

# **ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DEL REGADÍO DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR BAJO ESCENARIOS ALTERNATIVOS**

## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Se viene observando un cambio importante a lo largo de los últimos años en la agricultura de regadío del Valle del Guadalquivir. En esta cuenca la participación de los cultivos perennes (olivar, cítricos y otros frutales) ha ganado terreno en la agricultura de regadío, lo que explica en parte el crecimiento experimentado por los sistemas de riego por goteo frente a otras tecnologías de riego.

La creciente demanda de agua por parte de todos los sectores productivos ha inducido a crear políticas de gestión del recurso como la Directiva Marco del Agua (DMA), que obliga a introducir la tarificación del agua de riego con el propósito de impulsar el uso sostenible de los recursos hídricos y posibilitar la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua. Por otro lado, las distorsiones de la Política Agraria Común (PAC) de la Unión Europea (UE) y el futuro incierto de las subvenciones que actualmente recibe el agricultor, dificultan la supervivencia del regadío de las áreas mediterráneas.

Con el fin de vislumbrar la posibilidad de supervivencia de los regadíos del Valle del Guadalquivir ante posibles escenarios de futuro distintos del actual, procedemos a diseñar una herramienta capaz de simular la planificación de cultivos de los regantes en el contexto del largo plazo, con el objeto de posibilitar la inclusión en la distribución de cultivos de un elemento tan importante para el paisaje agrario andaluz como es el olivar, a la vez que se incluye en los planes de inversión de los agricultores la posibilidad de realizar nuevas inversiones en sistemas de riego más eficientes, para hacer más competitivas sus explotaciones.

Nuestro objetivo primordial es analizar la evolución de una serie de indicadores (económicos, sociales y ambientales) en contextos o escenarios de futuro diferentes, derivados de posibles cambios de política en Europa. El escenario actual “Status Quo” es confrontado con otro escenario alternativo en el que la aplicación de la DMA implica la imposición de una tarifa al agua de riego, combinado con una reforma de la PAC que restringe el uso de agroquímicos, incrementa los costes de la mano de obra, reduce de los subsidios agrícolas, etc.

Se aplicará la definición de escenarios coherentes que analicen simultáneamente la política agraria y la política ambiental de la Unión Europea. Junto a este objetivo de la investigación, se pretende explorar el uso de modelos de programación multicriterio y planificación multiperiodo, metodologías no contempladas simultáneamente en la literatura hasta ahora.

## **2. ZONA DE ESTUDIO Y TIPOLOGÍA DE AGRICULTORES**

### **2.1. Zona de estudio**

Numerosas zonas regables de Andalucía han acogido programas de modernización de modo que la importancia del riego por gravedad es pequeña en comparación a la media nacional. Así, se riega con tecnologías distintas de la gravedad el 55,5% de la superficie de regadío, mientras en España esta cifra es del 40,7% como media, según el Plan Nacional de Regadíos de 1999.

El estudio ha sido aplicado en la zona regable de Fuente Palmera (5.250 hectáreas), representativa del Valle Medio Guadalquivir, pionera en cuanto a modernización de la tecnología de riego. El sistema de riego imperante es el goteo, establecido en un 60% de la superficie en el momento en que se realizó la encuesta (diciembre de 2001), siendo utilizada la aspersión en aquellos cultivos cuya alta densidad de siembra requiere una elevada inversión en tuberías de riego que no hace viable la inversión en sistemas de riego por goteo. Los cultivos predominantes son los herbáceos extensivos, pero en los últimos años se ha ampliado la superficie dedicada a cultivos susceptibles de ser regados por goteo, ya que este sistema de riego los hace más competitivos frente a los cultivos tradicionales, debido sobre todo al ahorro de mano de obra que conlleva esta tecnología de riego y al aumento de renta.

### **2.2. Tipología de agricultores**

Se han hecho tipologías de explotaciones mediante análisis cluster, en función de la orientación productiva observada en las encuestas, es decir, el vector de superficies de cultivo es la variable empleada como tipificadora. Las encuestas se hicieron a 80 regantes escogidos aleatoriamente y recogen información de tipo socioeconómico, estructural, sobre prácticas de cultivo y los cultivos en si mismos, así como las restricciones que limitan las decisiones del agricultor. Se ha empleado el programa SPSS v8.0 bajo la técnica de análisis de conglomerados jerárquico por el método de vinculación intergrupos y como distancia entre conglomerados, la euclídea.

- A. **Orientación Algodón.** Agricultor orientado principalmente al cultivo del algodón, al que dedica el 85% de la superficie. Su tamaño medio de explotación es 8,3 ha, que riega por goteo. Se trata de un agricultor a tiempo completo.
- B. **Orientación Trigo.** Principalmente cultiva trigo duro (43,6%), junto a todos los demás cultivos de la zona. Su tamaño medio de explotación es 28,8 ha y el sistema de riego predominante es aspersión. Agricultor a tiempo parcial. La mitad contratan mano de obra, sobre todo eventual.
- C. **Orientación Maíz.** El principal cultivo es el maíz (48,35%), aunque también siembra todos los demás cultivos de la zona. Su tamaño medio de explotación es 19,6 ha. Riega mayoritariamente por goteo. Se trata de un agricultor a tiempo completo y contrata mano de obra, eventual y fija.
- D. **Orientación Fruticultor.** Agricultor orientado al olivar y los cítricos, ocupando entre ambos el 90% de la superficie. Su tamaño medio de explotación es 16,8 ha, que riega por goteo. Es un agricultor a tiempo parcial por lo que necesita contratar mano de obra.

Las tablas 1 y 2 contribuyen a describir más detalladamente las tipologías obtenidas.

**Tabla 1. Distribución porcentual de cultivos por clusters en Fuente Palmera en año 2001**

Cluster	Trigo blando	Trigo duro	Maíz	Algodón	Girasol	Patata	Retirada	Olivar	Cítricos
A	0	0	1,5	85,8	0	7	0	4	1,6
B	9,2	43,6	7,5	20,3	7,8	0,4	6,3	2,5	2,3
C	0	15,2	42,6	16,4	4,2	11,2	7,1	0,2	3,1
D	0	0	8,3	1	0	1	0,6	59,2	29,9

Fuente: Elaboración propia a partir de encuestas

**Tabla 2. Indicadores por clusters en Fuente Palmera en año 2001**

Cluster	ECONOMIC BALANCE			SOCIAL IMPACT	WATER USE	ENVIRONMENTAL IMPACT			LANDSCAPE AND BIODIVERSITY	
	Renta	Ingresos	Subsidios	Empleo	Uso del Agua	Toxicidad	Balance energía	Balance Nitrógeno	Diversidad Genética	Cobertura del suelo
	€/ha	€/ha	€/ha	jornales/ha	m <sup>3</sup> /ha		Kcal/ha	Kg N/ha	n°	%
A	1.844,4	3.659,2	2.122,6	12,9	5.295	22.265	15.010.255	75,8	5	54,3
B	915,4	1.911,1	1.019,5	6,3	2.540	7.935	9.012.557	88,2	7	47
C	1389,6	2.672,6	855,5	8,6	4.560	17.613	11.036.763	98,4	7	45,3
D	4328,4	6.482,8	2.482,2	33,4	3.951	6.068	8.150.548	81,4	5	94

Fuente: Elaboración propia

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Elección de la metodología

Para simular planificaciones de cultivo a largo plazo elegimos programación matemática (PM)

multiperiodo, bajo el paradigma multicriterio, tras haber revisado una serie de trabajos relacionados con el tema (López y Berbel, 2002). La PM multicriterio incorpora cierta dosis de realismo a los modelos, al hacer posible el diseño de modelos cuya función objetivo está compuesta por varios criterios u objetivos, compatibles con las preferencias manifestadas por los agricultores.

En primer lugar, necesitamos obtener la función de utilidad multiatributo simuladora del comportamiento de los regantes, para lo cual usamos un modelo multicriterio de programación estática, utilizado con éxito en diversos trabajos previos (Rehman y Romero, 1993; Amador *et al.*, 1998 o Gómez-Limón y Berbel, 2000). Esta función de utilidad se puede validar fácilmente comparando los resultados de la simulación de la distribución de cultivos arrojada por dicho modelo con los valores observados en la realidad actual.

La estimación de la función de utilidad multiatributo se hará en base a los datos obtenidos de la situación institucional actual. Conviene apuntar que asumimos que dicha función de utilidad se considera un instrumento estructural por corresponderse con actitudes psicológicas de los agricultores. Esta asunción es clave para la simulación realizada, porque esta misma función de utilidad es la que se supone que los productores intentarán maximizar en el futuro, aunque varíe el escenario institucional.

Con el fin de obtener unos resultados más precisos y evitar el error de agregación derivado de estudiar la zona regable globalmente, emulando Berbel y Rodríguez, 1998, se ha creado una tipología de explotaciones en función de su orientación productiva, mediante análisis cluster. La tipificación en base a la orientación productiva agrupa productores con una forma de decidir similar (funciones de utilidad similares) y además, esta clasificación puede considerarse estable en el largo plazo (componente estructural de las funciones de utilidad multiatributo).

Una vez obtenidas las funciones de utilidad correspondientes a cada cluster, éstas serán utilizadas en un nuevo modelo multicriterio, esta vez multiperiodo, apto para simular la planificación de cultivos de los regantes a lo largo de los próximos 40 años, tanto en el contexto actual de precios y normas como en un posible contexto alternativo.

Por último, agregaremos los resultados de los cluster para obtener indicadores agregados a nivel de zona regable, que muestren su evolución socioeconómica y ambiental a lo largo del tiempo, así como la variación en los planes de cultivos frente a escenarios alternativos de futuro.

### 3.2. Programación Multicriterio. Obtención de la función de utilidad

Para definir la función de utilidad que representa las preferencias del conjunto de agricultores, en la que se integran los objetivos tenidos en cuenta por estos productores, se ha elegido la técnica de Programación por Metas Ponderadas, cuya estructura teórica se detalla en los trabajos de Sumpsi *et al.*, 1997; Amador *et al.*, 1998; Ballester y Romero, 1998; Cañas *et al.*, 2000. Dicha metodología estima un subrogado de la función de utilidad con la finalidad de simular el proceso de toma decisiones de producción de los regantes.

En estudios con más de un atributo es frecuente encontrar una función de utilidad que adopta la forma más simple:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}, \quad i=1, \dots, m \quad [1]$$

donde  $U_i$  es la utilidad de la alternativa  $i$  (plan de cultivos  $i$ ),  $w_j$  es la ponderación del atributo  $j$  y  $r_{ij}$  es el valor del atributo  $j$  para la alternativa  $i$ .

Aunque los requerimientos matemáticos para poder asumir una función de utilidad aditiva pueden llegar a ser realmente restrictivos, Edwards (1977) y Farmer (1987) demostraron que este tipo de función de utilidad permite una aproximación muy cercana a la verdadera. El principal requerimiento es que la función de utilidad esté compuesta por atributos preferencialmente independientes unos de los otros. Con ello la utilidad generada por los atributos valorados por el decisor en las diferentes alternativas a través de una función matemática pasa a ser una función separable (Gómez-Limón, 2002).

Aunque esta formulación implica funciones de utilidad lineales para cada atributo, puede considerarse como una buena aproximación cuando los valores de los atributos no son muy diferentes. Esto ocurre dentro de un grupo relativamente homogéneo de agricultores.

Resumidamente la metodología consiste en lo siguiente.

1. Se define el conjunto de atributos que pretenden representar las verdaderas metas de los agricultores. Cada atributo se define como una función matemática de variables decisión ( $f_i$ ),  $x$  (por ejemplo, superficie de cultivo);  $f_i = f_i(x)$ . En nuestro estudio los objetivos que componen la función de utilidad son maximización de los beneficios, que se estimarán a través de los flujos de caja (FC) y minimización de la mano de obra (MO):

*Maximización del VAN.* El estimador del objetivo económico (beneficio) obtenido por el agricultor será el flujo de caja (FC). FC se obtuvo para cada cultivo como la media de los FC de las diferentes campañas ( $FC_c$ ). El cálculo de FC es más sencillo que el del beneficio porque, según Romero (1988), trabajar con flujos de caja en el contexto de la evaluación financiera de proyectos de inversión, presenta diversas ventajas:

- *no es necesario calcular ni costes de amortización de equipos e instalaciones, ni costes de interés enfocados como costes de oportunidad, porque originan pagos.*
- *al trabajar con beneficios, entre los costes se debe incluir el del interés del capital territorial o renta de la tierra. Este coste es difícil de obtener porque exige conocer el valor de la tierra y el coste de oportunidad para el empresario. Pero con los flujos de caja, la renta no origina pagos.*

*Minimización del empleo (MO).* El contacto con los agricultores nos ha hecho ver que se hallan influidos por las dificultades asociadas a contratar mano de obra, debido a la escasez del recurso con la cualificación necesaria y a su alto coste. Pero además, este atributo captura una serie de atributos como la complejidad de gestión y el tiempo de ocio del productor, también relevantes en la toma de decisiones de muchos agricultores. Por tanto, el peso atribuido a MO se corresponde en realidad a la importancia dada a un conjunto de objetivos correlacionados entre sí diferentes del beneficio. Ello hace que los regantes reduzcan, en la medida de lo posible, el número de jornales a contratar, cosa que en parte consiguen sustituyendo la tecnología de riego que solía imperar en la zona hasta no hace muchos años, la aspersión, por sistemas de riego por goteo, en aquellos cultivos en bs que es viable realizar tal inversión. Calculamos la mano de obra total en la explotación como el producto de la mano de obra ( $MO_c$ ) necesaria en una hectárea del cultivo c por el número de hectáreas que ocupa dicho cultivo.

2. El segundo paso consiste en calcular la matriz de pagos, cuya mecánica operativa consiste en optimizar cada objetivo por separado y seguidamente se calculan los valores alcanzados por los demás objetivos en cada solución óptima. En esta matriz los elementos  $f_{ij}$  representan el valor alcanzado por el objetivo de la columna 'j' cuando el objetivo de la fila 'i' es optimizado. La diagonal principal de esta matriz es el punto "ideal", definido por los óptimos obtenidos individualmente.
3. Resolveremos el siguiente sistema de q (número de objetivos) ecuaciones:

$$\sum_{j=1}^q w_j f_{ij} = f_i \quad i = 1, 2, \dots, q; \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^q w_j = 1 \quad [2]$$

donde  $q$  es el número de objetivos relevantes,  $w_j$  son las ponderaciones de cada objetivo,  $f_{ij}$  son los elementos de la matriz de pagos y  $f_i$  es el valor alcanzado por el  $i$ -ésimo objetivo de acuerdo con la distribución de cultivos observada.

4. Si el anterior sistema de ecuaciones no encuentra un conjunto solución de  $w$  (ponderaciones de los objetivos que representan el comportamiento real del agricultor), será necesario recurrir a la búsqueda de la mejor solución posible. Para cumplir este propósito, utilizaremos la programación por metas ponderadas con variables porcentuales de desviación (Romero, 1993). La solución será obtenida resolviendo el siguiente programa lineal:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=1}^q \frac{n_i + p_i}{f_i} \text{ sujeto a:} \\ & \sum_{j=1}^q w_j f_{ij} + n_i - p_i = f_i \quad i = 1, 2, \dots, q \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^q w_j = 1 \end{aligned} \quad [3]$$

Donde  $p_i$  es la variable de desviación positiva (por ejemplo, el grado de realización del  $i$ -ésimo objetivo respecto a una determinada meta), y  $n_i$  es una variable de desviación negativa que mide la diferencia entre el valor real y la solución dada por el modelo para el  $i$ -ésimo objetivo).

Dyer (1979) demostró que las ponderaciones obtenidas en [3] conforman la función de utilidad aditiva y separable:

$$U = \sum_{i=1}^q \frac{w_i}{k_i} f_i(x)$$

donde  $k_i$  es un factor de normalización (por ejemplo, la diferencia entre los valores máximo y mínimo para el objetivo 'j' en la matriz de pagos). Romero y Rehman (1989) sugerían tomar como factores normalizadores  $k_i$  las diferencias entre los valores ideales ( $f_i^*$ ) y los anti-ideales de los distintos objetivos. Proponemos por tanto la siguiente formulación de las funciones de utilidad multiatributo equivalente a la expresión anterior:

$$U = \sum_{i=1}^q w_i \frac{f_i(x)}{f_i^* - f_{ij}} \quad [4]$$

Creemos que la forma de pensar de un agricultor tiene carácter estructural por ser inherente a su forma de ser y que por tanto, las ponderaciones que forman parte de la función de utilidad que describe su comportamiento no varían en el tiempo. Es decir, lo que sí cambia en el agricultor, para adaptarse a las nuevas circunstancias que se le presenten, son sus actuaciones (y en

consecuencia, los valores de sus objetivos y por tanto la utilidad), pero sometidas a las directrices que definen su comportamiento.

Con el algoritmo propuesto obtenemos una expresión que representa las preferencias de los productores del área estudiada, los cuales, en teoría, tratan de maximizar la función de utilidad cuando toman una decisión (elección de un plan de cultivos). Dicha expresión tiene la forma:

$$U = w_1 * f_1(X) + w_2 * f_2(X) + \dots + w_q * f_q(X)$$

### **3.3. Programación Multiperiodo. Simulación de toma de decisiones a largo plazo**

Siguiendo la metodología de McCarl y Spreen, 1997 y Attwood *et al.*, 2000, determinamos el periodo total de tiempo y la fecha de comienzo de la actividad. Aunque la actividad agraria no está sujeta a una duración limitada, dada la renovabilidad de los cultivos, sí será necesario establecer un número de años máximo en los que el agricultor tome sus decisiones a largo plazo. El periodo que debe cubrir el modelo debe ser lo suficientemente largo para que no altere las variables de interés en el periodo inicial y que las inversiones en sistemas de riego, así como en nuevas plantaciones de olivar y cítricos, hayan tenido tiempo de formarse por completo y estabilizar sus rendimientos, permitiendo amortizar la inversión. La duración de dicho periodo ha quedado determinada en cuarenta años, dada la longevidad del cultivo del olivar. De considerarse periodos inferiores (de 15 ó 20 años), este cultivo no sería seleccionado por el agricultor, cuando la realidad muestra lo contrario. Por tanto, los agricultores están planificando sus decisiones de cultivo en un contexto temporal más extenso de lo que podría parecer a priori (o bien incluyen el valor final de mercado de la plantación). La fecha de comienzo de la simulación es el año 2002, año posterior al que se realizaron las encuestas en la zona de estudio.

En segundo lugar, determinamos los intervalos de tiempo dentro del periodo total. En nuestro caso, dichos intervalos serán los equivalentes a una campaña agrícola, tanto para el caso de los cultivos anuales (ya que en la zona no hay posibilidad de establecer una segunda cosecha en el mismo terreno), como para los cultivos plurianuales, debido a que estos también cubren su ciclo productivo, una vez han alcanzado la madurez, en el intervalo de una campaña agrícola. En tercer lugar, se especifican las condiciones iniciales de las variables del inventario. En nuestro modelo, se referirán a las superficies plantadas de árboles y a la superficie regada por goteo.

En cuarto lugar, hay que escoger la tasa de actualización. En la función de utilidad, al ser obtenida de un modelo multiperiodo, y simultáneamente multicriterio, la tasa de actualización se aplicará en todos los objetivos que componen la función de utilidad a optimizar, y no sólo en los

flujos de caja. La tasa de actualización utilizada en cada objetivo es la misma por razones tanto de tipo práctico como teórico. Es decir, si las tasas fuesen distintas, se producirían distorsiones en la toma de decisiones del agricultor a lo largo del tiempo porque al final del periodo la diferencia de pesos relativos hace que varíe sustancialmente el plan de cultivos hacia aquel criterio con menor factor de actualización. Además, ambos criterios pueden convertirse en conceptos de naturaleza monetaria, pues el flujo de caja se mide en unidades monetarias y la mano de obra bastaría multiplicarla por una constante como es el salario para que también pueda ser medida en unidades monetarias, sin que ello influya en la maximización de la función de utilidad.

Por último, el riesgo siempre está presente en situaciones que se desarrollan a largo plazo. Hemos optado por incluir una prima de riesgo en la tasa de actualización a aplicar en los objetivos que componen la función de utilidad (Bjornson, 1992; Amegbeto & Featherstone, 1992). La tasa escogida es la calculada por Ribal, 2003 (ver también Segura y Ribal, 2002), en donde se aplica el modelo de valoración de activos financieros CAPM (Capital Asset Pricing Model) a la estimación de tasas de actualización para valoración de fincas rústicas. Para el caso del regadío de Andalucía, donde nuestra zona de estudio se halla enclavada, la tasa de actualización obtenida en dicho estudio fue de 7,98 %. Esta tasa es la suma de la tasa libre de riesgo (3,15 % correspondiente a Bonos del Estado) y una prima de riesgo (4,83 %) calculada según Sharpe, 1994. Si bien la prima de riesgo obtenida por el mencionado estudio puede parecer alta, estamos de acuerdo con su valor al tener presente que el olivar constituye una parte muy importante de la distribución de cultivos del regadío andaluz y este cultivo lleva asociado un alto grado de riesgo por la fuerte inversión inicial que requiere y la considerable longitud del periodo improductivo.

### **3.4. El Modelo**

Para la formulación del modelo se ha utilizado el programa GAMS, versión 2.50. El solver empleado es el CPLEX, algoritmo apropiado para la programación lineal.

#### ***Variables de decisión***

$X(t,c)$  serán las superficies asignadas al cultivo  $c$  en el año  $t$ . Dentro de este conjunto existen dos subconjuntos de variables que designan a los diferentes estados de desarrollo de los cultivos leñosos plurianuales. Tales subconjuntos son  $X(t,o)$  y  $X(t,cit)$ , para designar a olivar y cítricos respectivamente.

$Z(t)$  representa a la superficie en que se realiza la inversión necesaria para instalar sistemas de riego por goteo en sustitución del sistema de aspersión existente en parte de la zona regable.

### *Función de Utilidad Multicriterio y Multiperiodo Actualizada (FUA)*

Como resultado de aplicar el modelo de decisión multicriterio estático a las cuatro tipologías de explotaciones separadamente, se obtuvieron las ponderaciones de los objetivos que toman parte en la función de utilidad, para cada una de las tipología. En la Tabla 3 se muestran tales funciones de utilidad antes de haber procedido a la normalización u homogeneización de unidades.

**Tabla 3. Funciones de utilidad de cada tipología en el corto plazo**

<i>Ponderaciones (%)</i>	$w_1$	$w_2$	$U$
<i>Cluster A</i>	99,5	0,5	99,5% FC – 0,5% MO
<i>Cluster B</i>	83,8	16,2	83,8% FC – 16,2% MO
<i>Cluster C</i>	96,3	3,8	96,3% FC – 3,8% MO
<i>Cluster D</i>	99,5	0,5	99,5% FC – 0,5% MO

**Tabla 4. Validación de las funciones de utilidad multicriterio**

	Valores observados (por ha)	Simulación modelo MDMC		Valores observados (por ha)	Simulación modelo MDMC	
		Valores simulados	% desviación		Valores simulados	% desviación
<b>Objetivos</b>	CLUSTER A			CLUSTER B		
FC (€/ha)	1.844,4	1.853,6	+0,5	915,4	1.033,6	+11,4
MO (jornales/ha)	12,9	13,1	+1,5	6,3	6,7	+5,9
<b>Variables decisión (%)</b>						
Trigo blando (TB)	0,0	0,0	0	9,2	0,0	-9,2
Trigo duro (TD)	0,0	0,00	0	43,6	43,2	-0,4
Maíz (MAI)	1,5	0,0	-1,5	7,5	12,4	+4,9
Algodón (ALG)	85,8	87,4	+1,6	20,3	21,0	+0,7
Girasol (GIR)	0,0	0,0	0	7,8	9,8	+2,0
Patatas (PAT)	7,0	7,0	0	0,4	2,3	+1,9
Olivar (OLI)	4,0	4,0	0	2,5	2,5	0
Cítricos (CIT)	1,6	1,6	0	9,2	0,0	-9,2
Retirada (RET)	0,1	0,0	-0,1	43,6	43,2	-0,4
<b>Objetivos</b>	CLUSTER C			CLUSTER D		
FC (€/ha)	1.389,6	1.433,3	+3,0	4.328,4	4.347,5	+0,4
MO (jornales/ha)	8,6	8,6	0	33,4	33,6	+1,0
<b>Variables decisión (%)</b>						
Trigo blando (TB)	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
Trigo duro (TD)	15,2	15,4	+0,2	0,0	0,0	0
Maíz (MAI)	42,6	48,3	5,7	8,3	4,7	-3,6
Algodón (ALG)	16,4	15,4	-1,0	1,0	4,7	+3,7
Girasol (GIR)	4,2	0,0	-4,2	0,0	0,0	0
Patatas (PAT)	11,2	11,2	0	1,0	1,0	0
Olivar (OLI)	0,2	0,2	0	59,2	59,2	0
Cítricos (CIT)	3,1	3,1	0	29,9	29,9	0
Retirada (RET)	7,1	6,4	-0,7	0,6	0,5	-0,1

Para validar las funciones de utilidad multiatributo de cada cluster, se procedió a comparar la toma de decisiones simulada por los modelos con la mostrada en las encuestas en el año 2001 (ver Tabla 4). La desviación de los valores simulados respecto a los observados son lo suficientemente pequeños como para aceptar las funciones de utilidad.

Comprobado el correcto reparto de pesos de las funciones de utilidad, pasamos a utilizar dichas funciones en el largo plazo. La función de utilidad normalizada a optimizar, indicada en [4], tras ser actualizada para su uso en el modelo a largo plazo queda, por tanto, así:

$$\text{Max. FUA} = w_1 * \text{VAN} / (f_{\text{VAN}^*} - f_{\text{VAN},\text{MOP}}) - w_2 * \text{MOP} / (f_{\text{MOP},\text{VAN}} - f_{\text{MOP}^*}) \quad [5]$$

Calculándose VAN y MOP (por hectárea) de esta manera:

$$\text{VAN} = \sum_t \sum_c \left( \frac{x(t,c) * FC(t,c) - z(t) * 1.500}{(1+r)^{t-1}} \right) \quad [6]$$

$$\text{MOP} = \sum_t \sum_c \left( \frac{x(t,c) * MO(t,c)}{(1+r)^{t-1}} \right) \quad [7]$$

Donde:

$f_{\text{VAN}^*}$  y  $f_{\text{MOP}^*}$  son los valores ideales de VAN y MOP

$f_{\text{VAN},\text{MOP}}$  y  $f_{\text{MOP},\text{VAN}}$  son los valores anti-ideales de VAN y MOP

$r$  es la tasa de actualización, incluida una prima de riesgo

$t$  varía de 1 a 40 años,

$c$  es el subíndice referido a los cultivos

$FC(t,c)$  son los flujos de caja anuales unitarios o por hectárea

$z(t)$  es la nueva superficie en la que se instala riego por goteo en detrimento de la superficie regada por aspersión. Aparece multiplicada por 1.500 € porque ese es el coste medio de transformar una hectárea de tierra regada por aspersión a ser regada por goteo.

$MO(t,c)$  son las cantidades de mano de obra por hectárea requeridas.

### ***Restricciones del modelo***

Lógicamente, la optimización de los objetivos está sujeta a una serie de restricciones que representan el contexto real en el que vive el agricultor. Algunas diferirán ligeramente según la tipología, pero en general, el cuerpo de restricciones es el siguiente.

- a. *Utilización de la superficie total.* La superficie se iguala a cien hectáreas con el fin de obtener superficies de cultivo porcentuales.

- b. *Limitaciones de la Política Agraria Comunitaria (PAC)*: según la PAC, la superficie de retirada será como mínimo un 10 % y como máximo, un 20 % (retirada voluntaria) de la superficie cultivada con cultivos COP (cereales, oleaginosas y proteaginosas). También existe un cupo para la superficie de trigo duro y se ha utilizado como límite superior la superficie máxima observada en la comunidad en una serie histórica (campañas 1992/93 a 2000/01). Con la superficie de algodón se procede igual porque existe un cupo para este cultivo.
- c. *Rotaciones de cultivos*: Se ha restringido la superficie de cada cultivo anual extensivo a un 50% del área total (tras serle restada la superficie arbolada), como máximo, para evitar que se siembre una especie sobre sí misma el año siguiente. También se han creado restricciones que describan la secuencia de cultivos practicada por los agricultores en la forma en que ellos nos explicaron.
- d. *Limitaciones de mercado para hortalizas*: en cultivos como las hortalizas, los canales de comercialización pueden representar una limitación, y una sobreproducción deriva en una inmediata caída de precios, ya que no se encuentran protegidos por ninguna medida política. Por eso su superficie varía poco y se ha limitado la superficie máxima.

Además de las restricciones descritas, ya utilizadas en el modelo estático, en el modelo a largo plazo se han añadido otra serie de restricciones necesarias para caracterizar el modelo multiperiodo:

- e. *Restricción financiera*: se ha impuesto que, como mínimo, cada año se obtenga el beneficio que proporcionaría la tierra en caso de hallarse arrendada (396,5 €/ha en Fuente Palmera).
- f. *Restricción hídrica*: como máximo, el consumo anual no podrá superar la concesión hídrica teórica de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir a esta zona regable: 5.000 m<sup>3</sup>/ha.
- g. *Condiciones iniciales de inventario*: obligan a que las superficies arboladas, así como el número de hectáreas ya implantadas con riego por goteo, iniciales sean iguales a las ya existentes.
- h. *Restricciones del estado de desarrollo*: ligan el estado de desarrollo de un cultivo plurianual al final de un periodo con el estado de desarrollo inicial para el periodo siguiente, de manera que se parta de la situación final del periodo anterior para afrontar la nueva campaña.
- i. *Restricción de la tecnología de riego*: permite incrementar la superficie de goteo a costa de reducir la de aspersión. Lógicamente la implantación de nueva superficie regada por goteo repercute en los costes de la explotación y por tanto en el cálculo del VAN. Es acumulativa.

El conjunto de restricciones del modelo aparece formulado en el Anexo 1.

### ***Atributos : Indicadores socioeconómicos y ambientales***

Hemos seleccionado diez indicadores cuyos valores dependen de la distribución de cultivos simulada por el modelo y que nos informarán del impacto derivado de aplicar distintos escenarios en la zona de estudio. Su forma de cálculo procede de OCDE (2001):

- renta del agricultor (€/ha),
- nivel total de ingresos de la explotación (€/ha),
- apoyo público, procedente de las ayudas directas por superficie y de las ayudas a la producción en algodón, cítricos y olivar (éstos últimos cuando son plantaciones anteriores a 1998) (€/ha),
- empleo directo generado por la actividad del regadío (jornales/ha),
- índice de toxicidad derivado del uso de pesticidas (Kg de organismos muertos por pesticida/Kg de materia activa). Calculado en base a la cantidad de pesticida aplicado, concentración y DL50,
- balance de nitrógeno (Kg de N/ha). Calculado como entradas de N a través de la fertilización menos salidas o extracciones de N por el cultivo),
- consumo de agua (m<sup>3</sup>/ha),
- balance de energía (kcal/ha). Exportaciones menos importaciones de energía en el sistema,
- diversidad genética (número de cultivos que componen la distribución de cultivos), y
- cobertura del suelo (% de tiempo que la superficie se halla cubierta por el cultivo, una vez desarrollado).

## **4. DESCRIPCIÓN DE UN ESCENARIO DE APLICACIÓN**

El modelo diseñado permite simular la distribución de cultivos en un plazo de tiempo de 40 años, plazo suficiente para permitir la viabilidad de una plantación de olivar y evitar los problemas de periodos ‘transitorios’ y de ‘frontera’. No obstante mostraremos la simulación de la evolución de los cultivos y de diferentes indicadores para un plazo de tiempo menos lejano: el año 2010. Ello se hará bajo dos diferentes contextos normativos, el actual (Agenda 2000 y precios cero para el agua de riego) y otro alternativo que persiga la sostenibilidad global de la agricultura.

El escenario alternativo se construye en base a un argumento cualitativo más un conjunto de indicadores cuantitativos que pueden proceder de cambios en el plano económico y/o social, de avances científicos y técnicos, de variaciones en los objetivos de política, a consecuencia de eventos inesperados, etc.

En una revisión del futuro propuesta por el *Foresight Programme* (Berkhout *et al.*, 1998; DTI, 1999), se identifican cuatro posibles escenarios de la dirección que tomará la política agraria europea, tomando como punto de partida el escenario actual (Agenda 2000). El punto de partida tomado es el régimen de intervención existente en 2000/2001 y se utiliza como referencia para definir los escenarios de futuro, extrapolándose al año 2010, una vez incluidas las predicciones sobre los precios de inputs/outputs y sobre mercados agrícolas, procedentes de la UE, OCDE y otras fuentes. No vamos a entrar aquí en la construcción de tales escenarios de futuro, si no que hemos elegido uno de ellos por ser el que más se acerca a los propósitos de la OMC y le aplicamos nuestro modelo para simular sus consecuencias en el futuro, como ejemplo de la utilidad del modelo diseñado en este trabajo. El escenario elegido, Sostenibilidad Global, enfatiza en la protección medioambiental. En la Tabla 5 se describe cuantitativamente.

**Tabla 5. Descripción Cuantitativa de Escenarios SQ y SG (precios estimados para el 2010, estimados como % de lo existente en el año 2001)**

	Status quo (2001)	Sostenibilidad Global	Status quo (2001)	Sostenibilidad Global		Status quo (2001)	Sostenibilidad Global
	Precios de outputs		Subsidios agrícolas			Precios de Inputs	
Trigo blando	100	95	100	95	Fertilizantes	100	135
Trigo duro	100	95	100	95	Pesticidas	100	140
Girasol	100	90	100	100	Energía	100	145
Maíz	100	100	100	80	Semillas	100	102,5
Cítricos	100	100	100	95	Maquinaria	100	125
Algodón	100	95	100	85	Servicios	100	115
Olivar	100	90	100	95	Agua a pie de parcela	100	140
Patatas	100	100	-	-	Infraestructura del regadío	100	125
Retirada	-	-	100	100	Mano de obra	100	132,5
	<b>Status quo (2001)</b>		<b>Sostenibilidad Global</b>				
	<b>Cuota de retirada</b>						
	100		95				
	<b>Rendimientos</b>						
	100		117,5				
	<b>Uso de Agroquímicos</b>						
	100		70				

Fuente: Elaboración propia

### ***Escenario Status quo o contexto actual***

Actualmente la zona de estudio se halla sujeta a las normas de la Agenda 2000 de la UE y aún no se ha impuesto al regante la obligación de pagar por el recurso agua. En este escenario realizamos una previsión de la evolución de la planificación de cultivos y una serie de indicadores socioeconómicos y ambientales para el año 2010.

## ***Escenario Sostenibilidad Global de la Agricultura + DMA***

Hacemos una breve descripción de este escenario, pero al lector interesado en los detalles se le remite a Berkhout *et al.*, 1998; DTI, 1999, como fuentes originarias<sup>1</sup>. Se caracteriza por un énfasis en los valores sociales y ecológicos, como requiere la OMC. Por tanto son importantes los criterios de calidad y seguridad alimentaria por parte de los consumidores. Este escenario puede implicar una cierta bajada de producción por dedicar parte de las tierras a la conservación de la Naturaleza, al tiempo que la productividad se vería incrementada gracias a la adopción de tecnologías más eficientes y a la producción en parcelas más pequeñas. Se imponen las tasas mediambientales para restringir el uso de agroquímicos y promover un uso eficiente de la energía. En cuanto a la mano de obra, su disponibilidad local tiende a disminuir, compensándose con el incremento de la disponibilidad extranjera. La Ley tiende a proteger los derechos de los trabajadores por lo que los salarios se ven incrementados.

Este nuevo contexto ha obligado a añadir/modificar las restricciones del modelo para, por ejemplo, restringir el uso de agroquímicos un 30% por debajo del uso actual o para introducir un pago extra por el agua equivalente a 3 céntimos de euro/m<sup>3</sup>, que se ha calculado tras incrementar en un 40% el coste variable del riego (ver Tabla 5). Ello lógicamente afectará al cálculo del VAN de cada uno de los cultivos, etc. Conviene comentar, como puede verse en el cuerpo de restricciones del modelo, que para dar mayor flexibilidad al modelo, se incluyen como variables de decisión los cultivos de secano (trigo, girasol y olivar).

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Utilizando las ecuaciones [5] a [7] para calcular el óptimo de la Función de Utilidad Actualizada, estando sujeta al cuerpo de restricciones descrito (ver Anexo 1 para escenario Status Quo), obtenemos un plan de cultivos eficiente a lo largo del periodo 2002-2010 para cada cluster, que se resume así:

A nivel de cluster, los cambios ocurridos en el periodo estudiado en el escenario actual para el año 2010 son: el cluster especializado en algodón continuará siéndolo (ocupando el 45% de la superficie del cluster, con tendencia a seguir disminuyendo), pero cediendo un 38% del terreno a los cítricos. El cluster especializado en trigo disminuye fuertemente la participación de los herbáceos para plantar olivar en hasta un 59% de la superficie. En cuanto al cluster de maiceros, pasa a convertirse en el de citricultores, llegando a dedicar un 58% de la superficie a cítricos, y

---

<sup>1</sup> En [www.uco.es/grupos/wadi/wadi.pdf](http://www.uco.es/grupos/wadi/wadi.pdf) puede encontrarse una descripción basada en las mencionadas fuentes originales, de este escenario y otros.

sigue concentrando a la mayoría de los horticultores. El cluster donde en el 2001 predominaba el olivar (60%) y los cítricos (30%), incrementa aún más la superficie dedicada a estos últimos.

En el Escenario SG, a nivel de cluster, los cambios serían: el cluster especializado en algodón continuará siéndolo (estabilizado en el 58% de la superficie), pero cediendo un 35% del terreno al olivar. El cluster especializado en trigo deja de cultivarlo para plantar olivar y el cluster de especialistas en olivar, transforma el 30% de cítricos existente en olivar. En cuanto al cluster de maiceros, se reconvierten a citricultores, llegando a dedicar un 55% de la superficie a cítricos, y sigue concentrando a la mayoría de los horticultores.

Además se obtiene valiosa información procedente de indicadores socioeconómicos y ambientales, que se resume en la Tabla 6, para cada uno de los cuatro cluster de la zona regable. (Esta información se halla detallada en Anexos 2 y 3).

**Tabla 6: Variaciones en indicadores socioeconómicos y ambientales, por cluster**

Indicadores		Variación porcentual (2010 - 2001)							
		Status quo				Sostenibilidad Global			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Socio-económicos	Renta	-7,6	+43	+33,5	-1,3	+6,6	+35	+15,8	-11,2
	Subsidios	-19,6	-36,4	+28,2	+7,8	-31,5	-7,4	+36,5	-28,3
	Empleo	+39,5	+42,8	+74,0	+13,9	+12,2	+56,2	+69,1	-43,4
Medioambientales	Agua	-5,5	+17,7	+8,8	+1,2	-20,2	+16,9	+0,7	-40,8
	Toxicidad	-34,8	-1,1	+2,7	-23,9	-30,0	+1,6	-47,6	-36,3
	N lixiviado	+5,6	-6,2	-6,3	-4,0	-4,3	-16,4	-25,1	-9,4
	Diversidad	-20,0	-14,2	-14,2	-40	-40	0,0	-28,5	0,0
	Cobertura	+26,7	+40,8	+48,8	+5,3	+20,2	+41	+43,2	-1,0

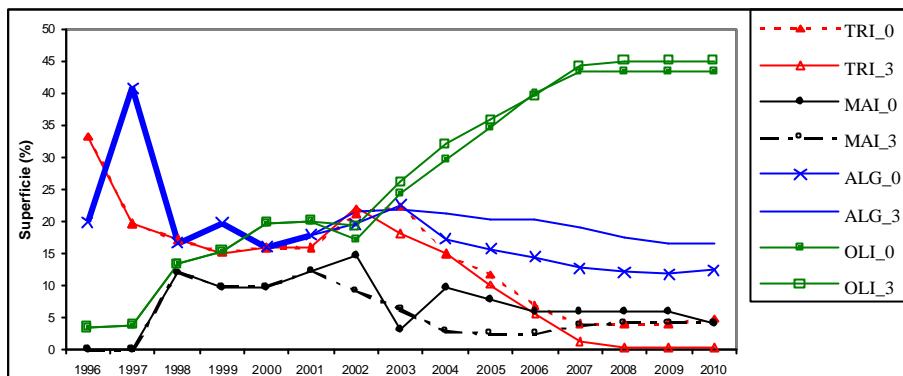
Fuente: Elaboración propia

### 5.1. Evolución de la Planificación de Cultivos Agregada

Una vez se obtuvieron las futuras planificaciones de cultivos para cada cluster o grupo homogéneo de agricultores, se procedió a su agregación con el fin de obtener resultados globales a nivel de la zona regable. En las Figuras 1 y 2 se muestran la evolución de los cultivos de la zona, a nivel agregado, para cada uno de los escenarios analizados. Desde 1996 a 2001 son datos tomados de la realidad, pero a partir del 2002 y hasta el 2010, son datos de la simulación. Se observa que las curvas correspondientes a un mismo cultivo, por ejemplo ALG\_0 y ALG\_3 coinciden hasta el año 2001, pero luego divergen dependiendo del escenario que estemos observando. Los subíndices 0 y 3 adjuntos a cada cultivo hacen referencia al escenario al que pertenecen (0 = Status quo, 3 = Sostenibilidad Global).

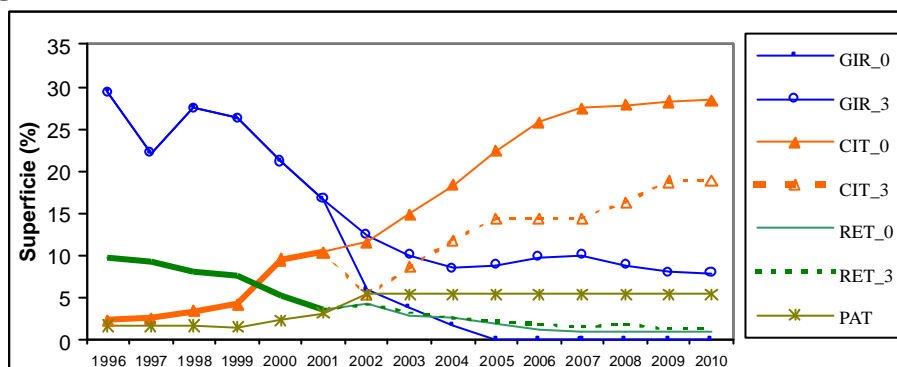
Lo más destacado a comentar es el crecimiento de la superficie de olivar, cítricos y, en menor medida, de hortalizas, en ambos escenarios, en detrimento de cultivos tradicionales de la zona, principalmente girasol y trigo.

**Figura 1. Evolución de cultivos (1) en Fuente Palmera. Horizonte 2010**



Fuente: Elaboración propia

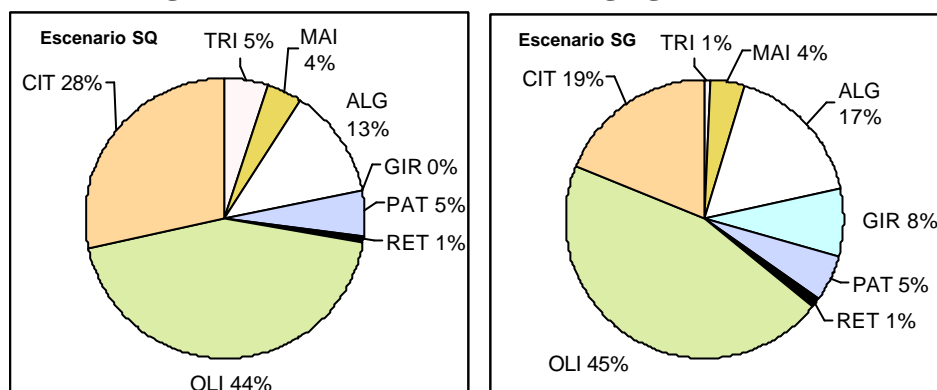
**Figura 2. Evolución de cultivos (2) en Fuente Palmera. Horizonte 2010**



Fuente: Elaboración propia

Las diferencias significativas entre ambos escenarios son que a lo largo de la serie de años analizada, en el escenario SG, el algodón mantiene una representación similar a la que ha tenido en el pasado, frente a un descenso de dicha participación en el escenario actual, y ello ocurre tanto a nivel agregado como en cada uno de los cluster que integran la zona regable en los que hay presencia de este cultivo. El girasol tenderá a disminuir su participación de forma importante en el escenario SG, pero se mantiene en torno al 9%, mientras que en el escenario SQ desaparecería por completo. En el otro extremo se sitúan el trigo y los cítricos. El trigo retrocederá significativamente en el futuro, pero mantendría una representación en torno al 5% si se continuara en el actual contexto, y desaparecería por completo sin embargo, en el escenario alternativo. Los cítricos tienden a aumentar en ambos escenarios, pero de forma más pausada en el escenario SG. El olivar intensivo es el cultivo estrella de cara al futuro y tiene un crecimiento paralelo en ambos contextos, aunque ligeramente mayor en el escenario SG. La superficie de hortalizas, representada por la patata, también crece de forma paralela en ambos contextos.

**Figura 3. Distribución de cultivos agregada en 2010**



Fuente: Elaboración propia

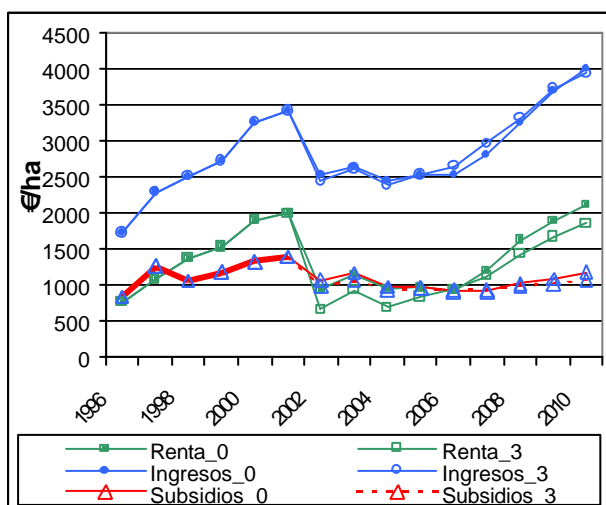
## 5.2. Evolución de los Indicadores Agregados

A partir de las futuras planificaciones de cultivos en cada cluster y escenario (ver Anexos 2 y 3), se obtuvo información acerca de la evolución de los indicadores, que una vez agregada para la zona regable, exponemos en las Figuras 4 a 6. A través de dichas figuras podremos deducir el futuro impacto socioeconómico y ambiental en la zona regable en cada escenario.

- *Indicadores socioeconómicos*

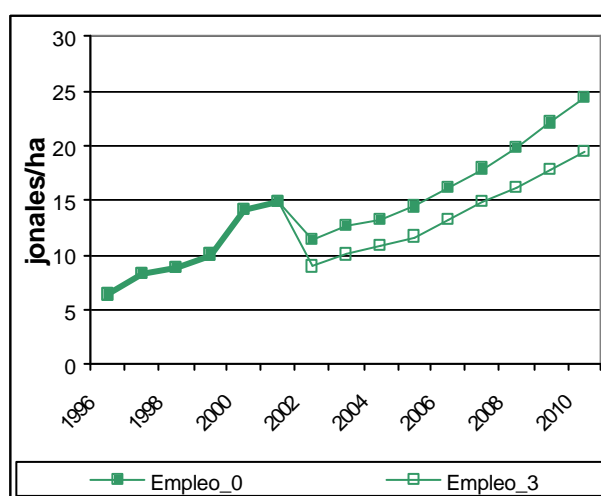
Las Figuras 4 y 5 muestran la evolución de los indicadores socioeconómicos, a nivel agregado, (ingresos totales de la explotación, renta del agricultor y nivel de subsidios recibidos por el agricultor, la primera; y nivel de empleo la segunda), para la zona regable en cada uno de los escenarios analizados. Los subíndices 0 y 3 adjuntos a cada indicador hacen referencia al escenario al que pertenecen (0 = Status quo, 3 = Sostenibilidad Global).

**Figura 4. Evolución de indicadores económicos**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5. Evolución del empleo directo**



Fuente: Elaboración propia

Se percibe un descenso de la renta del agricultor en el escenario SG con respecto al contexto actual a lo largo de todo el periodo, como consecuencia del descenso en los precios y subsidios en la mayoría de los cultivos y el simultáneo aumento de los precios de inputs. No obstante, en ambos escenarios la renta evoluciona al alza, situándose al final del periodo a unos niveles muy superiores respecto al comienzo, una vez que los regantes se han repuesto del esfuerzo inversor en cultivos perennes (olivar y cítricos) y en nueva superficie regada por goteo.

Se puede observar que las curvas de nivel de ingresos y de subsidios (derivado tanto de pagos por superficie como de ayudas a la producción) son muy similares en ambos escenarios, aunque ligeramente inferiores en el escenario de Sostenibilidad Global. Mientras que la renta del agricultor y los ingresos de la explotación evolucionan al alza en ambos escenarios a lo largo del tiempo, vemos que el nivel de subsidios no crece apenas en el periodo analizado. Es necesario aclarar que el nuevo olivar plantado no recibe subvención alguna, pues sólo la recibe el olivar plantado anteriormente a 1998 (15,5% de la superficie de la zona regable, hasta el año 2001).

En cuanto al nivel de empleo, este tiende a aumentar en ambos escenarios, pero de forma más acusado en el escenario SQ, debido a la mayor superficie de frutales.

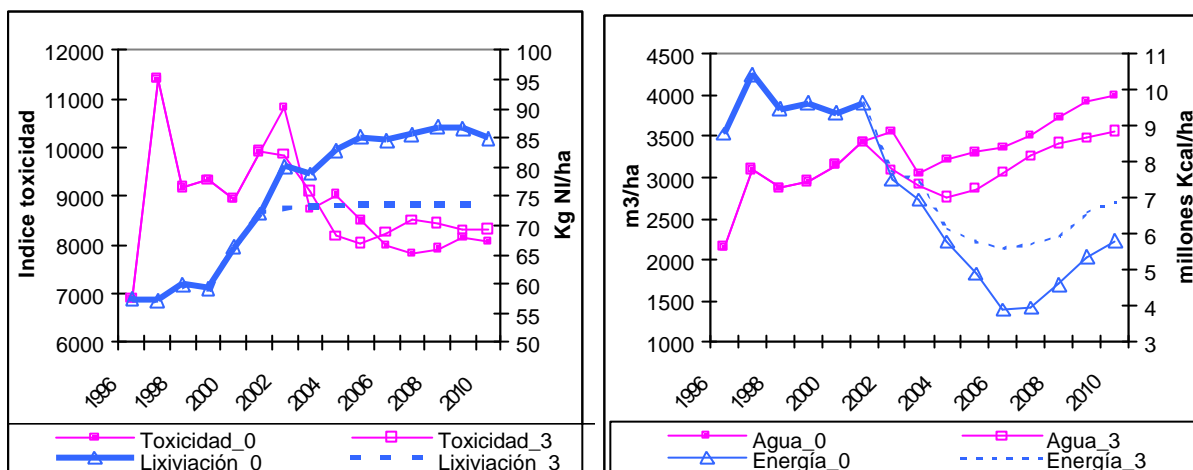
- *Indicadores ambientales*

La Figura 6 muestra la evolución de cuatro indicadores ambientales, a nivel agregado (nivel de toxicidad derivada de los pesticidas y de nitrógeno susceptible de lixiviarse en el suelo, en la primera; y consumo de agua y balance de energía en la segunda), para la zona regable en cada uno de los escenarios analizados. Se puede observar que el nitrógeno sobrante en el suelo desciende significativamente de aplicarse el escenario SG, fruto del reajuste en la planificación de cultivos para adaptarse a las restricciones impuestas al uso de fertilizantes en este escenario. En cambio, de continuar en el escenario SQ es previsible un aumento progresivo de la lixiviación. En cuanto al uso de pesticidas, en ambos escenarios se produciría un descenso debido a la predominancia del olivar, cultivo que requiere menos productos fitosanitarios.

El consumo hídrico mantiene un nivel similar al de años anteriores al 2002 cuando la simulación se hace en el escenario SG, pero se incrementaría en torno a unos 500 m<sup>3</sup>/ha más si se continuara en el escenario actual. En cuanto al balance energético, las curvas para ambos escenarios muestran al escenario alternativo como el que obtiene un nivel de exportaciones de energía superior.

Por último, debemos hacer un breve comentario acerca de cómo afectan estas planificaciones de cultivo al paisaje del futuro de la zona. En ambos escenarios simulados la diversidad genética disminuye porque se pierde la presencia de algún cultivo herbáceo, pero más importante que el número de cultivos es la disminución de la participación de la mayoría de los cultivos anuales a favor del predominio de los cultivos perennes, lo cual empobrece de forma considerable la diversidad y el paisaje, pues se tiende al monocultivo. A cambio, podría considerarse como positivo el hecho de que la cobertura del suelo aumentara notablemente a lo largo de todo el año.

Figura 6. Evolución de indicadores ambientales



Fuente: Elaboración propia

## 6. CONCLUSIÓN

El objetivo de este estudio ha sido investigar la influencia que tendría un posible escenario de reforma de la PAC dirigida a las mejoras ambiental y social, y al acercamiento de los propósitos de la Organización Mundial de Comercio. El cambio normativo propuesto incluye, de acuerdo a la DMA, una propuesta de precio del agua según consumo (equivalente a 3 céntimos de €/m<sup>3</sup>), mayores restricciones al uso de agroquímicos y mejora salarial. Además, con el fin de evitar las distorsiones de los precios existentes en el mercado mundial, incluimos una disminución de los subsidios agrícolas, unida a un descenso de los precios de los productos agrícolas y a un ascenso en el de todos los factores de producción.

El modelo creado nos permite simular las consecuencias de situar la zona de estudio en el horizonte 2010 en dos contextos normativos, el actual y un posible contexto que persigue una *agricultura más sostenible*. De los resultados se desprende como conclusión principal, que con la aplicación de este último escenario, el crecimiento socioeconómico de la zona sería más lento, pero éste se distribuiría de una forma más equitativa y cercana a las pretensiones de la OMC, a la vez que se reducirían los impactos ambientales negativos en relación al actual escenario, ya que

se ahorraría en el consumo de agua respecto al escenario actual, se correría menos riesgos de lixiviación de nitrógeno en el suelo y el porcentaje de cobertura del suelo aumentaría. Estos efectos positivos son a su vez sinérgicos. Por ejemplo, las restricciones en el uso de agroquímicos provocarían una mejora en la calidad del agua y por tanto de los alimentos; o la imposición de una política de gestión de la demanda de agua promovería un uso más eficiente de la misma y en consecuencia, disminuiría la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro hídrico.

El estudio a largo plazo realizado señala como evidente que se tiende a un fuerte incremento en la producción de aceite y de frutas, en ambos escenarios analizados. Si esto ocurriera de forma simultánea en otras zonas de la cuenca, quizás convendría controlar estas producciones, bien vía limitación del crecimiento de la superficie de árboles o bien limitando su producción, para evitar la caída de precios. Dicha caída es muy difícil de cuantificar porque en los últimos años se observa que los mercados de aceite y de cítricos han ido absorbiendo la creciente producción de las nuevas plantaciones, sin un quebranto grave de los precios.

Por último, queremos apuntar que la programación multicriterio y multiperiodo es adecuada para diseñar herramientas que permitan conocer las repercusiones de un cambio de contexto normativo en el futuro. Si bien es cierto que un estudio para un horizonte temporal muy lejano podría ser realizado con programación estática (mucho más simple), porque la planificación de cultivos tiende a estacionarse, el horizonte temporal 2010 (o incluso el 2015, año en que la DMA debe haber cumplido sus objetivos) no es lo suficientemente lejano como para que las plantaciones de árboles se hayan estabilizado. Además, la programación multiperiodo permite conocer la evolución año a año de las variables de decisión así como de cada indicador analizado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AMADOR, F; SUMPSI, J M y ROMERO, C (1998): "A non-interactive methodology to assess farmers' utility functions: An application to large farms in Andalusia, Spain". *European Review of Agricultural Economics*, 25(1): 92-109.
- AMEGBETO, KN y FEATHERSTONE, AM (1992): "Risk cost and the choice of market return index". *Journal of Agricultural and Resources Economics*, 17 (1): 80-87.
- ATTWOOD, JD; MCCARL, B; CHEN CC; EDDLEMAN, BR; NAYDA, B y SRINIVASAN, R (2000): "Assessing regional impacts of change: linking economic and environmental models". *Agricultural Systems*, 63 (3): 147-159
- BALLESTERO, E. y ROMERO, C. (1998): *Múltiple criteria decision making and its application to economic problems*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 160 pp.
- BJORNSON, B. (1992): "Risk and return in agriculture: evidence from explicit-factor arbitrage". *Journal of agricultural and resource economics*, 17(2): pp. 232-252.

- BERBEL, J. y RODRÍGUEZ, A. (1998): “An MCDM approach to production analysis: an application to irrigated farms in Southern Spain”. *European Journal of Operational Research*, 107: pp 108-118.
- BERKHOUT, F; EAMES, M y SKEA, J (1998): *Environmental Futures Scoping Study*. Final Report. Science and Technology Policy Research Unit: Brighton University.
- CAÑAS MADUEÑO, J.A.; LÓPEZ BALDOVÍN, M.J. y GÓMEZ-LIMÓN, J.A: (2000): “Obtención de la curva de demanda de agua de riego generada por una hipotética política de tarifas sobre el agua”. *Revista de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 188: pp 67-92.
- DTI (1999): *Environmental Futures*. PB 4475 Department of Trade and Industry. <http://www.foresight.gov.uk/>
- DYER, JS y SARIN, RK (1979): “Measurable Multiattribute Value Functions”. *Operations Research*. 27 (4): 810-822.
- EDWARDS, W. (1977): *Use of Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making*, en D.E. Bell, R.L. Keeney y H. Raiffa (eds.): *Decisions*. John Wiley & Sons, Chichester.
- FARMER, P.C. (1987): “Testing the Robustness of Multiattribute Utility Theory in an applied setting”. *Decision Sciences*. 18: pp 178-193.
- GASSON, R. (1973): “Goals and values of farmers”. *Journal of Agricultural Economics*, 24: pp 521-537.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2002): “La Reforma de la PAC y la aplicación de la Directiva Marco de Agua: repercusiones sobre la agricultura de regadío”. *Revista Estudios de Economía Aplicada*, 20(1): pp 155-195.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y BERBEL, J. (2000): “Multicriteria Analysis of derived water demand functions: a Spanish case study”. *Agricultural Systems*, 63: pp 49-71.
- LÓPEZ, M.J. y BERBEL, J. (2002): *Una revisión de metodologías de estimación de la demanda de agua de riego*. Ponencia presentada en III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del agua, Noviembre 2002.
- MCCARL, B. y SPREEN, T. (1997): *Applied mathematical programming using algebraic systems*. Texas A. & M. University. <http://agecon.tamu.edu/faculty/mccarl/mccarl.htm>
- OCDE (2001): *Environmental indicators for agriculture*. Volume 3 – Methods and results, París.
- ROMERO, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial, Madrid.
- REHMAN, T. y ROMERO, C. (1993): “The application of the MCDM Paradigm to the Management of Agricultural System: some basic considerations”. *Agricultural Systems*, 41: pp 239-255.
- RIBAL J. (2003): *Fondos de inversión inmobiliaria. Una aplicación a las tierras de uso agrario*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- ROMERO, C. Y REHMAN, T. (1989): *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decision*. Elsevier. Amsterdam.
- ROMERO, C. (1988): *Normas prácticas para la evaluación financiera de proyectos de inversión en el sector agrario*. Ed. Mundi-Prensa Libros, S.A. Madrid.
- SEGURA, B. y RIBAL, F.J.(2002): *Estimación de tasas de actualización mediante el CAPM para la valoración analítica de fincas rústicas en España*. Ponencia presentada en I Congreso Internacional de Valoración y Tasación. Valencia <http://www.euroval.com/euroval/paginas/noticias/congreso.html>
- SHARPE, W.F. (1994): “Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk”. *Journal of Finance*, 19: 425-442.
- SUMPSI, J.M.; AMADOR, F. y ROMERO, C. (1997): “On farmers’ objectives: a multi-criteria approach”. *European Journal of Operational Research*, 96(1): pp 9-16.

### ANEXO 1. Restricciones del modelo multiperiodo y multicriterio

$\sum_c x(t,c) = 100$	$\forall t$	tierra
$\sum_c (x(t,c) * FC(t,c) - z(t) * 1500) \geq 100 * 396,5$	$\forall t$	financiera
$x(t,RET) \geq 10\% * (x(t,TD)+x(t,TB)+x(t,TD\_sec)+x(t,TB\_sec) +x(t,GIR)+ x(t,GIR\_sec) +x(t,MAI)$	$\forall t$	política agraria
$x(t,RET) \leq 20\% * (x(t,TD)+x(t,TB)+x(t,TD\_sec) +x(t,TB\_sec) +x(t,GIR)+ x(t,GIR\_sec) +x(t,MAI)$		
$x(t,TD)+x(t,TD\_sec) \leq 33$	$\forall t$	
$x(t,ALG) \leq 21$	$\forall t$	
$x(t,GIR)+x(t,GIR\_sec) \leq \frac{50}{100} * \left( 100 - \sum_o x(t,o) - \sum_{cit} x(t,cit) \right)$	$\forall t$ o y cit son subconjuntos olivar y cítricos	sucesión tipo 1
$x(t,ALG) \leq \frac{50}{100} * \left( 100 - \sum_o x(t,o) - \sum_{cit} x(t,cit) \right)$		
$x(t,MAI) \leq \frac{50}{100} * \left( 100 - \sum_o x(t,o) - \sum_{cit} x(t,cit) \right)$		
$x(t,TD)+x(t,TB)+x(t,TD\_sec)+x(t,TB\_sec) \leq \frac{50}{100} * \left( 100 - \sum_o x(t,o) - \sum_{cit} x(t,cit) \right)$		
$x(t,ALG) \leq x(t,TD)+x(t,TB)+ x(t,GIR)+ x(t,MAI)$	$\forall t$	sucesión tipo 2
$x(t,TD)+x(t,TB) \leq x(t,GIR)+ x(t,MAI)$		
$x(t,MAI) \leq x(t,TD)+x(t,TB)+ x(t,GIR)$		
$x(t,GIR) \leq x(t,TD)+x(t,TB)+ x(t,MAI)$		
$x(t,PAT) \leq \text{Max\_PAT}$ (según cluster)	$\forall t$	mercado
$x(t,OLI\_inicial)+X(t,OLI\_inicial\_sec) = \text{n}^\circ \text{ de ha. de olivar establecido}$ (según cluster)	$\forall t$	condiciones iniciales de inventario relativas a las superficies iniciales de árboles
$x(t,CIT\_inicial) = \text{n}^\circ \text{ de ha. de cítricos establecidos}$ (según cluster)		
$\text{Agua}(t) \leq 5000$	$\forall t$	restricción hídrica
$\text{nuevo\_goteo}(t) = z(t) + \text{nuevo\_goteo}(t-1)$	$\forall t$	tecnología de riego
$x(t,ALG)+x(t,MAI)+x(t,PAT) \leq \text{ha goteo inicial} + \text{nuevo\_goteo}(t)$		
$X(t,o) = X(t-1,o)$	$\forall t$	estado de desarrollo
$X(t,cit) = X(t-1,cit)$		

**ANEXO 2: Status quo: Agenda 2000 + agua gratis**

**PLANIFICACIÓN DE CULTIVOS**

Año	TB	TD	MAI	ALG	GIR	PAT	RET	TDS	TBS	GS	OLI	OS	CIT
<b>CONGLOMERADO A: ORIENTACION ALGODON</b>													
02	0	0	0	78,1	0	7	0	0	0	0	4	0	10,9
03	0	0	0	76,9	0	7	0	0	0	0	4	0	12,1
04	0	0	0	75,4	0	7	0	0	0	0	4	0	13,6
05	0	0	0	65,1	0	7	0	0	0	0	4,3	0	23,6
06	0	0	0	62,3	0	7	0	0	0	0	4,3	0	26,4
07	0	0	0	60,2	0	7	0	0	0	0	6,5	0	26,4
08	0	0	0	51,0	0	7	0	0	0	0	9,8	0	32,2
09	0	0	0	46,9	0	7	0	0	0	0	9,8	0	36,2
10	0	0	0	45,0	0	7	0	0	0	0	9,8	0	38,2
<b>CONGLOMERADO B: ORIENTACIÓN TRIGO</b>													
02	0	38,6	4,9	21	12,7	2,3	5,6	0	0	0	12,5	0	2,3
03	0	34,1	4,9	21	8,2	2,3	4,7	0	0	0	22,5	0	2,3
04	0	29,6	4,9	21	3,7	2,3	3,8	0	0	0	32,5	0	2,3
05	0	24,1	4,9	21	0	2,3	2,9	0	0	0	42,5	0	2,3
06	0	15,0	5,5	20,4	0	2,3	2,0	0	0	0	52,5	0	2,3
07	0	8,6	8,6	17,3	0	2,3	1,7	0	0	0	59,1	0	2,3
08	0	8,6	8,6	17,3	0	2,3	1,7	0	0	0	59,1	0	2,3
09	0	8,6	8,6	17,3	0	2,3	1,7	0	0	0	59,1	0	2,3
10	0	8,6	8,6	17,3	0	2,3	1,7	0	0	0	59,1	0	2,3
<b>CONGLOMERADO C: ORIENTACIÓN MAIZ</b>													
02	0	11,1	38,4	11,1	0	11,2	5,0	0	0	0	10,2	0	13,1
03	0	21,0	3,3	21,0	0	11,2	2,4	0	0	0	18,0	0	23,1
04	0	4,6	23,3	4,6	0	11,2	2,8	0	0	0	20,4	0	33,1
05	0	2,3	17,8	2,3	0	11,2	2,0	0	0	0	21,3	0	43,1
06	0	0	10,9	0	0	11,2	1,1	0	0	0	23,8	0	53,1
07	0	0	6,0	0	0	11,2	0,6	0	0	0	24,1	0	58,0
08	0	0	6,0	0	0	11,2	0,6	0	0	0	24,1	0	58,0
09	0	0	6,0	0	0	11,2	0,6	0	0	0	24,1	0	58,0
10	0	2,9	0,6	2,9	0	11,2	0,3	0	0	0	24,1	0	58,0
<b>CONGLOMERADO D: ORIENTACIÓN FRUTICULTURA</b>													
02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
03	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
04	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
05	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
07	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
08	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
09	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	59,2	0	39,8

TD: Trigo duro, TB: Trigo blando, MAI: Maíz, ALG: Algodón, GIR: Girasol, PAT: Patata, RET: Retirada, TDS: Trigo duro seco, TBS: Trigo duro seco, GS: Girasol seco, OLI: Olivar, OS: Olivar seco, CIT: Cítricos

**INDICADORES**

Año	INDICADORES ECONÓMICOS			INDICADORES AMBIENTALES				
	Renta	Apoyo público	Empleo	Consumo agua	Índice de toxicidad	Balace de nitrógeno	Diversidad Genética	Cobertura
	€/ha	€/ha	jornales/ha	m <sup>3</sup> /ha		kg N/ha	n° cultivos	%
<b>CONGLOMERADO A: ORIENTACIÓN ALGODON</b>								
02	1449,1	1921,3	12,3	5000	20210	67,8	4	58,7
03	1746,5	1937,5	12,2	5000	19859	70,5	4	59,3
04	1695,0	1915,9	13,0	5000	19540	72,7	4	60,0
05	1301,0	1735,2	13,6	5000	17792	74,0	4	64,8
06	1456,0	1697,4	14,0	5000	17218	76,5	4	66,1
07	1570,7	1733,6	15,7	5000	16881	79,5	4	67,1
08	1380,0	1645,4	17,8	5000	15486	80,6	4	71,4
09	1436,2	1638,2	19,2	5000	14843	80,3	4	73,3
10	1704,0	1705,1	21,3	5000	14499	80,3	4	74,1
<b>CONGLOMERADO B: ORIENTACIÓN TRIGO</b>								
02	618,1	946,8	7,3	2684	8001	77,5	7	52,5
03	616,5	925,7	8,3	2588	7900	80,5	7	58,4
04	522,7	858,0	9,1	2525	7799	83,5	7	64,2
05	499,2	815,6	10,0	2487	7725	85,4	6	70,0
06	483,3	732,7	11,2	2520	7770	83,1	6	75,9
07	711,6	635,0	12,0	2652	7846	82,7	6	79,5
08	1085,1	648,3	12,5	2808	7846	82,7	6	79,5
09	1414,7	648,3	13,6	2963	7846	82,7	6	79,5
10	1608,0	648,3	14,7	3089	7846	82,7	6	79,5
<b>CONGLOMERADO C: ORIENTACIÓN MAIZ</b>								
02	633,0	677,0	9,3	4407	15336	89,2	6	56,5
03	396,5	752,5	10,5	2952	9125	79,2	6	66,8
04	396,5	433,8	10,6	3585	10284	85,6	6	72,9
05	396,5	416,4	12,5	3750	8978	88,5	6	78,8
06	396,5	421,8	15,6	3856	7403	90,1	4	85,6
07	900,0	541,1	19,1	4140	6852	93,5	4	88,5
08	1420,6	736,9	23,3	4597	7531	97,1	4	88,5
09	1787,9	943,3	28,3	4992	8318	97,1	4	88,5
10	2090,7	1192,2	33,2	5000	8156	92,2	6	88,6
<b>CONGLOMERADO D: ORIENTACIÓN FRUTICULTURA</b>								
02	2483,3	1964,9	30,0	3590	3934	74,7	3	99,3
03	4348,6	2604,4	33,2	3628	3829	77,9	3	99,3
04	3259,5	2187,7	34,2	3672	3846	80,2	3	99,3
05	3845,2	2436,0	35,2	4002	4361	82,9	3	99,3
06	3344,9	2251,3	35,9	4002	4425	82,0	3	99,3
07	3348,5	2265,7	36,5	4002	4489	81,2	3	99,3
08	4184,2	2623,8	37,4	4002	4553	80,0	3	99,3
09	4125,2	2659,2	38,1	4002	4617	79,0	3	99,3
10	4270,5	2693,9	38,8	4002	4617	78,1	3	99,3

### ANEXO 3. AGRICULTURA SOSTENIBLE GLOBAL PLANIFICACIÓN DE CULTIVOS

Año	TB	TD	MAI	ALG	GIR	PAT	RET	TDS	TBS	GS	OLI	OS	CIT
<b>CONGLOMERADO A: ORIENTACIÓN ALGODON</b>													
02	10.0	0	0	57.1	10.0	7	1.9	0	0	0	14.0	0	0
03	5.2	0	0	57.6	5.2	7	1.0	0	0	0	24	0	0
04	0.4	0	0	58.0	0.4	7	0.1	0	0	0	34	0	0
05	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
06	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
07	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
08	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
09	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
10	0	0	0	58.1	0	7	0	0	0	0	34.9	0	0
<b>CONGLOMERADO B: ORIENTACIÓN TRIGO</b>													
02	0	35.5	4.9	21	16.1	2.3	5.4	0	0	0	12.5	0	2.3
03	0	28.5	4.9	21	14.0	2.3	4.5	0	0	0	22.5	0	2.3
04	0	22.5	4.9	21	12.2	2.3	3.8	0	0	0	31.1	0	2.3
05	0	16.8	4.9	21	10.4	2.3	3.1	0	0	0	39.3	0	2.3
06	0	11.0	4.9	21	8.7	2.3	2.3	0	0	0	47.6	0	2.3
07	0	2.7	7.8	18.1	7.5	2.3	1.7	0	0	0	57.6	0	2.3
08	0	1.2	8.6	17.3	7.5	2.3	1.6	0	0	0	59.2	0	2.3
09	0	1.2	8.6	17.3	7.5	2.3	1.6	0	0	0	59.2	0	2.3
10	0	1.2	8.6	17.3	7.5	2.3	1.6	0	0	0	59.2	0	2.3
<b>CONGLOMERADO C: ORIENTACIÓN MAÍZ</b>													
02	0	12.0	19.6	21	9.1	11.2	3.9	0	0	0	10.2	0	13.1
03	0	14.4	10.5	21	6.6	11.2	3.0	0	0	0	10.2	0	23.1
04	0	14.9	1.4	21	6.1	11.2	2.1	0	0	0	10.2	0	33.1
05	0	7.9	0	17.8	10.0	11.2	1.7	0	0	0	10.2	0	41.2
06	0	2.4	0	17.8	15.5	11.2	1.7	0	0	0	10.2	0	41.2
07	0	0	0	17.8	17.8	11.2	1.7	0	0	0	10.2	0	41.2
08	0	0	0	14.4	14.4	11.2	2.7	0	0	0	10.2	0	47.0
09	0	0	0	11.6	11.6	11.2	1.1	0	0	0	10.2	0	54.3
10	0	0	0	11.3	11.3	11.2	1.1	0	0	0	10.2	0	55.0
<b>CONGLOMERADO D: ORIENTACIÓN FRUTICULTURA</b>													
02	8.4	0	4.7	4.7	9.9	1	2.2	0	0	0	69.2	0	0
03	1.4	0	4.7	4.7	7.8	1	1.3	0	0	0	79.2	0	0
04	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
05	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
06	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
07	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
08	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
09	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0
10	0	0	1.7	1.7	5.9	1	1.5	0	0	0	88.2	0	0

TD: Trigo duro, TB: Trigo blando, MAI: Maíz, ALG: Algodón, GIR: Girasol, PAT: Patata, RET: Retirada, TDS: Trigo duro seco, TBS: Trigo duro seco, GS: Girasol seco, OLI: Olivar, OS: Olivar seco, CIT: Cítricos

### INDICADORES

Año	INDICADORES ECONÓMICOS			INDICADORES AMBIENTALES				
	Renta	Apoyo público	Empleo	Consumo agua	Índice de toxicidad	Balance de nitrógeno	Diversidad Genética	Cobertura
€/ha	€/ha	jornales/ha	m <sup>3</sup> /ha		kg N/ha	nº cultivos	%	
<b>CONGLOMERADO A: ORIENTACIÓN ALGODON</b>								
02	941.9	1464.8	9.9	3878	15584	66.0	5	55.8
03	1022.8	1490.9	11.0	3803	15584	69.1	5	61.7
04	916.2	1433.8	11.9	3761	15584	72.2	5	67.5
05	1241.7	1447.6	12.0	3810	15584	72.5	3	68.1
06	1315.0	1431.2	12.5	3921	15584	72.5	3	68.1
07	1512.6	1430.0	13.0	4035	15584	72.5	3	68.1
08	1715.6	1453.7	13.5	4137	15584	72.5	3	68.1
09	1969.1	1453.7	14.1	4198	15584	72.5	3	68.1
10	1975.3	1453.7	14.7	4223	15584	72.5	3	68.1
<b>CONGLOMERADO B: ORIENTACIÓN TRIGO</b>								
02	446.4	984.0	7.3	2683	8105	73.7	7	52.7
03	452.4	1002.5	8.3	2593	8077	73.7	7	58.5
04	396.5	978.9	9.0	2550	8052	73.7	7	63.6
05	396.5	983.4	9.6	2533	8028	73.7	7	68.3
06	396.5	972.1	10.8	2565	8004	73.7	7	73.2
07	467.9	968.0	11.9	2655	8054	73.7	7	78.8
08	889.2	970.6	12.4	2790	8071	73.7	7	79.7
09	1241.5	960.0	13.4	2938	8071	73.7	7	79.7
10	1408.9	944.1	14.4	3059	8071	73.7	7	79.7
<b>CONGLOMERADO C: ORIENTACIÓN MAÍZ</b>								
02	440.2	806.1	9.9	3792	13315	73.7	7	57.2
03	560.9	768.7	9.9	3428	11036	73.7	7	62.7
04	462.9	774.4	10.8	3146	8832	73.7	7	68.2
05	501.6	760.0	12.5	3475	8424	73.7	6	72.5
06	992.7	874.97	15.4	3952	9106	73.7	6	72.6
07	1343.5	1025.3	18.5	4360	9841	73.7	5	72.6
08	1229.2	1096.8	21.4	4597	9630	73.7	5	75.0
09	1321.6	1168.9	24.7	4546	9186	73.7	5	79.5
10	1651.2	1348.5	27.9	4593	9229	73.7	5	79.8
<b>CONGLOMERADO D: ORIENTACIÓN FRUTICULTURA</b>								
02	1781.7	1258.0	11.6	2295	3941	73.7	6	82.7
03	3455.8	1971.8	15.9	2206	3912	73.7	6	88.5
04	2141.6	1453.9	16.3	1898	2516	73.7	5	93.0
05	2990.1	1687.2	16.3	1954	2516	73.7	5	93.0
06	2491.6	1445.9	16.8	2061	2516	73.7	5	93.0
07	2643.7	1427.6	17.3	2170	2516	73.7	5	93.0
08	3606.0	1778.3	17.8	2265	2516	73.7	5	93.0
09	3840.0	1778.3	18.4	2317	2516	73.7	5	93.0
10	3839.7	1778.3	18.9	2338	2516	73.7	5	93.0