El procedimiento utilizado para ello se basa en la propiedad de que el cuadrado de las cargas factoriales representa la proporción de la varianza unitaria total del indicador que es explicada por la correspondiente componente principal. Teniendo en cuenta esta consideración, los pesos pueden calcularse utilizando la siguiente expresión:

$$w_{kj} = \frac{(\text{carga_factorial}_{kj})^2}{\text{autovalor}_j} \quad [1]$$

donde w_{kj} es el peso que tendrá el indicador k en la componente j , $\text{carga_factorial}_{kj}$ es el valor de la carga factorial del indicador k en cada componente principal j , y autovalor_j es el autovalor de la componente principal j . A partir de los pesos así calculados, la formulación de los indicadores sintéticos intermedios (ISI_j) queda como sigue:

$$\text{ISI}_j = \sum_{k=1}^{k=n} w_{kj} I_k \quad [2]$$

donde I_k es el valor normalizado del indicador k .

Tras obtener los indicadores sintéticos intermedios se procede a la agregación de los mismos al objeto de obtener el definitivo ISG-ACP. Para ello se requieren nuevas ponderaciones α_j , que se calculan como sigue:

$$\alpha_j = \frac{\text{autovalor}_j}{\sum_{j=1}^n \text{autovalor}_j} \quad [3]$$

Así, el ISG-ACP se calcula igualmente como una suma ponderada de las componentes principales. Teniendo en cuenta los resultados del ACP obtenidos para nuestro caso concreto, el ISG-ACP para cada explotación-tipo i puede calcularse según la expresión siguiente:

$$\text{ISG-ACP}_i = 0,4455 \cdot \text{ISI}_{1i} + 0,3402 \cdot \text{ISI}_{2i} + 0,2143 \cdot \text{ISI}_{3i} \quad [4]$$

donde ISI_{ji} es el valor de cada indicador sintético intermedio j para la explotación-tipo i .

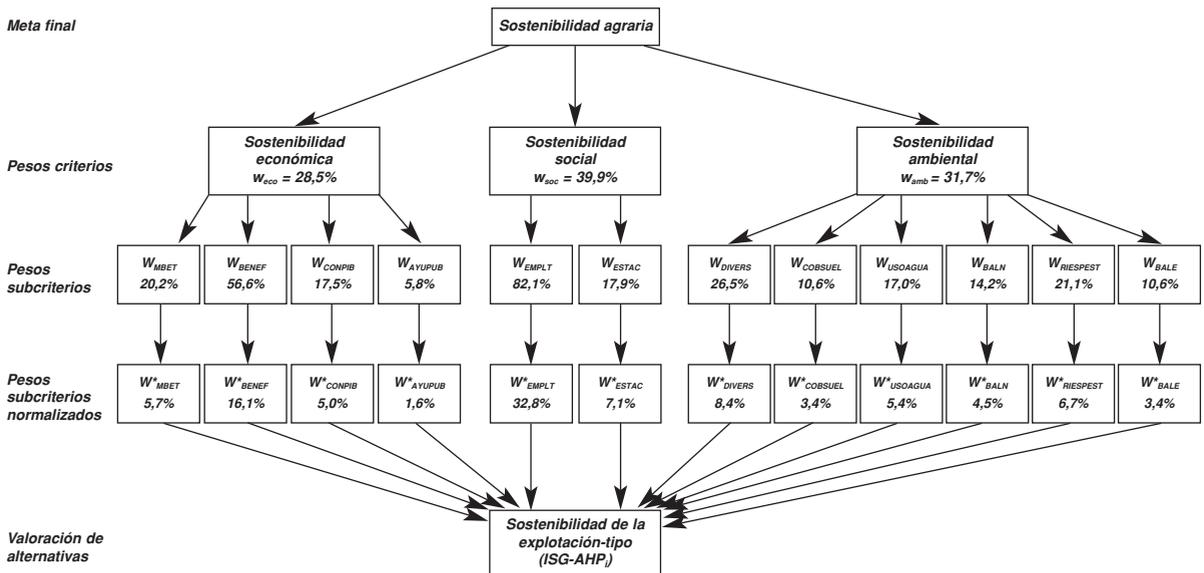
3.3. Método de agregación basado en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

La segunda de las alternativas metodológicas elegidas para la generación del ISG es el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process* en la terminología anglosajona, abreviadamente AHP). Esta técnica fue desarrollada inicialmente como herramienta de soporte en la toma de decisiones complejas (multidimensionales), pero puede adaptarse perfectamente para la construcción de índices (véase Nardo *et al.*, 2005a y 2005b).

La metodología AHP fue creada por Saaty (1980) como técnica estructurada pero flexible para la toma de decisiones en un contexto multicriterio. Ésta se basa en la formalización intuitiva de los problemas a través una estructura jerárquica. Para el caso de estudio analizado, la jerarquía aplicable puede plantearse tal y como se expone en la figura 1.

Figura 1

JERARQUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ISG-AHP



Dentro de esta estructura jerárquica, la importancia relativa o ponderaciones (w_k) de los criterios y subcriterios se obtienen sobre la base de comparaciones por pares. Para la realización de estas comparaciones dos a dos, y determinar así la intensidad de preferencia entre cada par de opciones, se ha seguido una escala que va de 1 a 9, tal y como propone el propio Saaty (1980). Dichas comparaciones por pares permiten construir las matrices de Saaty ($A=a_{kl}$), a partir de las cuales se estiman los correspondientes vectores de prioridades ($w_1, \dots, w_k, \dots, w_n$). De las diferentes técnicas existentes para esta estimación de los pesos se ha optado por el método de la media geométrica (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2000).

Una vez definida la jerarquía para la aplicación del AHP, el proceso de ponderación establecido en el párrafo anterior se realiza de forma independiente para cada uno de sus nodos. Así pues, para el caso aquí presentado ha sido necesario construir y resolver 4 matrices Saaty diferenciadas: la primera en relación a los criterios (dimensiones económica, social y ambiental de la sostenibilidad), la segunda para los subcriterios (indicadores) económicos, la tercera para los indicadores sociales, y la cuarta para los indicadores ambientales (3).

En principio esta técnica del AHP se pensó para decisores individuales, pero pronto se extendió como técnica válida para la decisión de grupos. Este último caso, como a continuación se explica, es el que se sigue en este trabajo. Efectivamente, las ponderaciones a utilizar en la investigación requieren considerar las opiniones de un conjunto de personas (p), a partir de las cuales se han obtenido las correspondientes matrices de comparación por pares ($A_p=a_{klp}$) y las correspondientes ponderaciones (w_{kp}). Esta información individual ha tenido que ser tratada adecuadamente para poder obtener la oportuna síntesis de ponderaciones a nivel agregado (w_k). En este sentido, cabe señalar que esta síntesis se ha realizado siguiendo el procedimiento propuesto por Forman y Peniwati (1998), que para decisiones de grupo en el ámbito social sugieren como más adecuado el método de agregación de ponderaciones individuales (w_{kp}) estimado a través de la media geométrica:

$$w_k = \sqrt[m]{\prod_{p=1}^{p=m} w_{kp}} \quad [5]$$

(3) Por este motivo resulta evidente que el dispar número de subcriterios de la jerarquía propuesta no tiene influencia en los pesos de los diferentes indicadores individuales.

Llegados a este punto es necesario especificar qué personas se han considerado las más adecuadas para realizar las ponderaciones requeridas para la construcción del ISG-AHP. En este sentido, para este trabajo se propone que la importancia relativa de los criterios (importancia de la sostenibilidad económica, social y ambiental sobre la sostenibilidad global) sea determinada por el conjunto de la sociedad que alberga el sistema agrícola objeto de estudio. Con ello se asume, como ya se indicaba en la introducción, que la sostenibilidad es en buena medida una construcción social. Por el contrario, la ponderación de los subcriterios en relación a sus correspondientes criterios (importancia relativa de los indicadores), dado su carácter eminentemente técnico, se ha considerado más adecuado que la realice un panel de expertos en temas relacionados con la sostenibilidad agrícola.

La combinación de ambas ponderaciones (social y de expertos) está plenamente justificada. Efectivamente, las personas «ordinarias» que constituyen cualquier muestra representativa de una sociedad tienen plena capacidad para establecer cómo creen ellas que debe ser el desempeño del sector agrario. Esta postura entra dentro de la esfera de lo normativo (político), y según las exigencias de los sistemas democráticos, ésta debe fijarse por el conjunto de la ciudadanía. Estas mismas personas, sin embargo, por lo general no tienen la formación técnica necesaria para poder opinar con criterio sobre qué indicadores permiten cuantificar mejor el desempeño de la sostenibilidad económica, social o ambiental (pesos de los indicadores). Este posicionamiento debe basarse en el conocimiento científico y la experiencia, dado su carácter puramente positivo (técnico). Por este motivo, para esta segunda ponderación se hace necesario el uso de «expertos» capaces, por ejemplo, de valorar qué es más relevante para la sostenibilidad ambiental, el balance de nitrógeno o la cobertura del suelo.

En cuanto a la ponderación de los criterios (dimensiones de la sostenibilidad) cabe comentar como antecedente de esta investigación el trabajo de Gómez-Limón y Atance (2004). Estos autores, con el objetivo de determinar la importancia relativa de los diferentes objetivos que debería guiar la política agraria en Castilla y León, aplicaron igualmente el AHP a una estructura jerárquica cuyo primer nivel estaba compuesto por los objetivos genéricos de carácter económico, social y ambiental. Para la realización de estas ponderaciones utilizaron como partícipes una muestra representativa de la sociedad regional. En este sentido, dada la equivalencia de los objetivos genéricos considerados en dicho trabajo con las componentes básicas de la sostenibilidad ahora analizadas, así como la correspondencia geográfi-

ca del regadío del Duero con la Comunidad Autónoma de Castilla y León, ha parecido oportuno tomar para nuestra investigación los resultados obtenidos entonces: $w_{eco}=28,5\%$, $w_{soc}=39,9\%$ y $w_{amb}=31,7\%$ (ver figura 1) (4).

Por su parte, para la ponderación de los diferentes subcriterios (indicadores) se ha contado con un panel de 10 expertos en temas de sostenibilidad agrícola, procedentes de la universidad, institutos de investigación agraria y de la administración regional de Castilla y León. A partir de la información técnica suministrada por el panel (valoración de las comparaciones por pares), y siguiendo el procedimiento antes expuesto, se ha obtenido la importancia relativa de los distintos indicadores a nivel agregado (w_k), tal y como se indica en la tercera fila de la figura 1. En cualquier caso, para hacer operativos tales pesos, se requiere su normalización, de tal manera que la suma de todos ellos equivalga a la unidad. Para ello se han multiplicado dichos pesos por las respectivas ponderaciones de los criterios correspondientes (véase cuarta fila de la figura 1).

Calculados así los pesos normalizados w_k^* , cabe comentar que la resolución de problemas a través de la técnica AHP es equivalente a la optimización de una función de utilidad multiatributo aditiva (Kamenetzky, 1982 y Zahedi, 1987). Adaptando este tipo de formulación a nuestro caso, el cálculo del ISG-AHP puede realizarse a través de la siguiente expresión:

$$\text{ISG - AHP}_i = \sum_{k=1}^{k=n} w_k^* \cdot I_{ki} \quad [6]$$

donde ISG-AHP_i es la sostenibilidad global aportada por la explotación-tipo i , w_k^* es el peso normalizado del indicador k , e I_{ki} representa el valor igualmente normalizado del indicador k para la explotación-tipo i .

3.4. Método de agregación basado en una técnica multicriterio (MCDM)

Tal y como se ha comentado en la introducción, la medición de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de regadío es una tarea com-

(4) Como señala uno de los revisores anónimos, la utilización de las ponderaciones sociales tomadas de Gómez-Limón y Atance (2004) para esta investigación concreta es un aspecto potencialmente criticable de la aplicación empírica realizada, en la medida que los pesos obtenidos en aquel trabajo no se ajustan exactamente al propósito de elaborar un indicador sintético de sostenibilidad agrícola. La opción tomada en este sentido está justificada por la limitación presupuestaria de la investigación (imposibilidad de financiar una nueva encuesta en este sentido), así como la razonable presunción de que los resultados obtenidos anteriormente son extrapolables para el presente trabajo.

plicada, en la medida que requiere considerar las diferentes dimensiones asociadas a este concepto. Por ello, es posible entender la construcción de un índice de sostenibilidad global como un problema de decisión multicriterio, donde los criterios a tener en cuenta son los distintos indicadores considerados. En esta línea, la opción metodológica que sigue este trabajo para el cálculo del ISG a través de técnicas multicriterio (ISG-MCDM) ha sido la desarrollada por Díaz-Balteiro y Romero (2004).

Siguiendo a los autores citados, el cálculo del índice de sostenibilidad se obtiene a partir del vector de distancias existente entre los valores observados de los indicadores de sostenibilidad analizados y los valores ideales correspondientes a cada uno de ellos. En nuestro caso, para cuantificar la sostenibilidad global de la explotación-tipo i , la expresión genérica a emplear sería la siguiente:

$$\text{ISG - MCDM}_i = \sum_{k=1}^{k=n} w_k^p (I_k^* - I_{ki})^p \quad [7]$$

donde w_k es el peso asignado al indicador k , I_k^* es el valor ideal normalizado del indicador k , I_{ki} es el valor normalizado del indicador k que se ha observado para la explotación-tipo i , y p hace referencia a la métrica utilizada para la cuantificación de las distancias. De este modo, puede apreciarse que la explotación-tipo i resulta ser más sostenible en la medida que el valor de este índice sea menor.

Considerando que en nuestro caso $I_k^* = (1, \dots, 1)$, la expresión [7] puede modificarse realizando algunas operaciones algebraicas básicas hasta obtener el siguiente índice:

$$\text{ISG - MCDM}_i = \sum_{k=1}^{k=n} w_k^p \cdot I_{ki}^p \quad [8]$$

En este último caso, cuanto mayor sea el valor alcanzado por el ISG-MCDM $_i$, es decir, más se aproxime a la unidad, más sostenible será la explotación-tipo i .

En cualquier caso, queda patente que tanto la expresión [7] como la [8] son formulaciones genéricas que dependen del tipo de métrica p considerada. De hecho, para cada métrica p , se obtiene una expresión diferente del ISG-MCDM. Así, por ejemplo, si $p=1$, la cuantificación de la sostenibilidad global de la explotación-tipo i se correspondería con la suma ponderada de los diferentes indicadores normalizados:

$$\text{ISG} - \text{MCDM}_i = \sum_{k=1}^{k=n} w_k \cdot I_{ki} \quad [9]$$

Como se puede observar, cuando la métrica p es igual a la unidad, la expresión genérica [8] se convierte en [9], que es idéntica a la expresión [6], utilizada para el cálculo del ISG-AHP. Así pues, la metodología comentada basada en el AHP puede considerarse como un caso particular de este enfoque multicriterio más general. En este caso ($p=1$), la forma de cálculo utilizada considera que los diferentes indicadores incluidos en el análisis pueden compensarse entre sí perfectamente (commensurabilidad total de los indicadores individuales).

Por el contrario, si analizamos el otro caso extremo, cuando $p=\infty$, lo que cuantifica el ISG-MCDM es el mínimo valor normalizado y ponderado del conjunto de indicadores individuales considerados:

$$\text{ISG} - \text{MCDM}_i = \text{Min}_k(w_k \cdot I_{ki}) \quad [10]$$

Así, la explotación-tipo i resulta ser más sostenible cuanto más «equilibrada» sea, es decir, en la medida que no tenga ningún indicador muy desplazado respecto al correspondiente valor ideal. Cabe señalar asimismo que en este último caso, al contrario de lo que ocurre cuando $p=1$, no existe compensación alguna entre los indicadores a la hora de calcular el ISG-MCDM. De esta manera se está asumiendo una inconmensurabilidad total de los indicadores que se han considerado para la cuantificación de la sostenibilidad global.

Lógicamente, entre estos valores extremos de p cabe considerar otras infinitas métricas intermedias, que se corresponderían con diferentes grados de commensurabilidad de los indicadores utilizados. Como ponen de manifiesto Díaz-Balterio y Romero (2004), el conjunto de la familia de indicadores sintéticos que se pueden construir a partir de las diferentes métricas posibles cabe sintetizarla a través de una combinación convexa de las medidas de sostenibilidad dadas por las expresiones [9] y [10]:

$$\text{ISG} - \text{MCDM}_i = (1 - \lambda) \cdot \left[\text{Min}_k(w_k \cdot I_{ki}) \right] + \lambda \cdot \sum_{k=1}^{k=n} w_k \cdot I_{ki} \quad [11]$$

donde λ es un parámetro acotado entre 0 y 1 que indica el grado de inconmensurabilidad que se considera para la compensación entre los distintos indicadores que conforman el ISG-MCDM. Para $\lambda=1$ la definición de la sostenibilidad global se corresponde con la expresión

sión [9], considerando por tanto una compensación total entre los indicadores (método AHP). Por su parte, cuando $\lambda=0$, se considera que no existe compensación posible entre los indicadores y, por tanto, la sostenibilidad global se corresponde con la expresión [10]. Para $0<\lambda<1$ se considera la existencia de inconmensurabilidades parciales entre los distintos indicadores que componen el ISG-MCDM.

Para la aplicación de esta metodología de cálculo, en nuestro caso se han seleccionado 5 valores del parámetro de inconmensurabilidad: $\lambda=0$, $\lambda=0,25$, $\lambda=0,5$, $\lambda=0,75$ y $\lambda=1$. Asimismo cabe reseñar que las ponderaciones w_k de los diferentes indicadores que se han empleado para de calcular los distintos ISG-MCDM son las mismas que los utilizadas para el método AHP, considerando con ello igualmente la sostenibilidad como un proceso de construcción social.

Utilizando así la expresión [11] para los diferentes parámetros de inconmensurabilidad, se han obtenido los distintos valores del ISG-MCDM para las distintas explotaciones-tipo y escenarios analizados.

4. RESULTADOS

Los valores del ISG obtenidos a través de la aplicación de las tres metodologías anteriormente descritas, para cada explotación-tipo y escenario político, se recogen en los cuadros del Anejo 3.

4.1. Método de agregación basado en el ACP

Dados los resultados del índice de sostenibilidad global calculado a través del ACP, un primer análisis consiste en comprobar si de los mismos puede deducirse la existencia de una jerarquía de los escenarios de política agraria considerados en función del nivel de sostenibilidad que proporcionan. Para ello se han comparado 2 a 2 los diferentes escenarios considerados, aplicando una prueba *t* de comparación de medias para muestras relacionadas. A través de esta prueba es posible comparar por pares el valor medio del ISG-ACP en los distintos escenarios, y verificar si las diferencias observadas se deben realmente al contexto político analizado o si, por el contrario, son simplemente producto del azar. Los resultados obtenidos de la implementación de esta técnica pueden apreciarse en el cuadro 3.

Sobre la base de los resultados obtenidos puede apreciarse que existen diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor}<0,05$) entre la mayoría de los pares de escenarios analizados. Dados estos resultados, es posible distinguir como escenario más sostenible el caracterizado por la situación definida en el Acuerdo de Luxemburgo (AL),

Cuadro 3

PRUEBAS *t* PARA LA COMPARACIÓN GLOBAL DE ESCENARIOS. ISG-ACP

Comparación escenarios	Diferencias relacionadas			<i>t</i>	g.l.	<i>p</i> -valor
	Media	Desv. típ.	Error típ.			
SQ-AL	-0,03655	0,07333	0,01563	-2,338	21	0,029
SQ-MM	0,05795	0,06933	0,01478	3,921	21	0,001
SQ-SG	0,03109	0,06527	0,01392	2,234	21	0,036
SQ-MR	0,02527	0,07429	0,01584	1,596	21	0,126
SQ-AC	0,02468	0,06514	0,01389	1,777	21	0,090
AL-MM	0,09450	0,09069	0,01933	4,888	21	0,000
AL-SG	0,06764	0,08662	0,01847	3,662	21	0,001
AL-MR	0,06182	0,08810	0,01878	3,291	21	0,003
AL-AC	0,06123	0,07123	0,01519	4,032	21	0,001
MM-SG	-0,02686	0,05056	0,01078	-2,492	21	0,021
MM-MR	-0,03268	0,05870	0,01252	-2,611	21	0,016
MM-AC	-0,03327	0,04546	0,00969	-3,433	21	0,002
SG-MR	-0,00582	0,04945	0,01054	-0,552	21	0,587
SG-AC	-0,00641	0,04526	0,00965	-0,664	21	0,514
MR-AC	-0,00059	0,06177	0,01317	-0,045	21	0,965

Fuente: Elaboración propia.

seguido por el escenario político vigente hasta 2006 (SQ). En el caso opuesto, como escenario menos sostenible, cabe situar al escenario de mercados mundiales (MM).

De estos resultados se puede deducir, como recomendación política al objeto de fomentar la sostenibilidad de la actividad agrícola de regadío en el Duero, la conveniencia del mantenimiento de un intervencionismo moderado sobre el sector, basado preferentemente en ayudas parcialmente desacopladas de la producción (pago único por explotación). En este sentido, estos resultados avalan la reciente reforma de la PAC, como reforma incentivadora de la sostenibilidad agraria en el sistema agrícola analizado. Asimismo cabe indicar que, de cara al futuro, una mayor liberalización de los mercados y/o la supresión de las ayudas públicas al sector supondrían un claro descenso en la sostenibilidad de este agrosistema.

El segundo análisis realizado a partir de los resultados obtenidos para el ISG-ACP ha tratado de evaluar la heterogeneidad de las explotaciones-tipo en relación a la sostenibilidad aportada en cada uno de los escenarios de futuro considerados. Para ello se ha realizado en primer lugar un análisis de conglomerados o cluster, al objeto de clasificar las

diferentes explotaciones-tipo en grupos homogéneos más fáciles de comparar. Con este propósito se han considerado los valores del ISG-ACP_i en los distintos escenarios como variables clasificadoras.

Para la agrupación de estas explotaciones se ha aplicado un procedimiento de agregación jerárquico (el método de Ward o mínima distancia), definiendo la distancia entre elementos como la distancia euclídea al cuadrado. A la luz del dendrograma así obtenido se ha optado por agrupar a las 22 explotaciones-tipo consideradas en 2 grupos homogéneos. La caracterización de ambos grupos puede realizarse como sigue a partir de la información disponible en relación a variables sociodemográficas y decisionales de las diferentes explotaciones-tipo:

- *Cluster ACP-1*. El primer grupo está formado por explotaciones-tipo cuyos propietarios se dedican casi en exclusiva a la actividad agraria, a pesar de tener explotaciones de pequeña o mediana dimensión (tamaño medio de 26,8 ha). Esto es posible gracias a su orientación productiva, claramente enfocada hacia los cultivos de mayor rentabilidad y valor añadido de la zona, como son el maíz, la remolacha y los hortícolas. Estas características conducen a denominar a este grupo como «*pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial*».
- *Cluster ACP-2*. Este segundo grupo está formado por explotaciones-tipo cuyos propietarios no se dedican únicamente a la agricultura, sino que complementan la misma con otras actividades. Y esto a pesar de tener explotaciones de mayor tamaño que los del cluster ACP-1 (explotación media de 40,5 ha). Para estas explotaciones los principales cultivos son los cereales de invierno, seguidos por el maíz y la alfalfa. Esta última circunstancia hace que su plan de cultivos sea menos rentable que el caso del cluster ACP-1, pero mucho más seguro que el anterior. Tales características proporcionan un perfil de agricultores conservadores, que prefieren la seguridad que proporcionan los cereales de invierno frente a otros cultivos con mayor riesgo y mayor esperanza de beneficio. En función de estos rasgos puede denominarse a este grupo como «*grandes agricultores a tiempo parcial de carácter conservador*».

Una vez establecida la anterior tipología a través del análisis cluster, se ha procedido a analizar las posibles diferencias existentes en relación a la sostenibilidad global (ISG-ACP) entre los dos grupos de explotaciones consideradas en los distintos escenarios políticos. Para ello se ha realizado una prueba *t* para contrastar la igualdad de medias en cada caso. Los resultados correspondientes se recogen en el cuadro 4.

Cuadro 4

PRUEBAS t PARA LA COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE GRUPOS DE EXPLOTACIONES. ISG-ACP

Escenario	Descriptivo				Prueba t para la igualdad de medidas (no se han asumido varianzas iguales)			
	Cluster	N	Media	Desv. típica	Difer. de medias	t	g.l.	p -valor
SQ	ACP-1	7	0,5821	0,02867	0,10901	5,880	19,835	0,000
	ACP-2	15	0,4731	0,05825				
AL	ACP-1	7	0,6223	0,03045	0,11429	4,607	19,339	0,000
	ACP-2	15	0,5080	0,08511				
MM	ACP-1	7	0,5133	0,03392	0,09302	4,634	18,950	0,000
	ACP-2	15	0,4203	0,05982				
SG	ACP-1	7	0,5390	0,01472	0,09133	7,371	19,119	0,000
	ACP-2	15	0,4477	0,04288				
MR	ACP-1	7	0,5049	0,03777	0,03272	1,759	14,304	0,100
	ACP-2	15	0,4721	0,04617				
AC	ACP-1	7	0,5347	0,02824	0,07565	5,242	15,500	0,000
	ACP-2	15	0,4591	0,03762				

Fuente: Elaboración propia.

En función de la información recogida en el cuadro anterior, resulta evidente que las explotaciones pertenecientes a «*pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial*» (cluster ACP-1) son en su conjunto significativamente más sostenibles que las gestionadas por «*grandes agricultores a tiempo parcial de carácter conservador*» (cluster ACP-2) para todos y cada uno de los escenarios de política agraria analizados. A la luz de los resultados obtenidos, puede afirmarse que la sostenibilidad global de la agricultura de regadío del Duero depende tanto del tipo de escenarios políticos que puedan acontecer en el futuro como del tipo de explotaciones que componen el sistema agrícola. En este último sentido cabe concluir afirmando que una política agraria que persiga fomentar la sostenibilidad de la actividad debería promover la consolidación de aquellas explotaciones que se ajusten al modelo descrito para el cluster ACP-1.

4.2. Método de agregación basado en el AHP

Para analizar los resultados derivados del índice ISG-AHP se ha seguido un procedimiento similar al expuesto con anterioridad para el ISG-ACP. Así, en primer lugar se ha tratado de establecer una jerar-

quía de escenarios en función de su nivel de sostenibilidad. Para ello se ha aplicado igualmente la prueba *t* de comparación de medias para muestras relacionadas. Los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 5.

Cuadro 5

PRUEBAS *t* PARA LA COMPARACIÓN GLOBAL DE ESCENARIOS. ISG-AHP

Comparación escenarios	Diferencias relacionadas			<i>t</i>	g.l.	<i>p</i> -valor
	Media	Desv. típ.	Error típ.			
SQ-AL	0,0145	0,0848	0,0181	0,800	21	0,433
SQ-MM	0,0384	0,0974	0,0208	1,848	21	0,079
SQ-SG	0,0252	0,0840	0,0179	1,407	21	0,174
SQ-MR	0,0275	0,0995	0,0212	1,296	21	0,209
SQ-AC	0,0348	0,0878	0,0187	1,860	21	0,077
AL-MM	0,0239	0,1017	0,0217	1,103	21	0,283
AL-SG	0,0107	0,0898	0,0191	0,560	21	0,581
AL-MR	0,0130	0,1168	0,0249	0,524	21	0,606
AL-AC	0,0204	0,0755	0,0161	1,265	21	0,220
MM-SG	-0,0132	0,0752	0,0160	-0,822	21	0,420
MM-MR	-0,0109	0,0998	0,0213	-0,511	21	0,615
MM-AC	-0,0035	0,0660	0,0141	-0,252	21	0,804
SG-MR	0,0023	0,0821	0,0175	0,132	21	0,896
SG-AC	0,0096	0,0501	0,0107	0,902	21	0,377
MR-AC	0,0073	0,0941	0,0201	0,365	21	0,719

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, empleando este indicador sintético no se aprecian diferencias estadísticamente significativas (*p*-valor<0,05) para ningún par de escenarios. Así pues, no puede establecerse una ordenación concreta de los escenarios de futuro analizados, en la medida que la sostenibilidad global proporcionada por los mismos es semejante para todos ellos si se mide en términos del ISG-AHP.

En cualquier caso conviene comentar que un análisis individualizado de las diferentes componentes de las sostenibilidad sí revela diferencias significativas entre los diferentes escenarios. Así, por ejemplo, se evidencia que la sostenibilidad económica del escenario SG es significativamente menor que la del resto de escenarios de futuro, o que la sostenibilidad ambiental de los escenarios SQ, AL y SG es superior a la de MM, MR y AC. De esta manera queda de manifiesto cómo la aditividad que caracteriza el método AHP conlleva que los cambios

en las diferentes componentes de sostenibilidad de cada escenario tiendan a compensarse, haciendo que no existan diferencias significativas a nivel agregado del ISG-AHP.

El segundo análisis realizado a partir de los resultados del ISG-AHP ha tratado de evaluar la heterogeneidad las explotaciones-tipo. Para ello se ha realizado un análisis cluster semejante al comentado para el ISG-ACP. Ante el dendrograma resultante se ha optado igualmente por agrupar las 22 explotaciones-tipo consideradas en 2 grupos. Haciendo un análisis de la composición de los dos grupos obtenidos a partir del ISG-AHP, se evidencia una elevada concordancia con los dos clusters descritos en el caso del ISG-ACP. Así pues, cabe distinguir igualmente entre un grupo de «grandes agricultores a tiempo parcial de carácter conservador» (cluster AHP-1, equivalente al ACP-2) y otro de «pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial» (cluster AHP-2, equivalente al ACP-1).

Como en el caso del ISG-ACP, se ha procedido a analizar las posibles diferencias existentes en relación a la sostenibilidad global entre los dos grupos de explotaciones obtenidos, utilizando para ello igualmente pruebas *t* para la comparación de medias en cada escenario político. Los resultados correspondientes se recogen en el cuadro 6.

Cuadro 6

PRUEBAS *t* PARA LA COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE GRUPOS DE EXPLOTACIONES. ISG-AHP

Escenario	Descriptivo				Prueba <i>t</i> para la igualdad de medias (no se han asumido varianzas iguales)			
	Cluster	N	Media	Desv. típica	Difer. de medias	<i>t</i>	g.l.	<i>p</i> -valor
SQ	AHP-1	13	0,4464	0,0720	0,1575	7,071	17,068	0,000
	AHP-2	9	0,6039	0,0297				
AL	AHP-1	13	0,4462	0,0798	0,1227	3,609	17,690	0,002
	AHP-2	9	0,5689	0,0775				
MM	AHP-1	13	0,4067	0,0767	0,1608	6,402	18,894	0,000
	AHP-2	9	0,5674	0,0400				
SG	AHP-1	13	0,4188	0,0783	0,1633	6,809	16,638	0,000
	AHP-2	9	0,5821	0,0305				
MR	AHP-1	13	0,4501	0,0905	0,0813	2,484	19,988	0,022
	AHP-2	9	0,5313	0,0630				
AC	AHP-1	13	0,4242	0,0599	0,1267	5,966	19,991	0,000
	AHP-2	9	0,5509	0,0398				

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de este análisis son concordantes con los del ISG-ACP. Así, tal y como puede observarse, resulta obvio que las explotaciones pertenecientes al cluster AHP-2 («*pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial*») resultan ser más sostenibles que las del cluster AHP-1 («*agricultores a tiempo parcial de carácter conservador*») para cualquiera de los escenarios de futuro analizados. Las conclusiones que se derivan para los decisores públicos son, por tanto, las mismas que las que se indicaban en el apartado 4.1.

4.3. Método de agregación basado en una técnica multicriterio (MCDM)

Los distintos valores del parámetro de inconmensurabilidad (λ) considerados en este trabajo proporcionan 5 formulaciones distintas del ISG-MCDM. Para el caso particular de $\lambda=1$, tal y como se ha señalado previamente, los resultados coinciden con los obtenidos para el ISG-AHP. Dada tal circunstancia, se remite al lector al apartado anterior para el análisis de los correspondientes resultados. En relación al análisis del resto de formulaciones cabe comentar que, en aras a la brevedad, se ha optado por presentar explícitamente en este apartado únicamente aquellos resultados obtenidos cuando se considera $\lambda=0,5$ y $\lambda=0$. Con ello se trata de ilustrar sintéticamente la incidencia de la consideración de una inconmensurabilidad parcial ($\lambda=0,5$) y total ($\lambda=0$) de los indicadores a la hora de calcular el índice de sostenibilidad global. En todo caso, se hará igualmente referencia a los resultados correspondientes al ISG-MCDM cuando $\lambda=0,75$ y $\lambda=0,25$, en la medida que sea necesario para llegar a conclusiones más generales.

Al objeto de analizar los resultados obtenidos del ISG-MCDM cuando $\lambda=0,5$ y $\lambda=0$, se sigue el mismo procedimiento que en los dos apartados anteriores. Por ello en primer lugar se analiza la posible existencia de una jerarquía de escenarios de política agraria en función de su grado de sostenibilidad. En este sentido el cuadro 7 recoge los resultados de las correspondientes pruebas *t* para la comparación de medias.

Tal y como puede apreciarse, existen diferencias significativas entre ambos análisis, en función del valor que tome el parámetro de inconmensurabilidad. Así, en el caso que se considere que es posible una compensación parcial entre los indicadores ($\lambda=0,5$), los resultados obtenidos evidencian que no cabe hablar de diferencias estadísticamente significativas (*p*-valor $<0,05$) para ninguno de los pares de escenarios analizados. De este modo no es posible establecer una ordenación concreta de los escenarios de futuro considerados, en la

Cuadro 7

PRUEBAS t PARA LA COMPARACIÓN GLOBAL DE ESCENARIOS.
ISG-MCDM CUANDO $\lambda=0,5$ Y $\lambda=0$

Valor λ	Comparación escenarios	Diferencias relacionadas			t	g.l.	p -valor
		Media	Desv. típ.	Error tip.			
$\lambda=0,5$	SQ-AL	0,0067	0,0428	0,0091	0,735	21	0,471
	SQ-MM	0,0207	0,0494	0,0105	1,969	21	0,062
	SQ-SG	0,0129	0,0425	0,0906	1,428	21	0,168
	SQ-MR	0,0126	0,0511	0,0109	1,161	21	0,259
	SQ-AC	0,0172	0,0445	0,0095	1,819	21	0,083
	AL-MM	0,0140	0,0515	0,0110	1,277	21	0,216
	AL-SG	0,0062	0,0451	0,0096	0,646	21	0,525
	AL-MR	0,0059	0,0594	0,0127	0,468	21	0,644
	AL-AC	0,0105	0,0388	0,0083	1,272	21	0,217
	MM-SG	-0,0078	0,0380	0,0081	-0,962	21	0,347
	MM-MR	-0,0081	0,0503	0,0107	-0,754	21	0,459
	MM-AC	-0,0035	0,0331	0,0070	-0,495	21	0,626
	SG-MR	-0,0003	0,0419	0,0089	-0,032	21	0,975
	SG-AC	0,0043	0,0247	0,0053	0,816	21	0,423
MR-AC	0,0046	0,0480	0,0102	0,449	21	0,658	
$\lambda=0$	SQ-AL	-0,0011	0,0035	0,0008	-1,456	21	0,160
	SQ-MM	0,0029	0,0042	0,0009	3,273	21	0,004
	SQ-SG	0,0006	0,0040	0,0009	0,754	21	0,459
	SQ-MR	-0,0023	0,0037	0,0008	-2,875	21	0,009
	SQ-AC	-0,0004	0,0036	0,0008	-0,550	21	0,588
	AL-MM	0,0040	0,0040	0,0009	4,659	21	0,000
	AL-SG	0,0017	0,0036	0,0008	2,271	21	0,034
	AL-MR	-0,0115	0,0047	0,0010	-1,154	21	0,261
	AL-AC	0,0007	0,0038	0,0008	0,833	21	0,414
	MM-SG	-0,0023	0,0030	0,0006	-3,511	21	0,002
	MM-MR	-0,0051	0,0034	0,0007	-7,023	21	0,000
	MM-AC	-0,0033	0,0034	0,0007	-4,546	21	0,000
	SG-MR	-0,0029	0,0035	0,0008	-3,833	21	0,001
	SG-AC	-0,0011	0,0033	0,0007	-1,499	21	0,149
MR-AC	0,0018	0,0038	0,0008	2,268	21	0,034	

Fuente: Elaboración propia.

medida que la sostenibilidad global proporcionada por los mismos es semejante para todos ellos si se mide en términos del ISG-MCDM

cuando $\lambda=0,5$. En este último sentido es relevante comentar que esta misma conclusión puede obtenerse a partir de los valores del ISG-MCDM resultantes cuando se considera $\lambda=0,25$, $\lambda=0,75$ ó $\lambda=1$. En todos estos casos los resultados son similares a los derivados del análisis con el ISG-AHP.

Por el contrario, en el caso que se considere que no debe existir compensación alguna entre los indicadores ($\lambda=0$), sí se aprecian diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor}<0,05$) entre la mayoría de los pares de escenarios analizados. En este caso, los escenarios que resultan ser más sostenibles son el caracterizado por el Acuerdo de Luxemburgo (AL) y el de mercados regionales (MR). En el otro extremo, el escenario menos sostenible es el de mercados mundiales (MM). Dados estos resultados, las políticas agrarias más sostenibles serían aquellas caracterizadas por un intervencionismo moderado. De igual modo, cabe concluir que toda apuesta a favor de una mayor liberalización de los mercados y una reducción de las ayudas al sector supondría un descenso importante en la sostenibilidad de la actividad agrícola de regadío en el Duero. Estos resultados son similares a los que se obtuvieron a partir del ISG-ACP.

El segundo análisis realizado a partir de los resultados obtenidos para el ISG-MCDM consiste en la evaluación de la heterogeneidad existente entre las explotaciones-tipo de regadío en el Duero. Para ello se ha aplicado, al igual que en los casos anteriores, el análisis cluster. A luz de los dendrogramas resultantes se ha optado en ambos casos por clasificar igualmente las 22 explotaciones-tipo analizadas en 2 grupos.

Analizando el caso en el que se considera una inconmensurabilidad parcial ($\lambda=0,5$), la composición de los dos grupos obtenidos se ajusta perfectamente al obtenido para el ISG-AHP (caso particular cuando $\lambda=1$). Efectivamente, los resultados de análisis cluster son los mismos para $\lambda=0,5$, $\lambda=0,75$ y $\lambda=1$. Por lo tanto, cabe distinguir igualmente entre un grupo de «*grandes agricultores a tiempo parcial de carácter conservador*» (cluster MCDMa-1, equivalente al AHP-2) y otro de «*pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial*» (cluster MCDMa-2, equivalente al AHP-2). Asimismo, cabe comentar que en el caso del ISG-MCDM cuando $\lambda=0,25$, los resultados del análisis cluster permiten obtener también dos grupos que presentan una concordancia muy elevada con los clusters antes descritos.

Haciendo un análisis similar de la composición de los grupos obtenidos a partir del ISG-MCDM cuando $\lambda=0$, se puede apreciar una agrupación de explotaciones que cambia ligeramente respecto a la

comentada anteriormente. Así, es posible distinguir un primer grupo (cluster MCDMb-1) formado por agricultores con una dedicación a la agricultura a tiempo parcial, donde los cultivos mayoritarios son el maíz y los cereales de invierno. Estas características nos llevan a denominar a este grupo como «*agricultores a tiempo parcial diversificadores de riesgos*». Por otra parte, el segundo grupo (cluster MCDMb-2) está formado por agricultores con dedicación a la agricultura a tiempo completo, donde cultivan mayoritariamente maíz, remolacha y hortalizas. En función de estas características podemos denominar a este grupo como «*agricultores a tiempo completo de carácter comercial*». En este caso la variable tamaño no presenta diferencias significativas entre ambos clusters.

Una vez establecidos los grupos en cada caso, es de interés igualmente analizar las posibles diferencias entre los mismos en relación a la sostenibilidad global que los caracteriza. Para ello se utilizan nuevamente pruebas *t* para contrastar la igualdad de medias en cada escenario político. En el caso de considerar conmensurabilidad parcial de los indicadores ($\lambda=0,5$), los resultados obtenidos pueden apreciarse en el cuadro 8.

Cuadro 8

PRUEBAS *t* PARA LA COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE GRUPOS DE EXPLOTACIONES.
ISG-MCDM CUANDO $\lambda=0,5$

Escenario	Descriptivo				Prueba <i>t</i> para la igualdad de medidas (no se han asumido varianzas iguales)			
	Cluster	N	Media	Desv. típica	Difer. de medias	t	g.l.	p-valor
SQ	MCDMa-1	13	0,2241	0,0167	0,0803	6,921	17,827	0,000
	MCDMa-2	9	0,3044	0,0368				
AL	MCDMa-1	13	0,2245	0,0408	0,0629	3,598	17,602	0,002
	MCDMa-2	9	0,2874	0,0399				
MM	MCDMa-1	13	0,2033	0,0383	0,0803	6,407	18,888	0,000
	MCDMa-2	9	0,2837	0,0199				
SG	MCDMa-1	13	0,2103	0,0391	0,0823	6,735	17,414	0,000
	MCDMa-2	9	0,2926	0,0168				
MR	MCDMa-1	13	0,2278	0,0463	0,0403	2,462	19,975	0,023
	MCDMa-2	9	0,2680	0,0304				
AC	MCDMa-1	13	0,2132	0,0302	0,0647	6,040	19,989	0,000
	MCDMa-2	9	0,2779	0,0200				

Fuente: Elaboración propia.

Resulta obvio que los resultados obtenidos en este caso son concordantes con los comentados anteriormente para el ISG-ACP y el ISG-AHP. Así, tal y como puede observarse, las explotaciones pertenecientes al cluster MCDMa-2 («*pequeños y medianos agricultores a tiempo completo con perfil comercial*») resultan ser más sostenibles que las del cluster MCDMa-1 («*grandes agricultores a tiempo parcial de carácter conservador*») para cualquiera de los escenarios de futuro analizados. Por tanto, se puede reiterar la misma conclusión que en los apartados anteriores, en el sentido que la política diseñada para la gestión pública del regadío del Duero debería promover la consolidación de aquellas explotaciones que se ajusten al modelo descrito para el cluster MCDMa-2, en detrimento de las explotaciones que se ajusten al cluster MCDMa-1.

En el caso de considerar inconmensurabilidad total entre los indicadores que componen el ISG-MCDM ($\lambda=0$), los resultados obtenidos son los que se recogen en el cuadro 9.

En función de los resultados obtenidos es posible observar que las explotaciones pertenecientes al grupo de «*agricultores a tiempo com-*

Cuadro 9

PRUEBAS *t* PARA LA COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE GRUPOS DE EXPLOTACIONES.
ISG-MCDM CUANDO $\lambda=0$

Escenario	Descriptivo				Prueba <i>t</i> para la igualdad de medidas (no se han asumido varianzas iguales)			
	Cluster	N	Media	Desv. típica	Difer. de medias	<i>t</i>	g.l.	<i>p</i> -valor
SQ	MCDMb-1	14	0,0006	0,0011	-0,0065	-4,075	7,516	0,004
	MCDMb-2	8	0,0070	0,0044				
AL	MCDMb-1	14	0,0014	0,0017	-0,0071	-6,998	10,771	0,000
	MCDMb-2	8	0,0085	0,0025				
MM*	MCDMb-1	14	0,0000	0,0000				
	MCDMb-2	8	0,0000	0,0000				
SG	MCDMb-1	14	0,0011	0,0017	-0,0032	-2,270	8,743	0,050
	MCDMb-2	8	0,0043	0,0038				
MR	MCDMb-1	14	0,0044	0,0036	-0,0021	-1,544	17,787	0,140
	MCDMb-2	8	0,0065	0,0028				
AC	MCDMb-1	14	0,0020	0,0028	-0,0036	-2,537	12,277	0,026
	MCDMb-2	8	0,0056	0,0034				

(*) En este caso el estadístico *t* no puede calcularse debido a que las desviaciones típicas de ambos grupos son 0.

Fuente: Elaboración propia.

pleto de carácter comercial» (cluster MCDMb-2) son más sostenibles que aquellas pertenecientes al grupo de «*agricultores a tiempo parcial diversificadores de riesgos*» (cluster MCDMb-1) para la mayoría de escenarios de futuro considerados. Tan sólo en los casos de los escenarios MM y MR no se ha podido verificar esta circunstancia. Los resultados obtenidos para el ISG-MCDM cuando $\lambda=0$, permiten concluir que una política agraria sostenible depende tanto del tipo de escenarios políticos como del tipo de explotaciones de regadío que componen el sistema agrícola. En este último caso, la política de estructuras agrarias debería fomentar la consolidación de aquellas explotaciones que favorezcan el modelo descrito para el cluster MCDMb-2.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan del trabajo realizado pueden dividirse en metodológicas y empíricas. Dentro de las **conclusiones de tipo metodológico**, conviene destacar en primer lugar la *utilidad del conjunto de métodos disponibles para el cálculo de índices de sostenibilidad global*. Dichos métodos permiten la agregación de un conjunto multidimensional de indicadores en un único indicador sintético, facilitándose con ello la comprensión de un fenómeno tan complejo como es el de la sostenibilidad agraria. Dicha circunstancia permite considerar estos índices como elementos clave de información al objeto de apoyar la toma de decisiones pública. Asimismo, entre sus ventajas cabe comentar igualmente la posibilidad de su utilización para: a) la comunicación con el gran público (medios de comunicación y el conjunto de la ciudadanía), propiciando el correspondiente debate social, b) la realización de comparaciones entre diferentes ámbitos geográficos (sistemas agrarios, países, etc.), y c) la posibilidad de realizar comparaciones en el tiempo, con el propósito de establecer tendencias.

No obstante, a pesar de las ventajas que supone trabajar con indicadores sintéticos de sostenibilidad, también es necesario resaltar los principales inconvenientes que presenta su uso. Las dos críticas más importantes que suelen hacerse en este sentido tienen que ver con: a) la subjetividad inherente a la elección del método de agregación, y b) la aplicación de métodos de agregación aditivos, que permiten la compensación entre las diferentes dimensiones de la sostenibilidad.

En relación a la primera cuestión (*subjetividad en la elección de la técnica de agregación*), las aplicaciones empíricas realizadas en este trabajo evidencian que, efectivamente, en función del método de agregación que se elija, los resultados y las conclusiones que se puedan derivar de

los mismos pueden diferir en unos casos de otros. En este sentido se puede concluir afirmando el interés que tiene la aplicación conjunta de diferentes técnicas alternativas para el análisis de un determinado caso de estudio, al objeto de buscar resultados concordantes sobre los cuales puedan construirse conclusiones más sólidas.

Dentro de este mismo punto cabe reflexionar igualmente sobre la consideración de los pesos asociados a cada uno de los indicadores. Habitualmente se ha criticado la subjetividad en la estimación de los mismos como un factor clave que puede sesgar los resultados de este tipo de trabajos. En este sentido se ha recomendado el empleo de técnicas «objetivas», en las cuales no sea necesario establecer explícitamente una ponderación a los indicadores de base, como por ejemplo el método basado en el ACP. No obstante, si se acepta el concepto de sostenibilidad como una construcción social, parece necesario introducir en este tipo de análisis las correspondientes preferencias sociales (consideración normativa de los pesos asignados a cada dimensión de la sostenibilidad). Sólo así, el índice de sostenibilidad tendrá en consideración las tasas de intercambio entre objetivos económicos, sociales y ambientales que se consideran socialmente aceptables. Así pues, sin restar utilidad a la técnica de agregación basada en el ACP, parece obvio que métodos de cálculo de indicadores sintéticos como el basado en el AHP o en el concepto de distancia al punto ideal resultan más útiles para el análisis político de la sostenibilidad agrícola.

La comparación de los resultados de las aplicaciones empíricas realizadas en este trabajo ha evidenciado cómo la diversidad de resultados viene determinada especialmente por el *grado de conmensurabilidad entre los diferentes indicadores* que se considera en cada método. Así, las mayores diferencias se han observado entre los métodos que consideran una compensación total entre indicadores (técnicas basadas en métodos puramente aditivos como el ACP y el AHP) y el ISG-MCDM cuando $\lambda=0$, caso en que se supone una inconmensurabilidad total entre éstos. En este sentido, diferentes autores (Hansen, 1996; Morse *et al.*, 2001; Ebert y Welsch, 2004; Munda, 2005) han criticado la aplicación de métodos aditivos, ya que consideran el establecimiento de tasas de intercambio entre atributos (compensación entre los mismos) incompatibles con el propio concepto de sostenibilidad. Por tanto, parece aconsejable optar por técnicas que permitan una conmensurabilidad parcial entre indicadores, tal y como ocurre para el ISG-MCDM cuando $0 < \lambda < 1$. En cualquier caso, resulta evidente que el grado de conmensurabilidad (valor de λ) más adecuado para este tipo de ejercicios sigue siendo un tema a discutir, sobre el cual debe incidirse en futuras investigaciones.

Como síntesis de lo comentado anteriormente, cabe señalar pues, que si bien la consideración conjunta de diferentes métodos de agregación para la obtención de indicadores sintéticos es recomendable, el índice basado en el concepto de distancia al punto ideal (ISG-MCDM) resulta ser el de mayor interés cuando $0 < \lambda < 1$, en la medida que permite introducir en el análisis las preferencias sociales y considerar una commensurabilidad parcial entre atributos. Dentro de esta técnica de agregación, debe ser el propio decisor político el que debe seleccionar hasta qué grado debe tolerarse la compensación entre los indicadores (determinación del valor de λ más adecuado).

En relación a los resultados concretos del caso de estudio analizado, también cabe destacar interesantes *conclusiones de tipo empírico*. En primer lugar cabe comentar que la estimación de indicadores de sostenibilidad para diferentes escenarios de futuro ha podido establecer una *jerarquía de dichos escenarios políticos en función de su sostenibilidad*. En este sentido, si bien los índices ISG-AHP e ISG-MCDM cuando $\lambda > 0$ no muestran diferencias significativas entre los diferentes escenarios, los resultados de las técnicas de agregación basadas en el ACP y en el concepto de distancia al punto ideal para $\lambda = 0$ resultan ser semejantes. En este sentido es posible diferenciar como escenario más sostenible el escenario caracterizado por el Acuerdo de Luxemburgo (AL), lo que avala la conveniencia de la última reforma de la PAC basada en pagos parcialmente desacoplados. Por el contrario, la política agraria que incentiva un menor grado de sostenibilidad es aquella caracterizada por el escenario de Mercados Mundiales (MM), donde se promueve una mayor liberalización del sector agrario y la desaparición de las ayudas públicas.

En segundo lugar también es relevante destacar la *heterogeneidad de la sostenibilidad proporcionada por las distintas explotaciones-tipo* presentes en la zona de estudio en cada escenario de futuro analizado. En este sentido, cabe destacar la gran similitud de los resultados obtenidos, independientemente de la técnica de agregación utilizada. Así, en general cabe afirmar que para todos los escenarios políticos analizados las explotaciones que resultan ser más sostenibles son aquellas que se caracterizan por ser de pequeña y mediana dimensión, estar gestionadas por agricultores que se dedican a la agricultura a tiempo completo y por implementar un plan de cultivos de carácter comercial, donde predominan las alternativas de mayor valor añadido.

En cualquier caso, debe introducirse una cierta dosis de autocrítica en relación a los resultados empíricos obtenidos. En este sentido debe señalarse que los cálculos del ISG reportados en este trabajo son tributarios de unos datos y unos escenarios generados por Ries-

go y Gómez-Limón (2005) en el año 2003, y a una ponderación de las tres dimensiones básicas de la sostenibilidad obtenida por Gómez-Limón y Atance (2004) en ese mismo año. Sin embargo, es de destacar que desde entonces han sido numerosos los cambios experimentados por el sistema agrícola analizado, entre cuyas causas cabe destacar las siguientes: a) la aplicación de la Reforma de la PAC de 2003 (desacoplamiento parcial y condicionalidad), que se ha extendido al sector remolachero-azucarero; b) un profundo cambio en los mercados internacionales de productos agrarios, donde el aumento de la demanda global se ha traducido en incrementos importantes de precios en la mayoría de *commodities*, especialmente cereales y oleaginosas; c) la supresión de la obligatoriedad de la retirada de tierras y del barbecho agronómico, y d) la subida de los precios de los insumos agrarios, en especial los más relacionados con el petróleo (carburantes y fertilizantes). Todos estos acontecimientos han provocado ya cambios observables en el desempeño del sector agrario (cambios en los planes de cultivos, adopción de nuevas tecnologías o cambios en las estructuras agrarias), mientras que otros tantos están aún pendientes de materializarse. En este contexto de evolución permanente no cabe duda que los indicadores y los índices de sostenibilidad propuestos están sujetos a una elevada volatilidad a lo largo del tiempo. Así resulta evidente que los datos reportados para el escenario AL muy posiblemente no se corresponden ya con la situación actual del sistema agrícola analizado. Tal circunstancia pone de manifiesto la conveniencia de realizar un análisis continuado de la evolución de la sostenibilidad de las explotaciones agrarias, al objeto de suministrar una cuantificación lo más rigurosa y actualizada posible de cara a orientar la toma de decisiones políticas.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados antes comentados, cabe concluir que el cálculo de indicadores sintéticos de sostenibilidad puede considerarse como una herramienta potencialmente de utilidad para la toma de decisiones públicas en el sector agrario. En este sentido, entre otras posibles actuaciones, estos índices podrían utilizarse de forma práctica en la aplicación de los siguientes instrumentos de política agraria:

- *Condicionalidad*. Este instrumento podría modificarse al objeto de condicionar la recepción de las ayudas del primer pilar de la PAC en base al desempeño particular de un indicador sintético de sostenibilidad. Así, sólo aquellas explotaciones que documentasen alcanzar un nivel mínimo del mismo podrían recibir estas ayudas públicas.

- *Modulación.* En este mismo sentido, el cálculo de un indicador sintético podría servir igualmente para modular el nivel de ayudas del primer pilar a percibir por las explotaciones agrarias. Así, superado el nivel mínimo del ISG que capacitaría para la recepción de dichas ayudas (condicionalidad), la cuantía de las subvenciones finalmente a ingresar se establecería como un porcentaje del nivel máximo establecido, porcentaje que estaría determinado en función del valor del ISG alcanzado por cada explotación. Los requerimientos en relación al ISG fijados tanto para la condicionalidad como para la modulación podrían ser cada vez más exigentes, posibilitando la liberación de los recursos necesarios para la financiación del segundo pilar de la PAC.
- *Planes de mejora de explotaciones agrarias.* Para la aplicación de la política de estructuras agrarias, actualmente incluida dentro del Eje 1 de la política de desarrollo rural (planes de desarrollo rural), podría establecerse que las solicitudes recibidas se valorasen priorizando aquellas actuaciones de mejora de la competitividad de las explotaciones que evidenciasen una mayor mejora de su sostenibilidad (incremento en los valores del ISG).
- *Contratos territoriales.* Este nuevo instrumento, contemplado dentro de la nueva Ley de Desarrollo Rural Sostenible y recogido ya en diversos planes regionales de desarrollo rural (p.e., el del País Vasco), permite la formalización de contratos entre los agricultores y las administraciones públicas, por los cuales los productores se comprometen a proporcionar una serie de bienes públicos (ambientales y sociales) a cambio de una contraprestación económica. En este sentido, en la concreción del articulado de estos contratos podrían considerarse igualmente como condición exigida a los productores unos niveles mínimos de un índice sintético de sostenibilidad, como elemento cuantificador de la provisión de bienes públicos.

La aplicación de un ISG en todos los instrumentos anteriores tendría como mayor inconveniente práctico la documentación oficial de su cálculo para cada explotación individual. En este sentido podría valorarse que estos cálculos fuesen parte integrante de los *informes de asesoramiento*, establecidos por la normativa europea tras la reforma de la PAC de 2003. Estos informes hasta la fecha son voluntarios para los agricultores, pero en el futuro podrían exigirse a cualquier productor que solicitase ayudas públicas. En este caso, el valor de estos índices calculado por las empresas auditoras externas durante la elaboración de dichos informes podría tener valor documental frente a la

administración al objeto de poder certificar la valoración individualizada de dicho ISG.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUARÓN, J. y MORENO-JIMÉNEZ, J. M. (2000): «Stability intervals in the analytic hierarchy process». *European Journal of Operational Research*, 125 (1): 114-133.
- ANDREOLI, M. y TELLARINI, V. (2000): «Farm sustainability evaluation: methodology and practice». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77 (1): 43-52.
- 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: 49-66.
- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ, C. (eds.) (2004): *Sustainability of European Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. European Commission, Brussels.
- DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2004): «In search of a natural systems sustainability index». *Ecological Economics*, 49 (3): 401-405.
- DOMÍNGUEZ VIVANCOS, A. (1997): *Tratado de fertilización*. Mundi-Prensa, Madrid.
- DOUGLASS, G. K. (1984): «The meanings of agricultural sustainability», en DOUGLASS, G.K. (ed.) *Agricultural sustainability in a changing world order*. Westview Press, Boulder (USA): 3-30.
- EBERT, U. y WELSCH, H. (2004): «Meaningful environmental indices: a social choice approach». *Journal of Environmental Economics and Management*, 47 (2): 270-283.
- FORMAN, E. y PENIWATI, K. (1998): «Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process». *European Journal of Operational Research*, 108 (1): 165-169.
- FREUDENBERG, M. (2003): *Composite indicators of country performance: a critical assessment*. OECD, Paris.
- GAGO, A y LABANDEIRA, X. (1999): *La reforma fiscal verde: teoría y práctica de los impuestos ambientales*. Mundi-Prensa, Madrid.
- 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*. Ediciones y promociones Lav, Madrid.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y ATANCE, I. (2004): «Identificación de objetivos públicos para el apoyo al sector agrario». *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 203: 49-84.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y RIESGO, L. (2004a): «Irrigation water pricing: Differential impacts on irrigated farms». *Agricultural Economics*, 31(1): 47-66.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y RIESGO, L. (2004b): «The case of the river Duero Basin (Northern Spain)», en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ, C. (eds.) *Sustainability of*

- European Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. European Comisión, Brussels: 89-111.
- HANSEN, J. W. (1996): «Is agricultural sustainability a useful concept?». *Agricultural Systems*, 50 (1): 117-143.
- HEDIGER, W. (1999): «Reconciling 'weak' and 'strong' sustainability». *International Journal of Social Economics*, 26 (7/8/9): 1.120-1143.
- KAMENETZKY, R. D. (1982): «The relationship between the analytic hierarchy process and the additive value function». *Decision Science*, 13 (5): 702-713.
- KATES, R. W.; CLARK, W. C.; CORELL, R.; HALL, J. M.; JAEGER, C. C.; LOWE, I.; MCCARTHY, J. J. *et al.* (2001): «Environment and development: Sustainability science». *Science*, 292: 641-642.
- MORRIS, J.; GÓMEZ, M.; VASILEIOU, K. y BERBEL, J. (2004): «WADI Scenario definition», en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ, C. (eds.): *Sustainability of European Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000*. European Commission, Brussels: 39-47.
- MORSE, S.; MCNAMARA, N.; ACHOLO, M. y OKWOLI, B. (2001): «Sustainability indicators: the problem of integration». *Sustainable Development*, 9 (1): 1-15.
- MUNDA, G. (2005): «Measuring sustainability: a multi-criterion framework». *Environment, Development and Sustainability*, 7 (1): 117-134.
- NAM, C. W.; PARSCHE, R.; RADULESCU, D. M. y SCHÖPE, M. (2007): «Taxation of fertilizers, pesticides and energy use for agricultural production in selected EU countries». *European Environment*, 17 (4): 267-284.
- NARDO, M.; SAISANA, M.; SALTELLI, A. y TARANTOLA, S. (2005b): *Tools for composite indicators building*. Joint Research Centre-European Commission, Ispra (Italia).
- NARDO, M.; SAISANA, M.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; HOFFMAN, A. y GIOVANNINI, E. (2005a): *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. OECD, Paris.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2001): *Environmental indicators for agriculture. Volume 3-Methods and Results*. OECD, Paris.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2006): *The Political Economy of Environmentally Related Taxes*. OECD, Paris.
- PIRAZZOLI, C. y CASTELLINI, A. (2000): «Application of a model for evaluating the environmental sustainability of cultures in hill and mountain areas. The case of berries and fruit chestnut in Northern Italy». *Agricultural Economics Review*, 1 (1): 57-70.
- RIESGO, L. y GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2005): «Análisis de escenarios de políticas para la gestión pública de la agricultura de regadío». *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 5 (9): 81-114.
- RIGBY, D.; WOODHOUSE, P.; YOUNG, T. y BURTON, M. (2001): «Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice». *Ecological Economics*, 39 (3): 463-478.
- SAATY, T. L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw, New York.
- SANDS, G. R. y PODMORE, T. H. (2000): «A generalized environmental sustainability index for agricultural systems». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79 (1): 29-41.

- STOCKLE, C. O.; PAPENDICK, R. I.; SAXTON, K. E.; CAMPBELL, G. S. y VAN EVERT, F. K. (1994): «A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems». *American Journal of Alternative Agriculture*, 9 (1-2): 45-50.
- STOORVOGEL, J. J.; ANTLE, J. M.; CRISSMAN, C. C. y BOWEN, W. (2004): «The tradeoff analysis model: integrated bio-physical and economic modeling of agricultural production systems». *Agricultural Systems*, 80 (1): 43-66.
- VAN CALKER, K. J.; BERENTSEN, P. B. M.; ROMERO, C.; GIESEN, G. W. J. y HUIRNE, R. B. M. (2006): «Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems». *Ecological Economics*, 57 (3): 640-658.
- VAN DER WERF, H. M. G. y PETIT, J. (2002): «Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93 (1): 131-145.
- VOLPI, R. (1992): *Bilanci Energetici in agricoltura*. Laruffa Editore, Reggio Calabria (Italia).
- YUNLONG, C. y SMIT, B. (1994): «Sustainability in agriculture: a general review». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49 (2): 299-307.
- ZAHEDI, F. (1987): «A utility approach to the Analytic Hierarchy Process». *Mathematical Modelling*, 9 (3): 387-395.

ANEJO 1. Tipología de las explotaciones de regadío

La cuenca del Duero cuenta con 61.789 explotaciones agrícolas con superficies regadas, que se reparten entre más de 80 zonas regables, en su mayoría gestionadas a través de comunidades de regantes. En este sentido, para la realización de la pretendida tipología de explotaciones se han seleccionado 7 zonas regables representativas de la misma. En concreto, estas zonas son: 1) la CR de los Canales del Bajo Carrión, 2) la CR del Canal de la Margen Izquierda del Porma, 3) la CR del Canal General del Páramo, 4) la CR del Canal del Pisuega, 5) la CR del Canal de San José, 6) la CR del Canal de la Presa de la Vega de Abajo, y 7) la CR Virgen del Aviso. En conjunto, estas comunidades de regantes agrupan 51.343 hectáreas regadas (9,2 por ciento del total del regadío del Duero). En el Cuadro A1.1 puede encontrarse la información relativa a sus características básicas.

Dentro de cada zona regable analizada se realizó una encuesta a los titulares de explotaciones, al objeto de obtener información sobre características individuales de las mismas. El muestreo se llevó a cabo de forma aleatoria, para un tamaño muestral total de 377 agricultores (una media de 54 cuestionarios por zona regable). A partir de la información primaria así generada, se ha efectuado una estratificación de la muestra en cada una de las zonas regables analizadas a través del análisis de grupos o cluster. Así, se han obtenido 22 grupos de agricultores, con sus correspondientes explotaciones-tipo, tal y como aparecen recogidas en el Cuadro A1.2. Estas explotaciones-tipo han sido las unidades de análisis consideradas para el análisis empírico realizado en este trabajo (simulaciones y cálculo de indicadores).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS COMUNIDADES DE REGANTES ANALIZADAS

Características	CR Canales Bajo Carrión	CR Canal Margen Izda. del Porma	CR Canal General del Páramo	CR Canal del Pisuerga	CR Canal de San José	CR de la Presa de la Vega de Abajo	CR Virgen del Aviso
Provincia	Palencia	León	León	Palencia y Burgos	Zamora y Valladolid	León	Zamora
Altitud	775-825 m	750-830 m	800 m	760-830 m	645 m	800 m	645 m
Clima (Papadakis)	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado	Mediterráneo Templado
Precipitación media	527-448	732	498	427	364	498	364
Índice L. Turc	30-35	30-35	30-35	35	35-40	30-35	35-40
Composición edafológica	Suelos pardos calizos y franco arenosos	Suelos franco-arcillosos	Suelos franco-arcillosos	Suelos pardo-calizos	Suelos pardos	Suelos franco-arcillosos	Suelos pardos
Fecha puesta en riego	Principios 70's	Principios 70's	Principios 40's	Principios 60's	Principios 40's	Carácter tradicional	Principios 60's
Fecha constitución de CR	1990	1981	1953	1985	1957	1963	1964
Ha dominadas	7.400	12.500	18.421	12.200	4.587	1.403	1.902
Ha regadas	6.588	12.386	15.554	9.392	4.150	1.403	1.870
Número de comuneros	899	3.500	5.950	2.715	1.406	1.500	820
Superficie media por explotación (ha)	34,6	46,0	29,0	40,2	24,2	17,8	37,5
Asignación agua (m ³ /ha)	5.950	6.250	6.587	8.100	8.192	6.105	8.021
Sistemas reparto agua	A la demanda	Turnos cada 12 días	Turnos cada 14 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 14 días	Turnos cada 8 días	Turnos cada 12 días
Sistemas de riego	A pie y aspersión (remolacha)	A pie y aspersión (remolacha)	A pie y aspersión (remolacha y alubias)	A pie y aspersión (remolacha y alfalfa)	A pie y aspersión (remolacha)	A pie y aspersión (remolacha)	A pie y aspersión (remolacha)
Canon de regulación (€/ha)	16,2	26,9	13,5	22,5	72,1	13,2	26,4
Tarifa de uso (€/ha)	5,8	13,5	17,0	14,1	72,1	-	-
Gastos operatividad y mantenimiento (€/ha)	18,0	25,8	45,3	24,0	13,8	21,0	Variable en función de cultivo
Total a pagar (€/ha)	40,1	66,1	85,3	60,6	85,9	36,1	Variable
Edad media redes riego	30 años	20 años	50 años	30 años	Variable	40 años	40 años
Eficiencia media sistemas riego	65% (superficie) y 70% (aspersión)	80% (superficie) y 85% (aspersión)	70% (superficie) y 75% (aspersión)	60% (superficie) y 65% (aspersión)	80% (superficie) y 85% (aspersión)	65% (superficie) y 70% (aspersión)	60% (superficie) y 65% (aspersión)

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A1.2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS EXPLOTACIONES-TIPO ANALIZADAS

Zona regable	Cod.	Denominación	% / n.º agric.	% / sup. total	Principales cultivos	ha totales	ha regadío	Edad	% Renta agricultura
CR Canales Bajo Carrión	11	Agricultores a tiempo parcial	22,9%	17,8%	Maíz, cereales invierno y remolacha	77,3	28,3	49,8	63,3%
	12	Agricultores-ganaderos	21,3%	24,2%	Maíz, alfalfa y cereales invierno	78,3	41,4	43,4	80,0%
	13	Pequeños agricultores de perfil comercial	27,8%	8,9%	Maíz, alfalfa y cereales invierno	35,3	11,7	43,3	64,4%
	14	Agricultores aversos al riesgo	27,8%	49,2%	Cereales invierno y maíz	115,4	64,4	42,5	76,2%
CR Canal Margen Izda. del Porma	21	Grandes agricultores con perfil comercial	40,7%	45,8%	Maíz	88,1	52,2	45,4	98,6%
	22	Agricultores a tiempo parcial	5,6%	5,4%	Cereales invierno y maíz	45,3	45,3	37,3	50,0%
	23	Agricultores aversos al riesgo	16,7%	16,6%	Cereales invierno, maíz y girasol	107,1	46,2	47,2	92,2%
	24	Agricultores-ganaderos	37,0%	32,1%	Maíz y alfalfa	47,1	40,3	44,7	78,5%
CR Canal del Páramo	31	Agricultores neutrales al riesgo	72,0%	69,6%	Maíz, remolacha y alubia	27,2	27,2	48,4	90,7%
	32	Agricultores diversificadores de riesgos	28,0%	30,4%	Maíz, cereales invierno y remolacha	30,7	30,7	42,7	93,5%
CR Canal del Pisuerga	41	Agricultores de carácter conservador	20,6%	12,5%	Cereales invierno y alfalfa	105,1	23,7	50	77,1%
	42	Grandes agricult. con orientación comercial	35,3%	57,5%	Cereales de invierno, remolacha y maíz	179,5	63,4	50,7	90,0%
	43	Agricultores - ganaderos	44,1%	38,2%	Alfalfa, cer. de invierno, remolacha y maíz	133,7	33,7	46,5	90,7%
CR Canal de San José	51	Agricultores diversificadores de riesgos	35,3%	39,6%	Maíz, cereales invierno y alfalfa	39,5	27,2	49,5	83,0%
	52	Jóvenes agricultores de perfil comercial	35,3%	40,3%	Maíz y remolacha	35,2	27,7	42,8	93,0%
	53	Agricultores maiceros	29,4%	20,1%	Maíz	17,4	16,6	56	90,0%
CR Presa de la Vega de Abajo	61	Pequeños agricultores envejecidos	20,6%	11,5%	Maíz y cereales invierno	8,7	8,7	57,1	77,9%
	62	Remolacheros	29,4%	31,4%	Maíz y remolacha	16,7	16,7	48,9	94,0%
	63	Jóvenes agricultores de perfil comercial	50,0%	57,1%	Maíz, remolacha y cereales invierno	17,8	17,8	43,4	92,4%
CR Virgen del Aviso	71	Agricultores de perfil comercial	45,5%	23,2%	Maíz, remolacha y cereales invierno	21,8	19,2	47,9	76,5%
	72	Agricultores diversificadores de riesgos	24,2%	33,4%	Maíz, cereales invierno y remolacha	73,1	51,8	44,9	88,1%
	73	Agricultores de perfil conservador	30,3%	43,4%	Cereales invierno, girasol y maíz	87	53,7	47,1	89,0%

Fuente: Elaboración propia.

ANEJO 2. Indicadores de sostenibilidad

En este anejo se expone de manera sintética la interpretación de cada uno de los indicadores de sostenibilidad considerados, así como el fundamento de su cálculo numérico.

Indicadores económicos:

- *Renta bruta de los agricultores (MBET)*. La renta de los agricultores a corto plazo puede aproximarse a través del margen bruto de la explotación, entendiéndose éste como la diferencia entre los ingresos y los costes variables.
- *Renta neta de los agricultores (BENEF)*. El beneficio económico es el *proxy* empleado para estimar la renta de los agricultores en un horizonte a largo plazo. Tal circunstancia requiere considerar, además de los costes variables, todos los costes fijos, entre los que destacan la renta de la tierra, el coste de oportunidad de la mano de obra y el coste de oportunidad del capital fijo.
- *Contribución al PIB (CONPIB)*. Este indicador se calcula deduciendo de los ingresos de los productores las transferencias realizadas a otros sectores de la sociedad (costes variables y subvenciones). Este hecho se fundamenta en que las transferencias de renta no suponen alteración alguna de los recursos reales con que cuenta la sociedad para satisfacer sus necesidades, sino una simple redistribución de los mismos.
- *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.

Indicadores sociales:

- *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.
- *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:

- *Agro-diversidad (AGRDIV)*. 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.
- *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.
- *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.
- *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. 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).
- *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.
- *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 mortandad potencial de las materias

activas presentes en estos fitosanitarios, medido en kg de organismos vivos.

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).

ANEJO 3. Valores del índice de sostenibilidad global (ISG)

Cuadro A3.1

RESULTADO DEL ISG-ACP E ISG-AHP POR EXPLOTACIÓN-TIPO Y ESCENARIO DE FUTURO

Explot. tipo	Método ACP (ISG-AP)						Método AHP (ISG-AHP)					
	SQ	AL	MM	SG	MR	AC	SQ	AL	MM	SG	MR	AC
11	0,523	0,501	0,420	0,430	0,514	0,381	0,508	0,404	0,413	0,391	0,521	0,340
12	0,509	0,508	0,479	0,421	0,510	0,471	0,505	0,460	0,459	0,374	0,499	0,385
13	0,511	0,518	0,347	0,386	0,427	0,406	0,504	0,362	0,267	0,378	0,405	0,396
14	0,474	0,544	0,392	0,412	0,388	0,496	0,420	0,494	0,411	0,363	0,309	0,403
21	0,535	0,642	0,505	0,564	0,506	0,526	0,599	0,660	0,571	0,646	0,537	0,579
22	0,487	0,604	0,510	0,418	0,436	0,532	0,390	0,533	0,493	0,357	0,339	0,499
23	0,604	0,618	0,499	0,524	0,472	0,534	0,566	0,524	0,404	0,517	0,449	0,505
24	0,596	0,647	0,525	0,547	0,547	0,535	0,638	0,616	0,580	0,594	0,557	0,565
31	0,575	0,617	0,485	0,541	0,438	0,536	0,614	0,625	0,545	0,595	0,406	0,555
32	0,607	0,663	0,585	0,524	0,516	0,591	0,607	0,621	0,603	0,552	0,458	0,558
41	0,467	0,472	0,320	0,423	0,402	0,447	0,371	0,359	0,330	0,350	0,297	0,401
42	0,364	0,425	0,347	0,404	0,433	0,454	0,353	0,373	0,368	0,370	0,466	0,389
43	0,502	0,538	0,370	0,437	0,496	0,412	0,509	0,524	0,332	0,368	0,516	0,358
51	0,371	0,450	0,485	0,450	0,500	0,466	0,347	0,389	0,533	0,460	0,523	0,442
52	0,534	0,607	0,446	0,494	0,527	0,480	0,621	0,494	0,549	0,568	0,612	0,508
53	0,513	0,564	0,448	0,480	0,482	0,478	0,621	0,632	0,554	0,558	0,540	0,514
61	0,605	0,586	0,494	0,545	0,534	0,524	0,623	0,460	0,540	0,571	0,546	0,511
62	0,494	0,360	0,458	0,526	0,449	0,471	0,546	0,472	0,650	0,602	0,587	0,632
63	0,553	0,583	0,500	0,528	0,521	0,497	0,566	0,540	0,515	0,553	0,539	0,536
71	0,396	0,644	0,379	0,491	0,523	0,484	0,410	0,585	0,368	0,580	0,585	0,539
72	0,416	0,352	0,495	0,515	0,519	0,458	0,418	0,347	0,509	0,540	0,516	0,454
73	0,536	0,533	0,408	0,428	0,476	0,450	0,502	0,446	0,400	0,397	0,426	0,403
Total	0,498	0,568	0,496	0,515	0,521	0,532	0,524	0,548	0,542	0,541	0,510	0,528

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DEL ISG-MCDM POR EXPLOTACIÓN-TIPO Y ESCENARIO DE FUTURO

Explot. tipo	$\lambda=0$						$\lambda=0,25$						$\lambda=0,5$						$\lambda=0,75$					
	SQ	AL	MM	SG	MR	AC	SQ	AL	MM	SG	MR	AC	SQ	AL	MM	SG	MR	AC	SQ	AL	MM	SG	MR	AC
11	0,000	0,003	0,000	0,004	0,008	0,000	0,127	0,103	0,103	0,101	0,136	0,085	0,254	0,203	0,207	0,197	0,265	0,171	0,381	0,304	0,310	0,294	0,393	0,256
12	0,004	0,007	0,000	0,004	0,007	0,000	0,129	0,120	0,115	0,096	0,130	0,096	0,254	0,234	0,230	0,189	0,253	0,192	0,380	0,347	0,344	0,281	0,376	0,289
13	0,003	0,000	0,000	0,005	0,008	0,007	0,128	0,090	0,067	0,098	0,108	0,105	0,253	0,181	0,134	0,192	0,207	0,202	0,379	0,271	0,200	0,285	0,306	0,299
14	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,105	0,126	0,103	0,091	0,077	0,103	0,210	0,249	0,206	0,182	0,154	0,203	0,315	0,372	0,308	0,272	0,232	0,303
21	0,000	0,012	0,000	0,009	0,002	0,009	0,150	0,174	0,143	0,169	0,136	0,151	0,300	0,336	0,286	0,328	0,270	0,294	0,449	0,498	0,429	0,487	0,404	0,436
22	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,000	0,098	0,133	0,123	0,091	0,088	0,125	0,195	0,267	0,246	0,180	0,172	0,250	0,293	0,400	0,369	0,268	0,255	0,375
23	0,006	0,009	0,000	0,000	0,003	0,003	0,146	0,138	0,101	0,129	0,115	0,129	0,286	0,267	0,202	0,259	0,226	0,254	0,426	0,396	0,303	0,388	0,338	0,380
24	0,013	0,012	0,000	0,006	0,010	0,008	0,169	0,163	0,145	0,153	0,147	0,147	0,325	0,314	0,290	0,300	0,284	0,286	0,482	0,465	0,435	0,447	0,421	0,425
31	0,012	0,006	0,000	0,010	0,009	0,008	0,162	0,161	0,136	0,156	0,108	0,144	0,313	0,315	0,273	0,302	0,208	0,281	0,463	0,470	0,409	0,448	0,307	0,418
32	0,009	0,008	0,000	0,000	0,007	0,007	0,158	0,161	0,151	0,138	0,120	0,145	0,308	0,314	0,301	0,276	0,232	0,283	0,457	0,468	0,452	0,414	0,345	0,420
41	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,090	0,083	0,087	0,074	0,100	0,186	0,179	0,165	0,175	0,149	0,200	0,279	0,269	0,248	0,262	0,223	0,301
42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,088	0,093	0,092	0,093	0,121	0,097	0,177	0,187	0,184	0,185	0,236	0,194	0,265	0,280	0,276	0,278	0,351	0,292
43	0,003	0,003	0,000	0,000	0,007	0,001	0,130	0,133	0,083	0,092	0,134	0,090	0,256	0,263	0,166	0,184	0,262	0,179	0,382	0,394	0,249	0,276	0,389	0,268
51	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,087	0,097	0,133	0,115	0,138	0,113	0,174	0,195	0,267	0,230	0,266	0,223	0,260	0,292	0,400	0,345	0,394	0,332
52	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,126	0,137	0,142	0,153	0,127	0,311	0,249	0,275	0,284	0,306	0,254	0,466	0,372	0,412	0,426	0,459	0,381
53	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,158	0,138	0,140	0,135	0,129	0,311	0,316	0,277	0,279	0,270	0,257	0,466	0,474	0,415	0,419	0,405	0,386
61	0,010	0,006	0,000	0,002	0,008	0,009	0,163	0,120	0,135	0,144	0,142	0,134	0,317	0,293	0,270	0,286	0,277	0,260	0,470	0,346	0,405	0,429	0,412	0,385
62	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,137	0,118	0,162	0,151	0,147	0,158	0,273	0,236	0,325	0,301	0,294	0,316	0,410	0,354	0,487	0,451	0,440	0,474
63	0,000	0,003	0,000	0,000	0,005	0,004	0,141	0,138	0,129	0,138	0,139	0,137	0,283	0,272	0,257	0,277	0,272	0,270	0,424	0,406	0,386	0,415	0,406	0,403
71	0,001	0,004	0,000	0,003	0,007	0,001	0,104	0,149	0,092	0,147	0,151	0,136	0,206	0,295	0,184	0,292	0,296	0,270	0,308	0,440	0,276	0,436	0,440	0,404
72	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,008	0,104	0,087	0,127	0,135	0,133	0,120	0,209	0,173	0,254	0,271	0,260	0,231	0,313	0,260	0,381	0,406	0,388	0,342
73	0,004	0,007	0,000	0,004	0,005	0,002	0,128	0,117	0,100	0,102	0,111	0,102	0,253	0,226	0,200	0,200	0,216	0,202	0,378	0,336	0,300	0,299	0,321	0,303
Total	0,007	0,009	0,000	0,007	0,008	0,010	0,136	0,144	0,136	0,140	0,134	0,140	0,266	0,278	0,271	0,274	0,259	0,269	0,395	0,413	0,406	0,407	0,385	0,399

(*) Los valores relativos a $\lambda=1$ no se muestran en este cuadro porque coinciden con los del ISG-AHP que aparece en el Cuadro A3.1.

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN

Diseños alternativos para un índice de sostenibilidad agrícola: el caso de la agricultura de regadío del Duero

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de diferentes métodos alternativos para la obtención de indicadores sintéticos que cuantifiquen la sostenibilidad global de la actividad agrícola. El caso de estudio considerado para la aplicación empírica ha sido la agricultura de regadío del Duero, utilizando para ello una base informativa de indicadores ya calculados con anterioridad para diferentes explotaciones-tipo y para diferentes escenarios políticos. Los resultados obtenidos han permitido establecer una jerarquía de los escenarios políticos en función de su sostenibilidad. Asimismo, analizando la heterogeneidad de explotaciones-tipo en cada escenario, se han determinado igualmente las características de las explotaciones más sostenibles en cada caso. Esta información permite mejorar la orientación de la política agraria al objeto de aumentar la sostenibilidad de este sector.

PALABRAS CLAVE: sostenibilidad, indicadores sintéticos, agricultura de regadío, escenarios, política agraria.

SUMMARY

Alternative approaches to build a composite indicator to measure agricultural sustainability: The case of irrigated agriculture in the Duero basin (Spain)

The aim of this paper is to carry out a comparative analysis of alternative methods for the calculation of composite indicators in order to measure global sustainability of the agricultural activity. These methods have been applied to the irrigated agriculture of the Duero basin (Spain), using a data set of indicators previously calculated for different policy scenarios at farm level. The results establish a hierarchy of the policy scenarios based on their sustainability. Analyzing farms-type heterogeneity in each scenario, it is also possible to determine the main features of the most sustainable farms in each case. This information could improve the agricultural policy implementation in order to increase the sustainability of this sector.

KEY WORDS: Sustainability, composite indicators, irrigated agriculture, scenarios, agricultural policy.

