



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

TESIS DOCTORAL

PROGRAMA  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AGRARIAS, ALIMENTARIAS Y DE LOS RECURSOS NATURALES  
Y DESARROLLO RURAL

DEPARTAMENTO  
ECONOMÍA, SOCIOLOGÍA Y POLÍTICA AGRARIAS

MODELO DE REVELACIÓN DE PREFERENCIAS EN  
LA TEORÍA MULTIATRIBUTO APLICADO AL  
REGADÍO

Memoria de Tesis para aspirar al grado de doctor por la Universidad de  
Córdoba presentada por:

**Carlos Gutiérrez Martín**

dirigida por:

**Dr. D. Julio Berbel Vecino**

Catedrático de Universidad. Universidad de Córdoba

**Dr. D. Carlos Mario Gómez Gómez**

Profesor Titular de Universidad. Universidad de Alcalá

Córdoba, 22 Mayo 2013

TITULO: *Modelo de revelación de preferencias en la teoría multiatributo aplicado al regadío*

AUTOR: *CARLOS GUTIERREZ MARTIN*

---

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---





**TÍTULO DE LA TESIS:** Modelo de revelación de preferencias en la teoría multiatributo aplicado al regadío

**DOCTORANDO/A:** Carlos Gutiérrez Martín

#### **INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS**

El doctorando inició la colaboración en el grupo de investigación con cargo al proyecto WADI, del cual se derivaron publicaciones que han tenido un impacto muy relevante en la literatura. Y que si bien están relacionadas con la investigación no forman parte del cuerpo de la tesis y por tanto no se mencionan en este documento. Posteriormente ha desarrollado una labor profesional en el Ministerio de Medio Ambiente donde llevo a cabo tareas técnicas relacionadas con la economía del agua y los modelos de simulación de demanda de riego, entre otras tareas profesionales, estando vinculado a la universidad por un convenio de colaboración.

Finalmente se ha incorporado a la universidad y ha llevado a cabo la investigación que ha permitido concluir la tesis doctoral y cuyos resultados han sido parcialmente publicados en las referencias adjuntas.

Considero que a lo largo de su formación previa y en el periodo concreto de la tesis ha alcanzado la madurez científica que le ha permitido dar por terminada su tesis doctoral con una calidad muy alta y que puede darse por concluida satisfactoriamente. Por tanto se aprueba la lectura de la tesis doctoral que se presenta.

Las publicaciones derivadas de la tesis han sido:

**Artículos en revistas JCR:**

Gutierrez-Martin, C. and Gomez, C. (2011). Assessing Irrigation Efficiency Improvements by Using a Preference Revelation Model. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4): 1009-1020.

**Capítulos de libro con revisión por pares:**

Gutierrez-Martin, C., Pérez, C., Gomez, C y Berbel, J. (2013) Price Volatility and Water Demand in Agriculture. A Case Study of the Guadalquivir River Basin (Spain) in Bournaris, T., Berbel, J., Manos, B. and Viaggi, D. *Economics of Water Management in Agriculture*. Science Publishers. (En revisión)

**Congresos internacionales:**

Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2008) The MODERE Model and The Economic Analysis of Farmers' decisions. EAAE 107th Seminar. January 30-February 1. Sevilla, Spain.

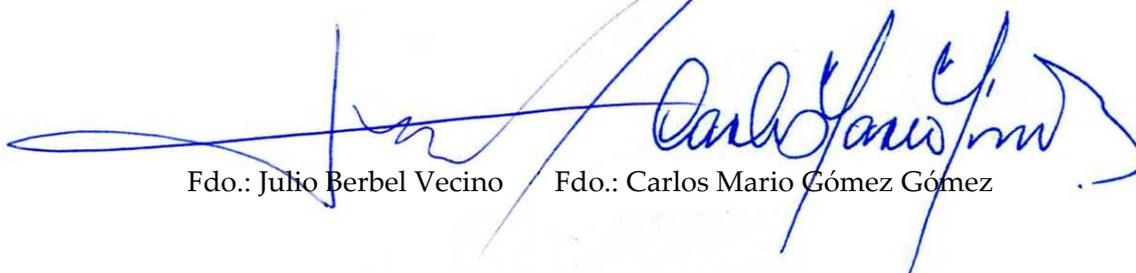
Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2009) Agriculture and water policy: water efficiency and prices in the context of the WFD. EAERE 17th Annual Conference. Amsterdam, The Netherlands, 2009.

Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2011) Enhancing irrigation efficiency but increasing water use: The Jevon's paradox. EAAE 2011 Congress Change and Uncertainty Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources. August 30 to September 2. Zurich, Switzerland.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 13 de Mayo de 2013

Firma del/de los director/es



Fdo.: Julio Berbel Vecino      Fdo.: Carlos Mario Gómez Gómez

A mis padres,



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, y como no puede ser de otra forma, quiero agradecer a mis directores de tesis, Julio Berbel y Carlos Mario Gómez, la oportunidad que me brindaron de hacer la tesis doctoral con ellos. Sin su dedicación y aportaciones este trabajo habría sido imposible. A Julio quiero agradecerle toda la trayectoria científica que vengo desarrollando desde hace unos años, que no existiría de no ser por él. Un agradecimiento especial para Carlos Mario, que tantas cosas me ha enseñado, y que tan cercano y humano ha sido.

También quiero agradecer la ayuda prestada por todas aquellas personas que han contribuido a que este trabajo, o los artículos derivados de ella, hayan salido adelante. Así, tengo que agradecer a José Antonio Gómez-Limón y José Anastasio Villanueva por su aportación con las tipologías y a Carlos Dionisio Pérez por sus aportaciones en uno de los papers.

No puedo dejar de agradecer la ayuda y el apoyo de mi familia, que siempre han estado ahí de forma incondicional, aunque muchas veces no fueran conscientes de ello.

Especialmente tengo que agradecer la conclusión de la tesis a Nazareth, que me apoyó en toda la fase final, apoyo sin el que habría sido imposible acabarla. Tampoco puedo olvidar a Pablo, que pacientemente se revisó todo el documento final y con el que discutí muchos de los aspectos del mismo. También agradecer a Pilar Reina y a Solveig Kolberg su ayuda en el documento final.

Gracias también a Josefina Maestu, que me brindó la oportunidad de participar en el Grupo de Análisis Económico del Agua, de donde surgieron muchas ideas plasmadas en esta tesis.

Por último, no quiero dejar de acordarme de Joaquín Domingo que, aunque ya no se encuentre entre nosotros, siempre fue un apoyo en mis labores docentes, haciendo más fácil el desarrollo de mi labor investigadora.



## RESUMEN

La principal aportación de esta tesis es el desarrollo de un modelo de revelación de preferencias bajo la Teoría de la Utilidad Multiatributo, consistente con la teoría económica, que permite explicar las decisiones de cultivo de los regantes. Al contrario de los modelos de simulación más conocidos y utilizados, el que se presenta en esta tesis no exige asumir preferencias lineales (como en el caso de las técnicas multicriterio) ni acude a funciones inobservables de costes implícitos (como en los modelos de programación matemática positiva).

El modelo se aplica en dos casos de estudio diferentes. El primero de ellos trata sobre la volatilidad de los precios de los productos agrarios en el conjunto de la cuenca del Guadalquivir y el segundo sobre la mejora de la eficiencia de riego en la Zona Regable del Genil-Cabra.

En lo que concierne al primer caso de estudio, hay una creciente preocupación del impacto que pueda tener la volatilidad de los precios de los productos agrarios observada en los últimos años sobre el sector de la agricultura y sobre la economía. Aparte de los efectos sobre los ingresos agrarios y el empleo, la volatilidad de los precios puede tener un impacto relevante sobre la demanda de agua en un contexto de escasez y restricciones de suministro en la zona mediterránea. En este trabajo se identifica y cuantifica el efecto de la volatilidad de los precios sobre estas variables en la cuenca del Guadalquivir. El resultado del primer caso de estudio es el aumento de la superficie dedicada a trigo, maíz y cultivos de secano, (estos últimos para disponer de más agua en el maíz), y una disminución de las superficies de algodón, hortalizas, girasol y olivar. El beneficio económico del regante se incrementaría significativamente, aunque disminuiría la mano de obra contratada. Además, con el aumento de la volatilidad se constata que existiría una mayor demanda de agua (que no puede ser satisfecha por limitaciones de suministro) y que la volatilidad es un factor importante a tener en cuenta de cara a desarrollar políticas del agua, ya que aumenta la inelasticidad de la demanda, haciendo inútiles medidas de tarificación del agua con el fin de ahorrar agua, tal y como propone la Comisión Europea.

Respecto al segundo caso de estudio, el modelo propuesto también se calibra para la Zona Regable del Genil-Cabra en valle del Guadalquivir y se utiliza para estudiar las reacciones de los agricultores a las mejoras en la técnica de riego bajo distintos contextos de derechos de uso del agua. La principal conclusión es que los ahorros potenciales de agua que se consiguen con la mejora técnica del sistema de riego son compensados por los

aumentos de la demanda derivados de la mayor productividad del agua cuando el girasol es sustituido por maíz. Por este motivo, para conseguir una reducción efectiva del uso del agua y, por tanto, una mejora en las fuentes del recurso, es necesario reducir la cantidad de derechos de uso del agua. La mejora de la eficiencia puede tener también consecuencias sobre los retornos de agua, ya que al aumentar la evapotranspiración, vuelve menos agua al medio por escorrentía e infiltración.

El modelo propuesto ha sido capaz de reproducir las decisiones de cultivo de los agricultores y de simular correctamente los escenarios planteados, demostrándose que puede ser una herramienta útil para la toma de decisión de políticas agrarias y del agua. Por tanto, este modelo podría representar una alternativa a los modelos de programación matemática más extendidos en la literatura.

## ABSTRACT

The main contribution of this thesis is to develop a Revealed Preference Model under Multi Attribute Utility Theory, consistent with economic theory, to explain irrigators' crop decision making. Unlike most common and utilized simulation models, the model proposed in this thesis does not assume linear preferences (as in the case of multi-criteria techniques) or unobservable implicit cost functions (as in positive mathematical programming models).

The model is applied in two different case study settings. The first one deals with price volatility of agricultural product in the entire Guadalquivir river basin and the second is about improving irrigation efficiency in the Genil-Cabra irrigation area.

Regarding the first case study, there is a growing concern about the impact that food price volatility, observed during the last years, may have on the agricultural sector and the economy. Apart from the effects on agricultural income and employment, price fluctuations may have an impact on water demand in a context of scarcity and supply restriction in Mediterranean areas. This thesis identifies and quantifies the effect of price volatility on these variables in the Guadalquivir basin. The result of the first case study is the increase in the area devoted to wheat, corn and rainfed crops (the latter to provide more water for corn), and a reduction in the areas of cotton, vegetables, sunflowers and olives. The profit of the irrigator would increase significantly, but would reduce hired labor. Moreover, with increased volatility it appears that there would be a greater water demand (which can not be met by supply constraints) and that volatility is an important factor to consider in order to develop water policies because it increases the demand inelasticity, making useless water pricing measures to save water, as proposed by the European Commission.

Regarding the second case study, the proposed model was calibrated to the Irrigation Area of the Genil-Cabra in the Guadalquivir valley and was used to study the farmers' responses to improved irrigation technique under different water rights conditions. The main conclusion is that the potential water savings due to improved irrigation technique are offset by increases in water demand resulting from increased water productivity when sunflower is replaced by maize. For that reason, a reduction of water use rights is a necessary condition to convert water savings through improved efficiency into lower water use and better conserved water sources. Improving efficiency can also have

consequences for water returns, since increasing evapotranspiration causes less water back to the environment by runoff and infiltration.

The proposed model has been able to reproduce the and to correctly simulate the proposed scenarios. Therefore, this model could be an alternative to mathematical programming models most prevalent in the literature.

The proposed model has been able to reproduce the irrigators' crop decision making and to correctly simulate the scenarios presented, showing that it can be a useful tool for decision making in agricultural and water policies. Therefore, this model could be an alternative to mathematical programming models most prevalent in the literature.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1. Introducción, hipótesis de partida, objetivos y organización del trabajo .....	1
Capítulo 2. La teoría de la decisión multicriterio.....	9
2.1. Del monocriterio al multicriterio.....	9
2.2. Definiciones básicas en multicriterio .....	13
2.3. Clasificación de las técnicas multicriterio.....	14
2.4. Otras clasificaciones de los modelos .....	18
2.5. La Programación Matemática Positiva (PMP).....	20
2.5.1. Procedimiento de la PMP .....	22
2.5.2. Ventajas y desventajas de la PMP .....	25
Capítulo 3. Entorno económico e institucional .....	29
3.1. La volatilidad de los mercados agrarios.....	29
3.1.1. La renta agraria.....	29
3.1.2. La PAC.....	31
3.1.3. Incremento del precio de la tarifa eléctrica .....	32
3.1.4. Escasez de agua y menor garantía .....	34
3.1.5. La volatilidad de los precios .....	36
3.2. La Política Agrícola Común .....	39
3.3. La política del agua.....	44
Capítulo 4. Metodología.....	47
4.1. Variables de decisión.....	47
4.2. Caracterización del conjunto de decisiones factibles.....	48
4.3. La función objetivo y los atributos relevantes de las decisiones de cultivo.....	52
4.4. Revelación de preferencias .....	58
4.5. Algoritmo de cálculo para la revelación de preferencias .....	67
4.6. Software de optimización .....	68
Capítulo 5. Casos de estudio y material.....	71

5.1. Escala de trabajo y agregación de resultados.....	71
5.2. La cuenca del Guadalquivir .....	73
5.2.1. Zona de estudio y tipologías.....	76
5.2.2. Datos de partida .....	79
5.3. La Zona Regable de Genil-Cabra.....	89
5.3.1. Datos de partida .....	93
Capítulo 6. Resultados. La volatilidad de los mercados agrarios.....	97
6.1. Introducción .....	97
6.2. Metodología.....	98
6.2.1. Elasticidad demanda-precio de los productos .....	98
6.2.2. Definición de escenarios .....	99
6.2.3. Curvas de costes marginales del agua.....	100
6.3. Resultados.....	101
6.3.1. Funciones de utilidad y validación del modelo .....	101
6.3.2. Elasticidades.....	101
6.3.3. Resultados de los escenarios .....	106
6.3.4. Curvas de costes marginales del agua.....	112
6.3.5. Curvas de indiferencia y función de respuesta .....	119
Capítulo 7. Evaluación de la mejora de la eficiencia del regadío .....	127
7.1. La paradoja de Jevons y la economía agraria.....	128
7.2. Servicios del agua, ahorro de agua y eficiencia de riego.....	130
7.3. Impactos a largo plazo .....	131
7.4. Escenarios .....	132
7.5. Resultados.....	133
7.5.1. Funciones de utilidad y validación del modelo .....	133
7.5.2. Resultados de los escenarios .....	135

Capítulo 8. Conclusiones.....	141
Capítulo 9. Referencias.....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coste medio del agua por origen del recurso para Andalucía.....	32
Tabla 2. Coste unitario de bombeos para regadíos (precios 2009).....	33
Tabla 3. Uso de agua y abastecimiento de agua relativo en la cuenca del Guadalquivir .....	34
Tabla 4. Distribución de superficie entre CC.AA de la Cuenca del Guadalquivir.....	74
Tabla 5. Características principales de los grupos analizados .....	78
Tabla 6. Situación de las explotaciones .....	79
Tabla 7. Precios medios anuales de los cultivos seleccionados (€/kg) .....	80
Tabla 8. Rendimientos medios anuales de los cultivos seleccionados (kg).....	83
Tabla 9. Coste variable de los cultivos (€/ha) .....	85
Tabla 10. Ayudas a la agricultura (€/ha) .....	86
Tabla 11. Matriz de varianzas y covarianzas del margen bruto variable de los cultivos seleccionados .....	86
Tabla 12. Dosis de riego por tipología a la entrada de la explotación (m <sup>3</sup> /ha).....	87
Tabla 13. Eficiencia de aplicación de riego por tipología.....	88
Tabla 14. Mano de obra por hectárea y cultivo (jornales).....	89
Tabla 15. Superficies observadas 2008 Genil-Cabra .....	93
Tabla 16. Precios medios anuales de los cultivos seleccionados (€/kg) .....	94
Tabla 17. Rendimientos medios anuales de los cultivos seleccionados (kg).....	94
Tabla 18. Coste variable de los cultivos (€/ha) .....	95
Tabla 19. Dosis de riego en la CC.RR. de Genil-Cabra.....	95
Tabla 20. Datos de partida para la CC.RR. Genil-Cabra .....	96
Tabla 21. Precios máximos y mínimos mundiales y media observada en Andalucía (€/t).100	
Tabla 22. Incrementos de precios para escenarios de volatilidad.....	100

Tabla 23. Errores medios cuadráticos sobre los valores observados en la realidad.....	101
Tabla 24. Elasticidad demanda-precio para algunos niveles de precio agregado cuenca...	102
Tabla 25. Elasticidad demanda-precio para algunos niveles de precio en la tipología 2 ....	105
Tabla 26. Resultados de las variables analizadas en los distintas tipologías y escenarios..	107
Tabla 27. Parámetros potenciales en la función de utilidad multiatributo y errores de calibración. Datos en porcentaje.....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual de la tesis.....	6
Figura 2. Principales técnicas de decisión multicriterio.....	17
Figura 3. Evolución de la renta agraria .....	30
Figura 4. Evolución de la renta agraria por UTA .....	31
Figura 5. Ingreso medio y coste medio de acceso del sector eléctrico .....	33
Figura 6. Uso de agua bruta media (m <sup>3</sup> /ha) en la cuenca del Guadalquivir .....	36
Figura 7. Incrementos de precios por variaciones en la demanda y en la oferta.....	36
Figura 8. Precios mundiales octubre 2002- septiembre 2012 (€/t).....	37
Figura 9. Aproximación a la frontera de posibilidades de elección con dos atributos .....	54
Figura 10. Aproximación a la frontera de elección con tres atributos.....	57
Figura 11. Revelación de preferencias.....	60
Figura 12. Revelación de preferencias 2.....	65
Figura 13. Precios de los cultivos según distintas fuentes (€/100kg).....	81
Figura 14. Dotación anual y tendencia en la Comunidad de Regantes Genil-Cabra (m <sup>3</sup> /ha) .....	92
Figura 15. Decisión de cultivo para incrementos de margen bruto y riesgo en trigo tipología 1.....	102
Figura 16. Decisión de cultivo para incrementos de margen bruto y riesgo en (a) algodón tipología 1 y (b) hortalizas tipología 2.....	104

Figura 17. Distribución de cultivos en la cuenca para cada uno de los escenarios de precios .....	108
Figura 18. Distribución de cultivos en cada tipología para cada uno de los escenarios de precios .....	110
Figura 19. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua por tipología en todos los escenarios .....	113
Figura 20. Variación de la superficie de los cultivos en el escenario base de la tipología 1 (vega tradicional) en función del coste del agua.....	114
Figura 21. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua en el escenario base.....	116
Figura 22. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua a nivel de cuenca en todos los escenarios.....	117
Figura 23. Evolución de los distintos indicadores socioeconómicos frente a incrementos del coste del agua.....	119
Figura 24. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 1.....	120
Figura 25. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 1 (tradicional).....	121
Figura 26. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 2.....	122
Figura 27. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 2 (modernizado) .....	123
Figura 28. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 3 (olivar).....	123
Figura 29. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 4 (hortalizas tradicional).....	124
Figura 30. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 4 (hortalizas tradicional) .....	125
Figura 31. Máxima dotación asignada en (a) escenario 1 y (b) escenario 2.....	133
Figura 32. Incremento del precio del agua en el escenario 3.....	133
Figura 33. Uso del agua en (a) escenario 1 y (b) escenario 2 .....	135
Figura 34. Margen bruto variable en los dos escenarios.....	136

Figura 36. Diagrama de flujo de acciones, efectos, resultados técnicos y consecuencias relacionados con la modernización del regadío y la optimización. .... 139

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Cuenca del Guadalquivir y provincias ..... 74  
Mapa 2. Mapa físico de la Cuenca del Guadalquivir ..... 75  
Mapa 3. Distribución de los grupos de unidades de agregación de la DHG..... 77

---

## Capítulo 1.

# Introducción, hipótesis de partida, objetivos y organización del trabajo

---

Un modelo de programación matemática es un conjunto de ecuaciones y algoritmos que tratan de buscar la mejor opción entre todas las disponibles, dadas una serie de restricciones. Cuando hablamos de modelos de programación matemática, podemos hacer dos grandes grupos: modelos normativos y modelos positivos. Los modelos normativos son aquellos que nos indican qué se va a producir, cómo hay que combinar los recursos y cuánto se va a producir de cada uno de los bienes. Estos modelos sólo buscan la mejor opción entre todas, ya sea un óptimo económico, social, ambiental... Por el contrario, los modelos positivos son aquellos que tratan reproducir la realidad, de manera que una vez calibrado el modelo (esto es, que tras ejecutar el modelo el resultado se parezca lo más posible a lo observado en la realidad) se puedan hacer simulaciones para conocer el resultado si cambiase alguna variable de entorno. En el caso de los modelos positivos es posible que exista una solución que mejore el resultado económico o el resultado social o

cualquier objetivo marcado, pero en este caso el óptimo será el que coincida con la decisión tomada por el centro decisor.

El análisis del comportamiento del agricultor a través del uso de modelos de programación matemática para determinar la distribución de cultivos está descrito extensamente en la literatura nacional e internacional. Los modelos (positivos) de simulación de la agricultura son útiles para conocer las preferencias de los agricultores que los motivan a decidirse por una organización de sus recursos. El objetivo de estos modelos es determinar una función de utilidad que describa el comportamiento del agricultor, ya que una vez cumplida esta fase, se está en disposición de evaluar posibles escenarios de futuro, de manera que a través de la variación de las condiciones de entorno (restricciones ambientales, cambios de PAC, mercados,...) podemos evaluar el efecto que tendrían estos cambios.

Con la mejora de los sistemas informáticos a lo largo de las últimas décadas, los modelos de programación matemática se han convertido en una herramienta común para el análisis de economía aplicada en general y para la planificación de explotaciones agrarias y del sector agrario en particular. Los modelos de programación matemática son una herramienta flexible para el sector agrario y el análisis de políticas porque permite, en principio, una representación apropiada de las múltiples relaciones tanto de entrada como de salida que se dan en las explotaciones agrarias y en el sector en general. En particular, es posible introducir relaciones de complementariedad (p. ej. la producción de leche y carne de ternera) o relaciones competitivas (p. ej. trigo frente a cebada), que son una importante característica de la producción agraria. Los modelos de programación permiten representar procesos específicos de tecnología agraria, que juega un papel importante en la economía agraria y en la agronomía. Además, estos métodos aplicados al sector permiten la integración de instrumentos de política, como políticas de comercio exterior, precios agrarios internos, precios de intervención, sistema de cuotas, ayudas a la producción y mejora tecnológica de los sistemas agrarios (Bauer and Kasnakoglu, 1990).

Este renovado interés en la programación matemática para modelizar el comportamiento económico tiene su origen en una serie de factores (Henry de Frahan et al., 2007). Primero, la aparición a finales de los 80 de la programación matemática positiva (PMP) ha traído un nuevo aire de positivismo en la determinación de los parámetros de la función de optimización. Este método, normalizado después por Howitt (1995), hace posible una calibración exacta de los modelos. En segundo lugar, como resultado de lo anterior, la PMP ha proporcionado un comportamiento de simulación más realista y flexible

que los modelos de programación matemática que le precedían, evitando las indeseables discontinuidades de las simulaciones obtenidas. En tercer lugar, la creciente necesidad de modelizar y simular funciones de comportamiento de acuerdo con numerosas condiciones técnicas, de política económica, y, más recientemente, ambientales, ha reforzado el uso de los modelos de programación matemática. En cuarto lugar, en una situación frecuente de limitada cantidad de información para tratar decisiones complejas, los modelos de programación matemática son capaces de manejar los problemas de decisión que la econometría no puede.

Una gran parte de los modelos creados y publicados están basados en métodos de decisión multicriterio lineales que asumen que las preferencias del agricultor pueden ser representadas como una suma ponderada de los diferentes criterios, como beneficios esperados, riesgo o a veces problemas de gestión

Un método muy contrastado se basa en la función de utilidad multiatributo (MAUT) y se ha probado que el algoritmo usado para calibrar estas preferencias es efectivo para revelar los pesos relativos de muchos criterios de decisión y es comúnmente aceptado como una herramienta útil para reproducir las decisiones observadas de los agricultores.

Sin embargo, las dos principales características del método MAUT –la asunción de preferencias lineales en muchas ocasiones y un mecanismo de calibración efectivo pero no basado en principios económicos explícitos, como es el caso de la PMP– pueden ser motivos de discusión, ya que algunos autores argumentan que se tratan de modelos ‘ad hoc’ sin una base económica que los sustente. Para encontrar modelos que empleen una presentación de preferencias coherentes con los principios económicos necesitamos ir dos o tres décadas hacia atrás, (Rausser and Yassour, 1981; Delforce and Hardaker, 1985) pero las herramientas informáticas con las que se contaba no eran lo suficientemente potentes como para que fuera útiles, y lamentablemente es un campo que no ha sido desarrollado en la literatura.

La hipótesis de partida y objetivo principal de la tesis será que es posible desarrollar un modelo de programación matemática que explique las preferencias del agricultor en la toma de decisiones que esté basado en la teoría de la utilidad multiatributo y que además sea consistente con la teoría económica.

Este modelo se desarrollará siguiendo los siguientes objetivos específicos, que podemos dividirlos en dos grupos: objetivos de diseño del modelo y objetivos de simulación del modelo.

Objetivos de primer orden (o metodológicos):

- Reproducir y describir las decisiones observadas de los agricultores en la zona de estudio. Se opta por zonas de regadío ya que estas permiten grados de libertad al agricultor en su toma de decisiones.
- Identificar los objetivos que intervienen en las decisiones de los regantes y que permiten interpretar la racionalidad de su comportamiento.
- Identificar y representar las restricciones relevantes a las que debe ajustarse el comportamiento de los agricultores y que pueden referirse a la disposición de factores (agua, tierra y trabajo), a la vocación agrícola del suelo, a las limitaciones agronómicas o al marco institucional (cuotas, superficies máximas y demás limitaciones de la PAC)
- Reproducir las decisiones observadas de los regantes, replicándolas como resultado de un proceso de maximización de una función de utilidad sujeta a un conjunto de restricciones.

Objetivos secundarios (o aplicados):

- Identificar la respuesta prevista de los regantes a los cambios en el entorno institucional. Tales cambios incluirán al menos los siguientes: modificaciones en los costes de los recursos (agua, trabajo, etc.) y cambios en los precios de los bienes finales.
- Identificar los posibles incentivos económicos que tendrían los agricultores para adoptar voluntariamente decisiones que conduzcan a aumentar la eficiencia en el uso de la tierra o de los recursos hídricos.
- Identificar las consecuencias de los cambios mencionados sobre el volumen y la distribución geográfica de las demandas hídricas de la agricultura en la zona de estudio.
- Obtener una primera aproximación al impacto de los precios, las modificaciones de la política agrícola y la liberalización comercial, sobre la rentabilidad de la agricultura y el empleo agrario.

Como marco conceptual, en esta tesis se parte de la consideración de que el proceso decisional de los regantes está condicionado por una serie de elementos inherentes a la propia explotación (marco interno) y una serie de elementos ajenos a dicha explotación (marco externo), como se muestra en la Figura 1, adaptada de Pujol (2002).

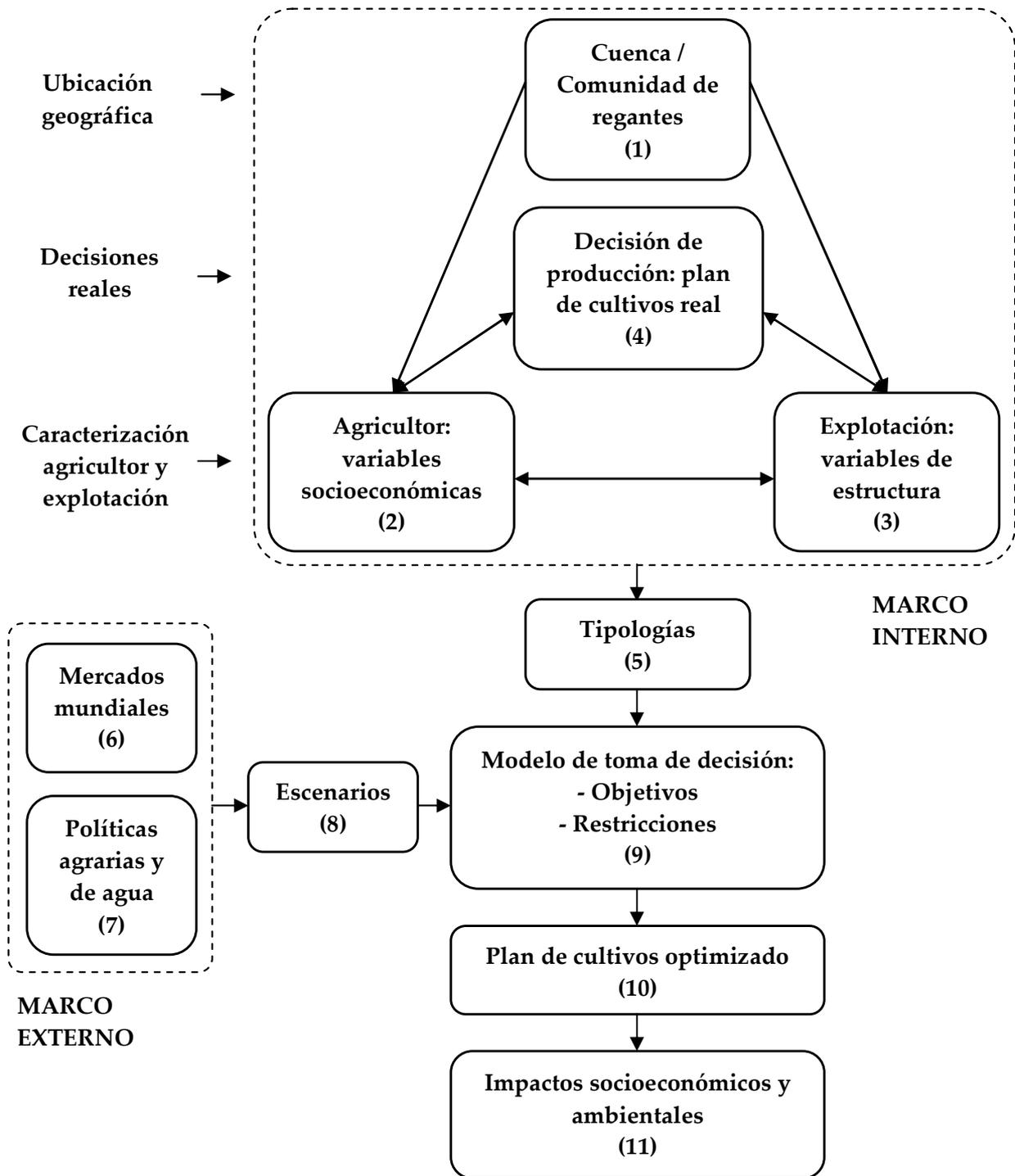
Los sistemas agrarios no están formados por explotaciones homogéneas, sino que existe una gran variabilidad entre las características de estas explotaciones y de los agricultores que las trabajan. El estudio en profundidad de la agricultura de una determinada zona debe basarse en el conocimiento de los tipos de explotaciones existentes. Para realizar un análisis detallado de los regantes, hay que estudiar distintos aspectos que caracterizan la explotación. El primero de ellos y de nivel más general es la cuenca hidrográfica o la comunidad de regantes en la que se enclava (1), que aporta información sobre las particularidades de dicha zona, de manera que se caracterizará tanto la Cuenca del Guadalquivir como la Zona Regable Genil-Cabra. Como elementos descriptivos del regante y la explotación propiamente dichos se analizarán variables socioeconómicas (2), que caracterizan al agricultor desde el punto de vista de la persona física, y las variables de estructura (3), que son las responsables de describir la explotación. Se considera la hipótesis de que estos elementos influyen en el proceso decisional de los regantes, así que se analizan estas decisiones, que el agricultor plasma en la realidad de un plan de cultivos (4).

A partir de los datos de esta primera fase se procede a construir un modelo que simule el proceso de toma de decisiones del agricultor. No todos los regantes toman las mismas decisiones, así que para tener en cuenta esta heterogeneidad se definen una serie de tipologías (5) para considerar la posibilidad de comportamientos diferenciados. Para cada una de estas tipologías se define un modelo concreto.

Para completar la construcción del modelo deben tenerse en cuenta los elementos correspondientes al marco externo de la explotación, que condicionarán en gran medida el proceso decisional, modificando los datos de partida o las restricciones existentes. En el sistema definido por esta investigación, el marco externo está condicionado por los mercados mundiales de *commodities* (6) y por las políticas agrarias y del agua (7). Este marco externo será el que haga cambiar las condiciones de entorno, y por tanto derive en una decisión de cultivo diferente a la actual.

A partir del conocimiento del marco externo se plantean distintos escenarios (8), que podrían alterar la situación actual del regadío. Aplicando el modelo a cada uno de estos escenarios (9) obtenemos unos resultados en forma de decisiones productivas del regante (10). Dado el plan de cultivos, se analizan las repercusiones a nivel socioeconómico y ambiental de la instauración de cada escenario.

Figura 1. Esquema conceptual de la tesis



Fuente: Adaptado de Pujol (2002)

En la presente tesis no sólo se pretende presentar un modelo coherente con la teoría económica, sino que también se quiere mostrar su aplicabilidad. Por lo tanto, se tratarán dos temas de actual importancia, como son el problema de la volatilidad de los precios de los productos agrarios y cómo afecta este a la distribución de cultivos y el uso del agua, así como de otros indicadores socioeconómicos; y el efecto de la mejora de la eficiencia sobre el uso del agua, que ha provocado un gran debate a nivel nacional acerca de la conveniencia de esta medida para producir ahorros de agua.

El trabajo se estructura en siete capítulos. Después de este primer capítulo introductorio, el capítulo 2 se centrará en los modelos de programación matemática, su origen y clasificación y el estado actual de la cuestión. El capítulo 3 nos proporcionará el marco teórico necesario para desarrollar los escenarios de simulación que se llevarán a cabo en los resultados. En el capítulo 4 se desarrolla el modelo de revelación de preferencias, objetivo principal de la tesis. El capítulo 5 está dedicado a las zonas donde se va a aplicar el modelo así como a los datos de partida que alimentarán el modelo de decisión. Los capítulos 6 y 7 estarán dedicados a los resultados de la aplicación del modelo. En concreto, el capítulo 6 estará dedicado a los efectos de la volatilidad de los precios de los productos agrarios sobre el regadío de la Cuenca del Guadalquivir, y el capítulo 7 a los efectos de la mejora de la eficiencia de aplicación del agua en una comunidad de regantes, en concreto la CC.RR Genil-Cabra, del Medio Guadalquivir. Por último, se enumerarán una serie de conclusiones extraídas del trabajo.

Los capítulos 6 y 7 han sido objeto de publicaciones, con parte del capítulo 4 de metodología, en publicaciones con revisión por pares. El capítulo 6 ha dado lugar al capítulo de libro "Price Volatility and Water Demand in Agriculture. A Case Study of the Guadalquivir River Basin (Spain)" (Gutiérrez-Martín et al.) en el libro *Economics of Water Management in Agriculture*, todavía sin publicar. El capítulo 7 dio lugar al artículo en revista "Assessing Irrigation Efficiency Improvements by Using a Preference Revelation Model" (Gutiérrez-Martín y Gómez, 2011) en la *Spanish Journal of Agricultural Research*.

Otras publicaciones derivadas de la tesis han sido:

- Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2008) The MODERE Model and The Economic Analysis of Farmers' decisions. EAAE 107th Seminar. January 30-February 1. Sevilla, Spain.
- Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2009) Agriculture and water policy: water efficiency and prices in the context of the WFD. EAERE 17th Annual Conference. Amsterdam, The Netherlands, 2009.

- Gómez, C.M., y C. Gutiérrez. (2011) Enhancing irrigation efficiency but increasing water use: The Jevon's paradox. EAAE 2011 Congress Change and Uncertainty Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources. August 30 to September 2. Zurich, Switzerland.

---

## Capítulo 2.

# La teoría de la decisión multicriterio

---

### 2.1. Del monocriterio al multicriterio

Tradicionalmente, los procesos de toma de decisiones se han resuelto ajustándose al paradigma clásico de la optimización. Es decir, se establecía un conjunto de soluciones posibles del problema de decisión analizado, aquellas soluciones que satisfacían las restricciones inherentes, y a continuación se establecía un orden de las soluciones factibles. Después, mediante procesos lógicos y/o técnicas matemáticas, se procedía a buscar entre las soluciones factibles la que poseyera un mayor grado de deseabilidad (solución óptima).

Tradicionalmente, tanto el ordenamiento de las soluciones factibles como la obtención de las soluciones óptimas han sido abordadas a través del criterio de la maximización del beneficio (punto de vista del empresario), aunque más adelante se haría desde el criterio de la maximización de la utilidad (Simon, 1955).

El paradigma tradicional, en el sentido de Kuhn (1970), que ha sido utilizado para el análisis y la toma de decisiones supone la existencia de tres elementos:

- Un centro de decisión: un solo individuo o un grupo de ellos que se identifiquen como una unidad.
- Un conjunto de alternativas o soluciones factibles.
- Un criterio de selección bien definido, como una función que mida el beneficio. Dicho criterio asocia un valor numérico a cada una de las soluciones del conjunto de soluciones factibles, de manera que las alternativas pueden ser clasificadas u ordenadas para encontrar el óptimo.

Un principio básico de la teoría económica clásica es que el comportamiento de los empresarios se rige por la maximización del beneficio. Como hemos dicho, siguiendo este principio, la toma de decisiones de cualquier empresario agrario se podría realizar a través de simples modelos de programación lineal cuya función objetivo fuese el beneficio. Sin embargo, la simple observación de la realidad refuta esta hipótesis.

A pesar de que este paradigma es válido desde un punto de vista lógico, no refleja de una manera exacta las situaciones de decisión. El centro decisor, en la vida real, no está interesado en ordenar o clasificar las soluciones alternativas en función de un criterio único, sino más bien, de encontrar un compromiso entre los diferentes objetivos tenidos en cuenta.

Para poder representar con mayor exactitud la realidad de las explotaciones agrarias a estudio, es necesario determinar los objetivos generales que persigue el agricultor. Los primeros modelos sobre la actividad agraria consideraban que la maximización de los beneficios era el único objetivo que perseguía el agricultor, y que determinaba el patrón de cultivos.

Heady (1952), Simon (1955) y Hildreth (1957) fueron de los primeros autores en considerar la idea de que la maximización del beneficio no era realista, principalmente debido a que es imposible tener toda la información. Simon (1957) sugirió que la "racionalidad objetiva" debería ser sustituida por la "racionalidad subjetiva", dando paso al concepto de satisfacción como objetivo principal (p. ej. Bowler, 1975; Hart, 1980). El concepto de satisfacción sugiere que un agricultor buscará decisiones que reporten satisfacción en vez de resultados óptimos (entendido como máximo económico). Esto implica que un amplio número de elementos están involucrados en la determinación de las decisiones de cultivo (Hart, 1980), y que dicha decisión depende tanto de las características de la explotación, como de la actitud del agricultor y su escala de valores.

A partir de las aportaciones de Simon (1955), podemos empezar a hablar sobre el análisis multicriterio aplicado al sector agrario. Pronto quedó claro que el segundo criterio a

tener en cuenta debía ser la incertidumbre o riesgo asociada a los precios de los inputs, los rendimientos de los cultivos y el precio de venta; esto es, la incertidumbre o riesgo respecto al beneficio económico.

Merrill (1965) realizó una comparativa de tres modelos lineales. El primer modelo es un modelo multiperiodo de programación lineal en el que los valores esperados de los parámetros que son variables aleatorias son tratados como si fueran constantes conocidas. El segundo modelo es un modelo de programación estocástica en el que se maximiza un límite inferior admisible de la función objetivo con la condición de que este límite no sea violado más de un porcentaje dado de veces en el tiempo. El tercer modelo, asociado a la teoría de *linear teams*, permite al decisor calcular los planes óptimos de cultivo que tengan en cuenta las diversas informaciones acerca de las variables aleatorias implicadas, que son las que participan en el beneficio.

Boussard y Petit (1967) desarrollaron un modelo en el que el riesgo se trataba como una restricción. El modelo lineal maximizaba el beneficio, dando un patrón de cultivos, pero sujeto a no arruinarse. Así, elegía la mejor solución de entre las que no pudieran llevarle a la ruina. Este concepto está muy relacionado con la teoría de juegos de von Neumann and Morgenstern (1944) y con el concepto de *safety first* (seguridad primero).

Basadas en los trabajos de teoría de juegos, también encontramos las aproximaciones de Tadros y Casler (1969) o McNerney (1967) que, mediante el método del maximin, establecían un plan de cultivos bajo incertidumbre. Este método consistía en elegir el mejor entre los peores resultados de cada alternativa. Esto es, si se dispone de varias opciones (distintos patrones de cultivo), en cada una habrá un mínimo beneficio de entre las posibilidades existentes y el método del maximin me lleva a elegir el mejor de esos mínimos. Se trata de una estrategia conservadora que conduce a la elección de la distribución de cultivos que, cuando vayan peor las cosas, reporte los mayores beneficios. Estos modelos estaban basados en la programación lineal dado que, para determinar el beneficio de cada estado de la naturaleza, empleaban un modelo lineal.

Hazell (1970) también llevó a cabo una aproximación combinando la teoría de juegos con la aproximación cuadrática de Markowitz (1952) a través de la programación lineal. Rae (1970) también adapta un modelo cuadrático a lineal para evaluar el comportamiento maximizador del beneficio del agricultor en un mercado de competencia imperfecta. Poco después, Hazell (1971) presentaría un modelo lineal, como aproximación del cuadrático, en el que para el riesgo utilizaría la minimización de las desviaciones absolutas totales (MOTAD: *Minimization Of Total Absolute Deviation*), que sería muy

utilizada en adelante. Una primera revisión de los primeros modelos de programación en la agricultura podemos encontrarlas en Glen (1987), que hace una recopilación de más de doscientos modelos llevados a cabo hasta la fecha.

El hecho de que las primeras aproximaciones multicriterio con incertidumbre trataran de linealizar los modelos cuadráticos tiene su origen en la dificultad de computación de esos modelos. A primeros de los años setenta los ordenadores no estaban tan avanzados como para que un modelo cuadrático pudiera resolverse en un tiempo adecuado (Armstrong y Frome, 1976). Estos modelos, basados en Markowitz (1952), eran cuadráticos debido a la formulación del riesgo, que se hacía a través de la varianza, que es cuadrática. No obstante, en muchas circunstancias la aproximación lineal no difiere en exceso de la aproximación cuadrática (Arias, 1994).

Las investigaciones que se han centrado en el análisis individual muestran que los agricultores tienen una variedad de objetivos, aunque hay dos tipos predominantes: por una parte, los que tienen base económica, y por otra parte, aquellos centrados en temas sociales y de estilo de vida (Costa and Rehman, 1999; Fairweather and Keating, 1994). Algunos investigadores han identificado tipos de agricultores que tienen objetivos económicos o de negocio. Así, Olsson (1988) y Salamon (1987) identificaron agricultores cuyo principal objetivo era gestionar una empresa orientada al mercado que optimice los resultados financieros. Por el contrario, otros autores describen agricultores cuyos objetivos son otros. Gasson (1973) clasifica los objetivos en cuatro tipos, que también fueron utilizados para clasificar a los agricultores de lúpulo en Gales por Ilbery (1983): (a) instrumentales, donde la agricultura es un medio para obtener ingresos y seguridad; (b) sociales, donde la agricultura se lleva a cabo por el bien de las relaciones interpersonales en el trabajo; (c) expresivas, donde la agricultura se evalúa como un medio de realización personal o de expresión personal; y (d) intrínsecas, donde la agricultura es evaluada como una actividad de propio derecho. Este solapamiento de objetivos también se puede ver en los resultados de un estudio de objetivos de los agricultores, en los que (Harper and Eastman, 1980) encuentran que los objetivos más perseguidos son la calidad de vida, los ingresos y el patrimonio neto.

Se establecen, por tanto, dos contextos de decisión posibles:

- Un solo objetivo (teoría tradicional)
- Varios objetivos (teoría multicriterio). En la teoría multicriterio se resuelven los problemas mediante técnicas de programación multicriterio, englobadas en la teoría de la decisión multicriterio.

## 2.2. Definiciones básicas en multicriterio

Antes de seguir con la clasificación de los modelos de programación matemática, es necesario detenerse a definir una serie de conceptos y definiciones, extraídos de los libros de Romero and Rehman (1989) y Romero (1993). Muchos de estos conceptos tienen el mismo significado semántico en el lenguaje común, pero aplicados a la teoría multicriterio, hay ciertas diferencias que hay que destacar.

*Atributo.* Está asociado con los valores del centro decisor relacionados con una realidad objetiva. Estos valores se pueden definir mediante una función matemática  $f(x)$  de las variables de decisión, y se miden de forma independiente de los deseos del decisor. En el caso de los primeros modelos monocriterio, el atributo era el beneficio, mientras que en los modelos multiatributo, además del beneficio, existen otros como el riesgo o la mano de obra. Se pueden clasificar los atributos según la dirección en la que crece la función objetivo Yoon y Hwang (1995): (a) positivos, en el caso de que un aumento cuantitativo de ese atributo nos reporte mayor satisfacción (por ejemplo el beneficio); (b) negativos, en el caso de que la mayor satisfacción nos la reporte una menor cantidad del atributo (por ejemplo el riesgo o el coste); y (c) de rango, cuando el valor óptimo se encuentra dentro de un intervalo.

*Objetivo.* Representa la dirección de mejora del atributo. Esto se interpreta como la maximización del atributo del que se quiere más y la minimización del atributo del que una menor cantidad reporta más satisfacción. Como ejemplo se puede citar la maximización del beneficio o de las ventas, y la minimización del riesgo o de los costes. En general, los objetivos toman la forma:  $\text{Max } f(x)$  o  $\text{Min } f(x)$ .

*Meta.* Se refiere al nivel de aspiración que se quiere alcanzar con un objetivo. La combinación de un atributo con un nivel de aspiración genera una meta. La meta se puede expresar como alcanzar un nivel mínimo, por ejemplo llegar a una cantidad mínima de beneficio o tener unos ingresos mínimos por encima de un determinado nivel de aspiración, que se representaría como  $f(x) \geq t$ , donde  $t$  representa el nivel de aspiración, o se puede expresar como la consecución de un nivel determinado, que se representaría como  $f(x) = t$ .

*Criterio.* El término criterio engloba a los tres conceptos anteriores. Esto es, los criterios constituyen los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes para un cierto problema de decisión.

Como resumen de estos tres conceptos, por ejemplo, el beneficio es un atributo, maximizar el beneficio es un objetivo, y alcanzar un determinado nivel de beneficio constituye una meta.

*Restricción.* Es una condición o valor del atributo que tiene que cumplirse necesariamente, ya que de lo contrario la solución sería imposible. La expresión matemática de una restricción es semejante a la de una meta, pero su significado es distinto. Las restricciones marcan los límites, tanto superiores como inferiores, del conjunto de soluciones posibles para el objetivo buscado. Habitualmente, son inecuaciones que deben cumplirse, de manera que al combinarlas todas nos resulta el espacio de soluciones posibles.

*Función objetivo.* Es la combinación de objetivos individuales que se persiguen al mismo tiempo. Si solo hay un atributo, la función estará formada por un solo objetivo, en cuyo caso se representaría como

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \pi_i \cdot x_i$$

Donde  $x_i$  es la superficie de cada uno de los  $n$  cultivos y  $\pi_i$  es la cantidad de atributo, por ejemplo, el beneficio asociado a cada uno de los cultivos, en caso de que el beneficio fuera el atributo que forma la función objetivo.

*Valor dual o precio sombra.* Representa el valor, en términos de coste de oportunidad, o de precios implícitos, de los recursos asignados a la solución óptima. Nos indica cuánto mejoraría el valor de la función objetivo en el punto solución si dispusiéramos de una unidad adicional del recurso. Se trata, por tanto, del valor del producto marginal del recurso que se trate.

### 2.3. Clasificación de las técnicas multicriterio

Como se ha comentado previamente, en la realidad hay muchos objetivos en conflicto que se quieren maximizar, y a lo largo de la historia han aparecido distintas técnicas multicriterio que vamos a pasar a resumir. La clasificación que se muestra a continuación se apoya en la clasificación previamente hecha por Arriaza (2000), que se basa en Massam (1988) y Munda (1995), pero también se apoya en la clasificación que hace Romero (1993).

De entrada, las técnicas multicriterio, que dan nombre a todo el conjunto de técnicas, se pueden dividir en tres ramas diferentes (Massam, 1988): (a) Decisión

multiobjetivo (Multi-Objective Decision-Making - MODM), (b) decisión multiatributo (Multi-Attribute Decision Making - MADM) y (c) la teoría de la decisión pública. En la decisión multiobjetivo, el número de alternativas posibles es infinito y el objetivo es encontrar la frontera eficiente que maximiza un conjunto de funciones objetivo. El decisor no articula sus preferencias hasta el final del proceso de decisión, consistiendo la tarea del analista en ofrecer el conjunto de soluciones eficientes al decisor. En la decisión multiatributo, el conjunto de alternativas está acotado y el objetivo es seleccionar la mejor alternativa de acuerdo a los valores alcanzados por cada atributo. Finalmente, la teoría de la decisión pública trata de maximizar la satisfacción de un colectivo. Aunque todavía no tenemos los argumentos suficientes para definirlo, es adecuado adelantar que en la presente tesis se sigue la vía de la decisión multiatributo.

Romero (1993), en su libro *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*, clasifica los modelos en programación multiobjetivo, programación por metas y programación multiatributo. El primero se emplearía cuando el centro decisor toma sus decisiones en un contexto de objetivos múltiples, en el que primero se busca un conjunto eficiente de soluciones y se establece el compromiso óptimo entre estas soluciones eficientes. La programación por metas sería el enfoque a considerar cuando el centro decisor tiene que tomar una decisión en un contexto de metas múltiples, minimizando las desviaciones respecto a los niveles de aspiración fijados. En el enfoque utilitario con atributos múltiples lo que se persigue es obtener un agregado (ya sea aditivo o multiplicativo) de las utilidades individuales de los atributos. Nosotros vamos a seguir el criterio de Massam (1988), incluyendo la programación por metas dentro de las técnicas de decisión multiatributo.

Dentro de la programación multiobjetivo, Romero (1993) considera (a) el método de las restricciones (Marglin, 1967), (b) el método de las ponderaciones (Zadeh, 1963) y (c) otras técnicas como la NISE (Non Inferior Set Stimulation, Cohon, 1978). En el método de las restricciones se optimiza uno de los objetivos y se incluyen los otros en el conjunto de restricciones. Este método permite una aproximación al conjunto de soluciones eficientes. El método de las ponderaciones consiste esencialmente en combinar todos los objetivos en una sola función, asignando un peso o coeficiente de ponderación a cada uno. Mediante una variación paramétrica de los pesos, se generan las soluciones eficientes. Estas soluciones son únicamente soluciones extremas eficientes. Por último, el método NISE permite generar el conjunto de soluciones extremas eficiente para problemas bicriterio, aunque posteriormente el método NISE ha sido extendido para tratar problemas con tres objetivos (Balachandran y Gero, 1985). Una vez generada la matriz de pagos, se continúa con el método de ponderación, con la diferencia de que, en este caso, el cociente de los coeficientes de

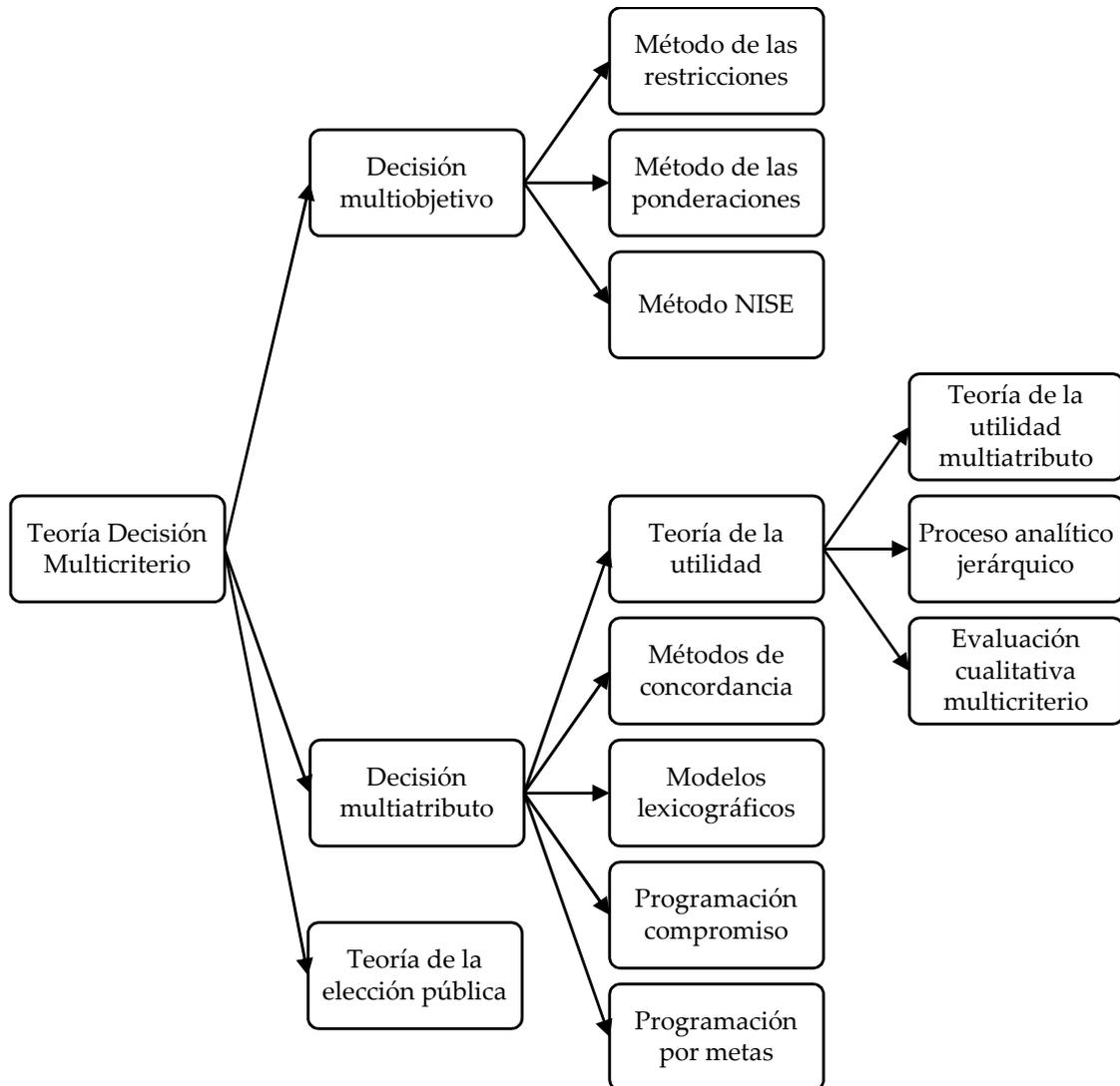
ponderación aplicados a cada uno de los dos objetivos es igual a la pendiente de la recta que une las dos soluciones de la matriz de pagos.

El mayor inconveniente de la programación multiobjetivo es obtener como resultado un conjunto infinito de soluciones óptimas, que constituyen el conjunto eficiente, por lo que en muchas ocasiones al centro decisor le resulta difícil elegir una solución concreta.

Según Munda (1995), las técnicas multiatributo se pueden clasificar en seis categorías:

1. Teoría de la Utilidad, con tres enfoques
  - a. Teoría de la utilidad multiatributo, que se basa en la premisa de que el decisor tiene un comportamiento que se puede representar mediante la maximización de una función con todos los atributos (Keeney and Raiffa, 1976). Esta teoría emana de los supuestos de racionalidad que subyacen al paradigma del utilidad esperada cuya base axiomática fue creada por von Neumann and Morgenstern (1944).
  - b. Proceso analítico jerárquico. Desarrollado por Saaty (1980), estructura el problema en diferentes niveles correspondientes a meta, criterio, subcriterio y alternativa. Segregando el problema en niveles, el centro decisor puede centrarse en pequeños conjuntos de decisiones.
  - c. Evaluación cualitativa multicriterio. Los atributos son medidos en una escala de medida ordinal, binaria o nominal. Se usan mucho en modelos relacionados con el territorio, muchas veces junto a sistemas de información geográfica. Una revisión de este método puede encontrarse en Voogd (1983).

Figura 2. Principales técnicas de decisión multicriterio



Fuente: Romero (1993) y Arriaza (2000) a partir de Massam (1988) y Munda (1995)

2. Métodos de concordancia. Se basa en el concepto de sobreclasificación. Una alternativa A sobreclasifica a una alternativa B si A es al menos tan buena como B. Uno de los primeros métodos es el ELECTRE (*elimination et choix traduisant la réalité*) (Benayoun et al., 1966; Roy, 1968), que consiste en un procedimiento para reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes.
3. Modelos lexicográficos. Según Romero (1993), este sería un subconjunto de la programación por metas, donde el centro decisor asocia prioridades excluyentes a las diferentes metas. Así, las metas situadas en la prioridad más alta se satisfacen en

la medida de lo posible, y sólo entonces se considera la posible satisfacción de metas situadas en prioridades inferiores.

4. Método del punto ideal. Llamado también programación compromiso (Yu, 1973; Zeleny, 1973), trata de que el punto optimizado se acerque lo más posible al punto ideal en situaciones de objetivos en conflicto.
5. Programación por metas o modelos de niveles de aspiración (Charnes et al., 1955; Charnes y Cooper, 1957). El centro decisor articula sus preferencias en primer lugar, asignando un conjunto de pesos a los distintos criterios que indican la intensidad de preferencias. A partir de estos pesos, el analista genera una única decisión.

Podemos encontrar un artículo general sobre el estado de la cuestión en Dyer et al. (1992) y una revisión de metodologías multicriterio y multiatributo en Hayashi (2000).

#### **2.4. Otras clasificaciones de los modelos**

Además de la clasificación antes descrita, en la que ya distinguimos entre la optimización de una sola variable y la de varias, ya sea multiobjetivo, multiatributo o de elección pública, hay otra serie de criterios para distinguir unos modelos de otros, que además pueden estar enmarcados en cualquiera de los tipos comentados en el apartado anterior.

Uno de ellos ya se ha comentado brevemente, y es la distinción entre modelos lineales y no lineales o cuadráticos. Serán lineales todos aquellos modelos monocriterio o multicriterio cuyas variables de decisión estén elevadas a la unidad. Esta distinción va más allá de una mera etiqueta, ya que los modelos lineales tienen que cumplir una serie de asunciones (Hazell and Norton, 1986):

1. Optimización. Se asume que una apropiada función de utilidad es maximizada o minimizada.
2. Fijeza. Al menos una restricción tiene un coeficiente distinto de cero en el lado derecho de la inecuación.
3. Finitud. Se asume que hay una cantidad finita de actividades y restricciones a ser consideradas para que la solución pueda ser hallada.
4. Determinismo. Todos los coeficientes de las variables en el modelo se asume que son constantes.
5. Continuidad. Se asume que tanto los recursos que pueden ser usados como las actividades producidas puedan ser cantidades fraccionales.

6. Homogeneidad. Se asume que todas las unidades de un mismo recurso o actividad son idénticas.
7. Aditividad. Se asume que las actividades pueden ser aditivas en el sentido de que cuando se usan dos o más, su producto total es la suma de sus productos individuales. Esto es, no se permite efectos de interacción entre actividades.
8. Proporcionalidad. Se asume que el margen bruto y los requisitos de recursos por unidad de actividad son constantes para cualquier nivel de actividad. Un margen bruto constante por unidad de actividad implica una curva de demanda perfectamente elástica para el producto y un abastecimiento perfectamente elástico de cualquier input que pueda ser usado. Los requisitos de recursos constantes por unidad de actividad son equivalentes a una función de producción de Leontief. Esto es, una recta trazada desde el origen.

Podemos clasificar también los modelos en normativos y positivos. Los modelos normativos son aquellos que tratan de buscar la mejor opción existente dada las condiciones iniciales, aportando recomendaciones para la consecución de los objetivos propuestos. Por el contrario, los modelos positivos no tratan de mejorar la realidad, sino de representarla tal cual es, lo que nos permite hacer predicciones en el caso de que cambien las condiciones de entorno (Friedman, 1966).

Los modelos también pueden ser estáticos o dinámicos. La mayoría de los modelos son estáticos, tratando un problema en un momento concreto del tiempo sin retroalimentación. Un modelo dinámico es aquel en el que una decisión dada afecta a la decisión futura, de manera que el modelo se va retroalimentando con la información anterior. Por ejemplo, un modelo por etapas en el que se modelice la siembra, el crecimiento y la recolección sería un modelo dinámico. A su vez, un modelo dinámico puede ser multietápico o multiperiodo (Antle, 1983). Un ejemplo de multietápico puede ser el mencionado, en el que se va sucediendo una etapa detrás de otra, de manera que el output de una etapa influye en la siguiente; sin embargo, en un modelo multiperiodo, las elecciones tomadas en un periodo concreto condicionan las elecciones del siguiente periodo, en el que el proceso productivo se inicia de nuevo. Normalmente, los modelos multiperiodo están relacionados con inputs pasados, como las inversiones, fertilidad del suelo, persistencia de pesticidas en el periodo anterior, etc. Sin embargo, en el caso de un modelo de crecimiento de una plantación de leñosos podríamos estar hablando de multietápico y multiperiodo, ya que la plantación sigue etapas de crecimiento, pero cada etapa se produce en un periodo diferente, donde puede estar asociado a otros cultivos anuales (p.ej. López-Baldovín et al.,

2005). Por lo tanto, un modelo dinámico puede ser multiperiodo, pero un modelo dinámico no tiene por qué ser multiperiodo, ya que puede ser multietápico.

Otra diferenciación por pares entre modelos es el caso de los modelos estocásticos y determinísticos. Los modelos estocásticos serán aquellos en los que haya elementos aleatorios, frente a los determinísticos, en los que se suministra toda la información al modelo. Según la Real Academia de la Lengua Española, estocásticos significa “perteneciente o relativo al azar”, o en su segunda acepción, “Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado”.

## 2.5. La Programación Matemática Positiva (PMP)

La Programación Matemática Positiva (PMP) es una metodología desarrollada para calibrar los modelos de programación a las cantidades observadas mediante el uso de la información contenida en las variables duales de las restricciones de calibración, generando una función objetivo no lineal (Heckeley, 1997). El enfoque estándar se puede atribuir a Howitt, pero la técnica ha sido empleada en una serie de trabajos pragmáticos de modelos de políticas orientadas mucho antes de que Howitt (1995) presentara un tratamiento más riguroso de los antecedentes metodológicos (Bauer and Kasnakoglu, 1990; Horner et al., 1992; House, 1987; Kasnakoglu and Bauer, 1988).

Considérese el siguiente problema de programación lineal de maximización del beneficio:

$$\begin{aligned} \max_x Z &= p'x - c'x \\ \text{Sujeto a} & \\ Ax &\leq b \quad [\lambda] \\ x &\geq 0 \end{aligned} \tag{2.1}$$

donde

$Z$  = Valor de la función objetivo

$p$  = vector ( $N \times 1$ ) de precios de los productos

$x$  = vector ( $N \times 1$ ) de niveles de actividad de producción

$c$  = vector ( $N \times 1$ ) de costes contables por unidad de actividad

$A$  = matriz ( $M \times N$ ) de coeficientes de las restricciones de los recursos

$b$  = vector ( $M \times 1$ ) de cantidades disponibles de recursos

$\lambda$  = vector ( $M \times 1$ ) de variables duales asociadas a las restricciones de recursos

El problema (2.1) podría representar un problema de optimización a nivel de explotación o algún nivel de agregación superior, como se usa habitualmente en la modelización aplicada de políticas agrarias. Hasta la fecha, estos modelos solían mostrar cierto grado de sobre especialización. Esto es, no se ajustaban bien a las cantidades observadas y habitualmente proporcionaban una solución en la que alguna actividad sobresalía por encima de las demás, no apareciendo muchas de ellas. Esto se debe principalmente a que el número de restricciones es menor que el número de actividades, de manera que la especialización debe aparecer por diseño. Además, el problema de la especialización es generalmente más severo en modelos agregados por varias razones (Howitt, 1995; Heckeley, 1997):

1. El número de restricciones justificables empíricamente en relación al número de actividades es menor comparado con el nivel de explotación.
2. Las restricciones computacionales, de datos y de tiempo habitualmente no permiten especificar la no linealidad en modelos agregados, que obligaría a la aparición de más actividades productivas en la solución.
3. Por la misma razón, la endogeneidad de los precios y el comportamiento frente al riesgo no se incorporan habitualmente a la función objetivo del modelo, que conseguiría cierta tendencia hacia la diversificación.

Como ya adelantamos en la introducción, los modelos de programación matemática son muy utilizados por los centros de decisión públicos para el análisis de políticas. Por tanto, los modelos que no sean capaces de reproducir lo más fielmente posible la realidad observada difícilmente van a ser bien vistos por los decisores políticos. Si no se tienen en cuenta muchos de los factores a la hora de determinar el comportamiento de la oferta, hace que sea muy cuestionable la utilidad de estos modelos para la toma de decisión política. Por esta razón los analistas invierten un esfuerzo significativo en calibrar los modelos de manera que reproduzcan de la manera más fiel posible la realidad. En muchas ocasiones, para que la calibración se aproxime más a la observación, se introducen más restricciones de rotación (Meister et al., 1978), o límites superiores e inferiores para las actividades (Day, 1964), y otras restricciones *ad hoc* a veces difícilmente justificables. Una extensa revisión y discusión de métodos de calibración pre-PMP puede consultarse en Hazell and Norton (1986) y Bauer and Kasnakoglu (1990).

La introducción de una función objetivo no lineal para la inclusión del riesgo o los precios endógenos produce mejores opciones para solucionar la sobre especialización

(Heckeley, 2002). Sin embargo, la experiencia muestra (p. ej. Meister et al., 1978) que el problema no desaparece totalmente.

Con estos antecedentes, es comprensible el éxito de la PMP en el sector agrario, porque no sólo es un método elegante para calibrar exactamente la solución del modelo a las cantidades observadas, sino que también promete un comportamiento en la simulación más flexible y realista (Heckeley, 1997).

### 2.5.1. Procedimiento de la PMP

El desarrollo del procedimiento de la PMP se ha adaptado de Heckeley (1997 y 2002), que emana del método explicado por Howitt (1995).

La idea general es usar la información contenida en las variables duales de las restricciones de calibración, que limitan el problema de programación lineal a las cantidades observadas de actividad en la realidad (fase 1). Estos valores duales se utilizan para especificar una función objetivo no lineal de manera que los niveles observados de actividad se reproducen al calcular la solución de esta nueva especificación del problema de programación sin usar límites (fase 2).

La fase 1 de este proceso se describe formalmente como la extensión del modelo (2.1) de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \max_x Z &= p'x - c'x \\
 \text{Sujeto a} \\
 Ax &\leq b \quad [\lambda] \\
 x &\leq (x^o + e) \quad [\rho] \\
 x &\geq [0]
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Donde

$x^o$  = vector ( $N \times 1$ ) de niveles de actividad observados

$e$  = vector ( $N \times 1$ ) de pequeños números positivos

$\rho$  = variables duales asociadas a las restricciones de calibración

La adición de las restricciones de calibración forzará a la solución óptima del modelo de programación lineal (2.1) a reproducir exactamente los niveles de actividad  $x^o$  observados en el año base, teniendo en cuenta que las restricciones de recursos específicas deben permitir esta solución, puesto que de lo contrario no estarían bien formuladas; esto es, la solución observada debe estar dentro de la frontera de posibilidades de elección.

Cuando hablamos de calibración exacta se quiere decir que está dentro del estrecho rango de las perturbaciones  $e$ , que evitan rigideces en el modelo.

Podemos dividir el vector  $x$  en dos subconjuntos, un vector  $((N - M) \times 1)$  de actividades 'preferibles',  $x^p$ , que están restringidas por las restricciones de calibración, y un vector  $(M \times 1)$  de actividades 'marginales',  $x^m$ , que están restringidas por las restricciones de recursos. Para simplificar la notación, sin perder generalidad, asumimos que todos los elementos  $x^o$  no son ceros y todas las restricciones de recursos están dentro de los límites. Entonces, las condiciones de Kuhn-Tucker implican que:

$$\rho^p = p^p - c^p - A^p \lambda \quad (2.3)$$

$$\rho^m = [0] \quad (2.4)$$

$$\lambda = (A^m)^{-1}(p^m - c^m) \quad (2.5)$$

donde los superíndices  $p$  y  $m$  indican los subconjuntos de vectores y matrices correspondientes a las actividades preferibles y marginales, respectivamente. Los valores duales de las restricciones de calibración son cero para las actividades marginales  $\rho^m$  e iguales a la diferencia de precio y coste marginal para las actividades preferibles  $\rho^p$ , estas últimas siendo la suma del coste variable por unidad de actividad  $c$  y el coste marginal de usar recursos fijos ( $A^p \lambda$ ). Debe hacerse notar aquí que los valores duales de las restricciones de recursos ( $\lambda$ ) sólo dependen de las entradas de la función objetivo y de los coeficientes de las actividades marginales.

En la fase 2 del proceso, las variables duales asociadas a las restricciones de calibración para el subconjunto  $p(\rho^p)$  son empleadas para especificar una función objetivo no lineal de manera que el coste marginal de las actividades preferibles son iguales a sus respectivos precios en el nivel de actividad del año base  $x^o$ . Dado que la función de costes variables implícita tiene las propiedades de curvatura apropiadas (convexa en niveles de actividad) la solución al problema de programación resultante será un "punto de la frontera, que es la combinación de las restricciones y las condiciones de primer orden" (Howitt, 1995).

En principio, cualquier tipo de función no lineal con las propiedades requeridas sirve para este paso. Por razones de simplicidad computacional y falta de razones de peso para otro tipo de funciones, habitualmente se emplea una función de costes cuadrática

(excepciones: Paris and Howitt, 1998, 2001). La versión general de esta función de costes variable es:

$$C^v = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \quad (2.6)$$

donde

$d$  = vector ( $N \times 1$ ) de parámetros asociados con el término lineal y

$Q$  = matriz simétrica, positiva y (semi-) definida ( $N \times N$ ) de parámetros asociados con el término cuadrático.

Entonces, los parámetros se especifican de manera que el coste variable marginal ( $MC^v$ ) cumpla

$$MC^v = \frac{\partial C^v(x^o)}{\partial x} = d + Qx^o = c + \rho \quad (2.7)$$

Nótese, sin embargo, que la derivada de esta función de costes variable no incorpora el coste de oportunidad de los recursos fijos ( $A^p \lambda$ ). Estos están integrados en el modelo definitivo por los valores duales de las restricciones de los recursos.

Dado que tenemos un conjunto de parámetros que satisfacen (2.7), obtenemos el problema final de programación no lineal que reproduce los niveles de actividad observados como

$$\begin{aligned} \max_x Z &= p'x - d'x - \frac{1}{2}x'Qx \\ \text{Sujeto a} & \\ Ax &\leq b \quad [\lambda] \\ x &\geq [0] \end{aligned} \quad (2.8)$$

En este momento hay que hacer notar que los valores duales de las restricciones de recursos en el modelo (2.8) para  $x^o$  no difieren de los obtenidos en el modelo (2.2). Los valores duales siguen estando determinados por la rentabilidad marginal de las actividades marginales a sus niveles observados  $x^{om}$ ,  $(A^{m'})^{-1}[p^m - (d^m + x^{om}q^m)]$ , que es igual a  $(A^{m'})^{-1}[p^m - c^m]$  en el paso especificado debido a (2.4) y (2.7). Consecuentemente, el valor de la ecuación (2.5) permanece constante.

### 2.5.2. *Ventajas y desventajas de la PMP*

La Programación Matemática Positiva tiene algunas ventajas con respecto a las soluciones anteriores. En primer lugar, permite la calibración perfecta sin restricciones artificiales. En segundo lugar, los términos no lineales permitidos para soluciones interiores superan el problema de exceso de especialización de la programación lineal. En tercer lugar, suaviza las reacciones a los estímulos exógenos, que prometen un comportamiento más realista de simulación. Estas dos últimas propiedades las comparten con otros enfoques que empleen una función objetivo no lineal. En cuarto lugar, en comparación con una solución donde se introducen límites, el impacto de la PMP en el comportamiento de la simulación se considera menos grave (Heckelei y Britz, 2005). En quinto lugar, una característica bastante atractiva de la PMP es que se trata de un proceso genérico que puede ser totalmente automatizado. Esto significa que se puede adaptar y usar fácilmente en diferentes regiones y explotaciones tipo sin necesidad de añadir información específica de la zona (Kanellopoulos et al., 2010). Esta característica es importante para el análisis a nivel sectorial, nacional o superior, donde la información es limitada, el conocimiento sobre políticas y restricciones está fragmentada y los recursos invertidos en desarrollar un modelo son limitados (Heckelei, 1997).

Una de las primeras desventajas que se observan es que las restricciones tecnológicas que no son capaces de reproducir los niveles observados en el año base, no van a poder reproducir el comportamiento frente a cambios de entorno.

Otra importante limitación de la aproximación estándar de la PMP se refiere a las restricciones arbitrarias impuestas para algunos de los parámetros del modelo, especialmente la asunción de que el margen bruto de la actividad menos preferida es constante cuando se asume que los márgenes del resto de actividades decrecen con el aumento del nivel de actividad. Estas restricciones son necesarias para estimar los parámetros que se basan sólo en la observación de un año (Kanellopoulos et al., 2010). Esto se debe a que el precio sombra de esa actividad es cero, por lo que no tendrá costes decrecientes provenientes de los valores duales.

Otra limitación del método es que básicamente enmascara cualquier error en las restricciones tecnológicas, errores en los datos, sesgo por agregación o comportamiento frente al riesgo, ya que el método será capaz de calibrar cualquier modelo por muy mal especificado que esté. Es necesaria una descripción explícita de las asunciones del modelo para asegurar una buena interpretación de los parámetros y de los resultados (Kanellopoulos et al., 2010).

Sin embargo, el problema fundamental de la aproximación estándar de la PMP es que no implica ningún realismo respecto a la respuesta del modelo calibrado frente a cambios de entorno. De hecho, las condiciones de primer y segundo orden permiten prácticamente cualquier magnitud de respuesta del modelo resultante.

El problema de la condición (2.7) es que implica un problema de especificación infradeterminada siempre y cuando se considere una forma funcional flexible. En el caso de función cuadrática flexible de segundo orden tenemos  $N+N(N+1)/2$  parámetros que se intentan especificar sobre la base de  $2N$  piezas de información (las ecuaciones del coste variable marginal (2.7)). Por tanto hay un número infinito de conjuntos de parámetros que satisfacen estas condiciones y que, en consecuencia, llevan a un modelo perfectamente calibrado, pero que implican diferentes comportamientos de respuesta frente a cambios de entorno (Heckelei, 2002). Esta sería la principal inconsistencia de la Programación Matemática Positiva.

Este problema ha tratado solventarse mediante varios métodos como el uso de elasticidades de la oferta exógenas al modelo, calibrado del modelo mediante el método de la máxima entropía o una especificación basada en rendimientos marginales decrecientes. Para más información sobre estos métodos se puede consultar Heckelei (2002).

El problema base de lo anterior es la escasa base de información proveniente de la observación de los niveles de actividad en un único año. De hecho, los datos en este caso no proporcionan ninguna información de las propiedades de segundo orden (matriz Hessiana) de la función objetivo. Si no se observa un cambio en el comportamiento de respuesta cuando hay un cambio en los incentivos económicos, entonces la información para la especificación de los parámetros debe provenir de otras fuentes. Incluso si se es capaz de especificar el modelo 'real' respecto a las asunciones de comportamiento y forma funcional, los parámetros aún no están identificados. El único uso adecuado de la PMP con una sola observación es el uso como un método de calibración en combinación con elasticidades u otra información exógena sobre tecnología o comportamiento de respuesta respecto a los cambios en los niveles de actividad.

La cuestión es si el método de la PMP está diseñado para hacer un mejor uso de información adicional. Se ha mostrado que las condiciones marginales derivadas de la primera fase de la PMP son inapropiadas. Representan un modelo falto de especificación en el sentido de que la inclusión de observaciones adicionales nunca permitirá recuperar el modelo implícito que se asume que ha generado los datos.

Parece ser que muchos modelizadores de PMP piensan que el modelo final con una función objetivo no lineal a ser optimizada bajo restricciones lineales de recursos es una razonable representación del comportamiento del productor agrario, pero no tiene sentido usar esta estructura como la especificación definitiva.

La segunda fase de la PMP usa unos valores duales erróneos para los niveles de actividad observados a través de la aplicación de las ecuaciones de coste marginal (2.7), haciendo, por tanto, que implícitamente se estén usando valores erróneos para el coste variable marginal. Con esta discrepancia, es imposible obtener la verdadera función objetivo no lineal sin importar cuantas observaciones de los niveles de actividad se usen. El uso de las ecuaciones de costes marginales sesgadas, como la estimación de ecuaciones en algún ejercicio econométrico con múltiples observaciones, por lo general, conduce a estimaciones inconsistentes. El enfoque PMP es fundamentalmente erróneo en el sentido de que impone condiciones de primer orden que son incompatibles con el modelo no lineal que en última instancia intenta obtener (Heckeley, 2002).

En principio, los problemas con los valores duales de las restricciones de recursos habían sido reconocidas antes del trabajo de Heckeley (2002). Los autores (Gohin and Chantreuil, 1999), Cypris (2000) y Röhm (2001) sugirieron incluir rentas de la tierra observadas en el paso de la especificación para asegurar un valor más razonable.



---

## Capítulo 3.

# Entorno económico e institucional

---

### 3.1. La volatilidad de los mercados agrarios

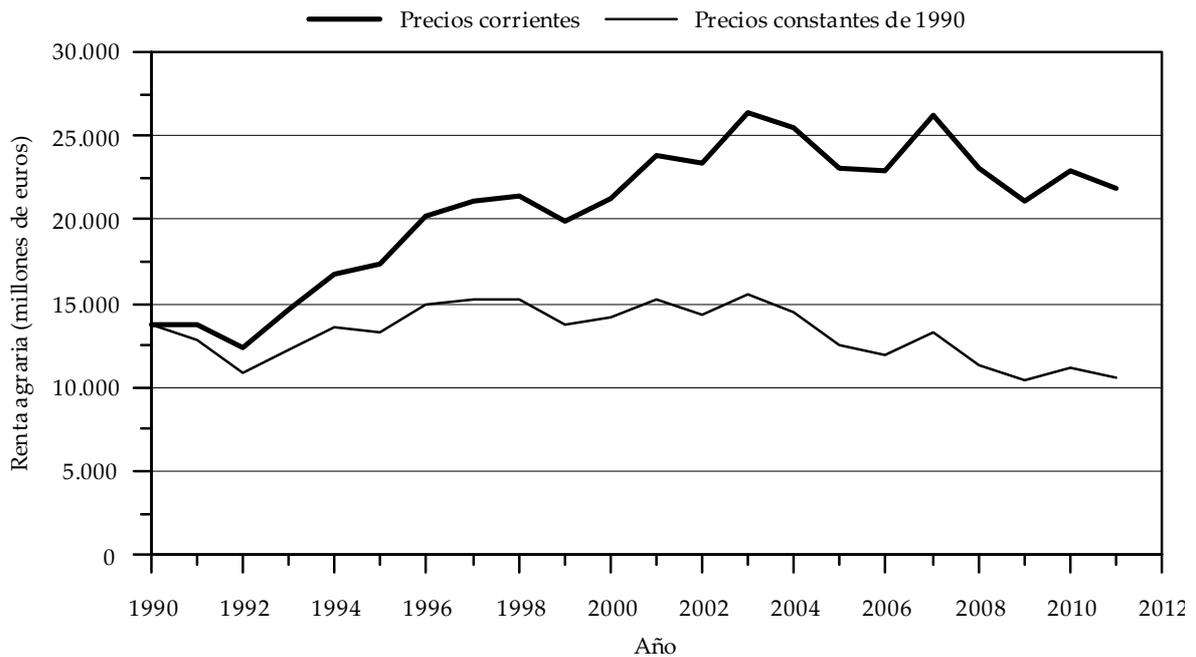
Existe una gran incertidumbre en el sector agrario debido a varios factores. El descenso de la renta agraria, que refleja la dificultad cada vez mayor de conseguir una rentabilidad suficiente, que en muchos casos lleva a que la agricultura sea una actividad a tiempo parcial; la variabilidad de los precios de los productos agrarios, como veremos más adelante; la incertidumbre procedente del marco legislativo proveniente de la Política Agraria Común; el incremento de los precios de los inputs, sobre todo la energía; la escasez del agua y su cada vez menor garantía. Vayamos analizando poco a poco estos factores de incertidumbre.

#### 3.1.1. *La renta agraria*

La situación del sector agrario, en general, no ha sido buena en los últimos tiempos. La renta del agricultor, en vez de incrementarse como podría ocurrir en otros sectores, se ve disminuida cada vez más. La Figura 3 muestra en valores corrientes y constantes la

evolución de la renta agraria<sup>1</sup>. A partir de los datos utilizados se puede apreciar que aunque en términos corrientes la renta agraria ha crecido un 59% entre 1990 y 2011, en términos reales, descontando la inflación, ha disminuido un 23%, pasando de los 13.765 mill€ de 1990 a los 10.559 mill€ de 2011.

Figura 3. Evolución de la renta agraria



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

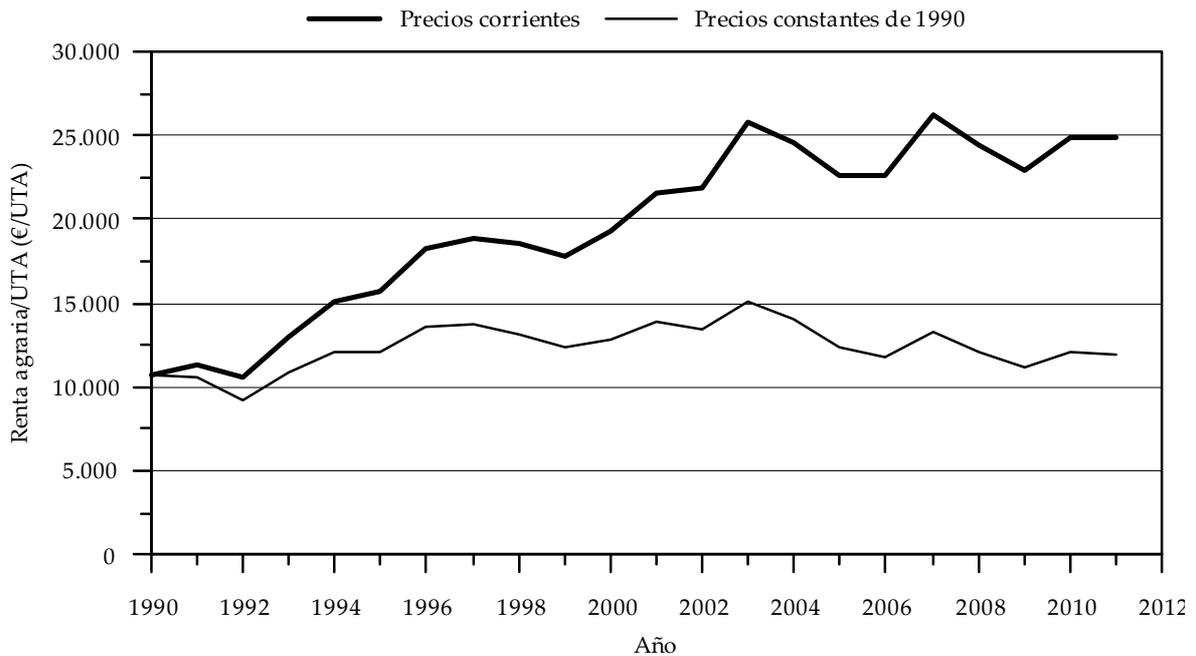
Pero esta tendencia general a la baja no nos debe llevar al equívoco de que la renta agraria por agricultor ha disminuido. Sólo es indicativo de que el sector genera menos renta. Efectivamente, si dividimos la renta agraria total entre el número de UTAs<sup>2</sup> (Unidad Trabajo

<sup>1</sup> Para determinar los valores constantes se ha utilizado el deflactor del PIB, que es el cociente entre el PIB a precios corrientes y el PIB a precios constantes. Resulta ser el índice más apropiado para medir la evolución de los precios de los bienes (incluidos los de capital) y servicios finales producidos (en el IPC figuran los "consumidos") en una economía (en el IPC también figuran los importados) durante un periodo de tiempo. La cesta de los bienes y servicios es variable en el deflactor y fija en el IPC mientras no se cambie la base. Su valor se obtiene a partir de la Contabilidad Nacional.

<sup>2</sup> Es la unidad que se utiliza para medir el trabajo en la explotación agraria. Equivale al trabajo que realiza una persona a tiempo completo a lo largo del año, estimado en un mínimo de 275 jornadas o 2.220 o más horas.

Año), el resultado es que la renta agraria por UTA sí que ha crecido en términos reales, aunque no en exceso. La siguiente figura muestra la evolución de la renta agraria por UTA tanto en términos corrientes como constantes de 1990.

Figura 4. Evolución de la renta agraria por UTA



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Como se puede apreciar en la gráfica, en términos corrientes la renta agraria por UTA ha crecido más del doble, en concreto un 132%, pero en términos constantes, tomando como base 1990, sólo ha crecido un 11,8% en el periodo analizado. Este dato nos aporta una lectura más real de la evolución de la renta agraria, dado que las UTAs han descendido más aún de lo que lo ha hecho la renta agraria real. Efectivamente, mientras que la renta agraria comentábamos que disminuía un 23,3%, las UTAs lo hacían un 31,4%, dando el resultado final de crecimiento para el cociente renta agraria / UTAs. La renta agraria ha disminuido, pero también lo ha hecho los trabajadores que dependen del sector, por lo que la situación final presenta un ligero ascenso, cuya tasa anual de crecimiento apenas supera el 0,5%. Una consecuencia adicional que se deriva de lo anterior es el aumento de la productividad del trabajo.

### **3.1.2. La PAC**

La Política Agraria Común juega un papel fundamental en la toma de decisiones de los agricultores ya que proporciona el marco legislativo, que como mucho cambia cada seis años, si no hay alguna revisión intermedia como viene ocurriendo en los dos últimos ciclos, haciendo que en la práctica haya cambios en el marco normativo cada tres años. A nadie se le escapa que estos continuos cambios en la política agrícola dificultan enormemente la planificación en el sector y crean una gran incertidumbre que muchas veces se traduce en falta de nuevas inversiones. La falta de continuidad en la legislación crea una gran incertidumbre, pero además, los cambios que están ocurriendo en los últimos nos llevan a una mayor liberalización del sector agrario europeo, fruto de las negociaciones de las rondas de la Organización Mundial del Comercio, por lo que las fluctuaciones en el mercado internacional afectan mucho más que antes, lo que nos lleva a uno de los temas centrales de esta tesis: la volatilidad de los precios. De la PAC se hablará más extensamente en el apartado 3.2.

### **3.1.3. Incremento del precio de la tarifa eléctrica**

Uno de los principales factores productivos que está incidiendo sobre la rentabilidad de los cultivos de regadío es el coste de la energía eléctrica. La Figura 5 muestra los ingresos y costes del sector eléctrico español. En ella no sólo se puede apreciar el incremento de precio que percibe el consumidor, sino el déficit tarifario, dado que los costes todavía están por encima de los ingresos, regulados por el estado, que hará que en los próximos años siga subiendo la tarifa eléctrica. Tras el gran esfuerzo de la modernización de los regadíos, gran parte de los mismos son más dependientes que antes del consumo de energía eléctrica, y el incremento del precio de la misma supone un reto para el sector

El regadío se ve afectado por el coste de la energía por varias vías diferentes. La primera se refiere al origen del agua. La Tabla 1 muestra el coste variable proveniente de los distintos orígenes del agua, donde puede apreciarse la necesidad de energía en el coste variable por metro cúbico de agua, además de los costes fijos por hectárea. Otra vía es la presión en la redes de distribución de las comunidades de regantes, muy incrementado tras las últimas modernizaciones de regadíos. Según datos del Inventario de Regadíos de Andalucía, el 69,7% de la superficie tiene riego a la demanda, lo que implica una red con elevación de la presión del agua, además de los saltos de altura que tengan que superar desde la toma. La última vía, más importante aún, es la del sistema de aplicación del riego.

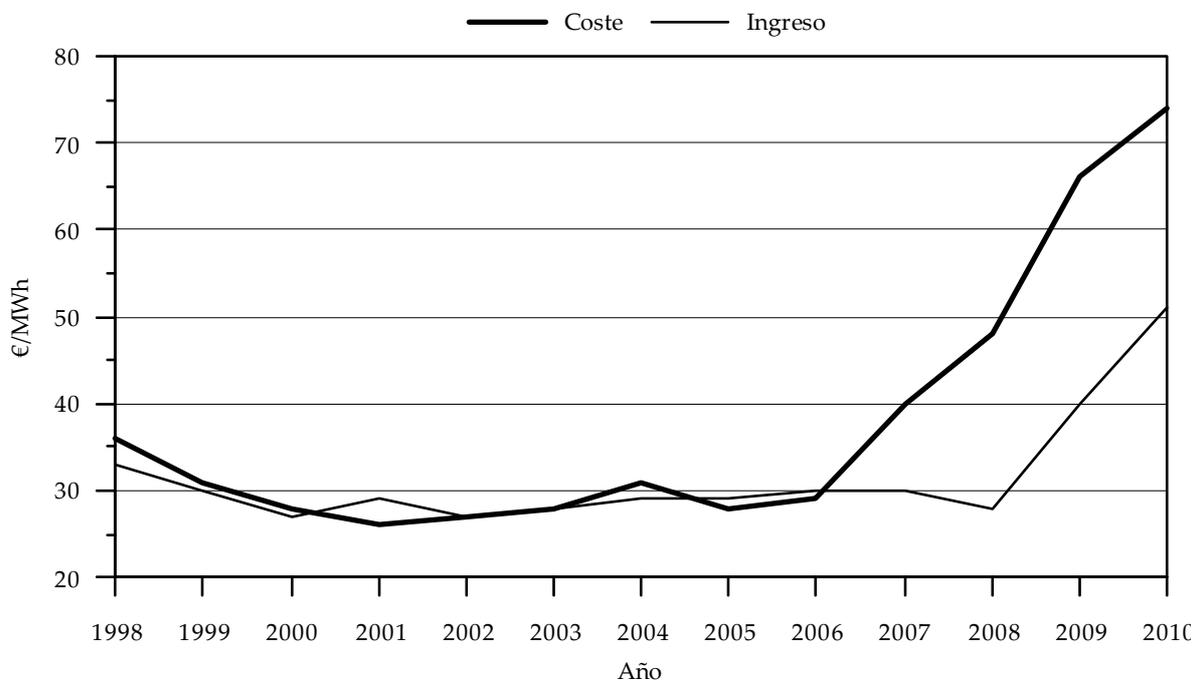
El 64% de la superficie regada en Andalucía tiene riego localizado, el 23% por gravedad y el 13% por aspersión. Esto quiere decir que el 77% del regadío se aplica a presión.

Tabla 1. Coste medio del agua por origen del recurso para Andalucía

Origen del agua	Coste agua (€/m <sup>3</sup> )	Coste agua (€/ha)
Superficial	0,059	248,46
Subterránea	0,137	350,8
Reutilizada	0,206	448,5
Desalada	0,393	1165,7

Fuente: Inventario de Regadíos de Andalucía (2008)

Figura 5. Ingreso medio y coste medio de acceso del sector eléctrico



Fuente: Comisión Nacional de la Energía (2012)

Tras el gran esfuerzo de la modernización de los regadíos, gran parte de los mismos son más dependientes que antes del consumo de energía eléctrica, y el incremento del precio de la misma supone un reto para el sector.

Tabla 2. Coste unitario de bombeos para regadíos (precios 2009)

	<b>Cultivos intensivos de invierno (fresa, invernaderos)</b>	<b>Cultivos de verano</b>	<b>Olivar (riego deficitario)</b>
Consumo de agua (m <sup>3</sup> /ha)	4.500	5.500	1.500
Altura de bombeo media (m)	195	100	245
Energía necesaria (KW-h/ha/año)	3.680	2.307	1.541
Coste total energía (€/ha/año)	274	168	110
Coste total energía por m <sup>3</sup> (€/m <sup>3</sup> )	0,061	0,031	0,073
Coste medio energía (€/KWh)	0,074	0,073	0,071
Valor de la producción (€/ha)	44.000	2.420	2.200
Coste energía/Valor producción (%)	0,6	7,0	5,0

Fuente: Corominas (2010)

En la Tabla 2 se muestran los costes medios de energía para tres grupos de cultivos en sistemas de riego modernizados, en función de los bombeos medios que requieren, poniéndose de manifiesto lo importante de la factura energética en el total de costes de las explotaciones. Estos elevados consumos energéticos, y sus correlativos costes, pueden poner en entredicho recientes transformaciones en regadío con elevados bombeos, en un escenario de paulatino aumento del coste de la energía (Corominas, 2010).

#### **3.1.4. Escasez de agua y menor garantía**

El agua es el factor más limitante en la producción agraria en regiones áridas y semi-áridas. Las regiones mediterráneas comparten características comunes con el clima árido y semi-árido, con veranos calurosos y secos e inviernos suaves y lluviosos, con gran irregularidad interanual. La importancia de la gestión del agua de riego en la agricultura mediterránea viene del hecho de que el regadío utiliza un alto porcentaje del agua de la región, siendo incluso cercano al 90% en muchos acuíferos y cuencas. La producción de cultivos es muy vulnerable al cambio climático dada la amenaza de déficits en los recursos disponibles y la seria degradación del terreno de cultivo (Berbel y Calatrava, 2011).

La Cuenca del Guadalquivir es una cuenca madura donde la oferta y la demanda de agua han ido creciendo a lo largo de los años hasta llegar a un punto en el que la oferta no puede crecer más, aunque la demanda potencial sigue creciendo. Esto ha llevado al cierre hidrológico y administrativo de la cuenca, lo que supone el compromiso de no aumentar la superficie de regadío salvo en casos muy puntuales, a veces supeditado a los ahorros de agua provenientes de la modernización del regadío (Argüelles et al., 2012).

Tabla 3. Uso de agua y abastecimiento de agua relativo en la cuenca del Guadalquivir

Cultivos	Superficie (ha)	Dosis media (m <sup>3</sup> /ha)	ETP-max (m <sup>3</sup> /ha)	ARIS
Olivar	380.930	2.281	3.678	0,62
Algodón	77.020	6.048	8.632	0,7
Cereales (invierno)	58.427	1.500	4.049	0,37
Hortalizas	49.886	6.104	5.918	1,03
Maíz	46.404	6.621	8.882	0,75
Frutales	24.795	5.386	3.879	1,39
Cítricos	22.578	5.501	4.888	1,13
Remolacha	20.185	3.730	6.732	0,55
Girasol	18.032	1.500	4.853	0,31
Leguminosas	14.806	1.500	2.215	0,68
Patatas	12.403	5.142	5.185	0,99
Others	8.549	3.490	4.900	0,71
Alfalfa	6.870	5.907	10.860	0,54
Patata media estación	6.129	6.342	8.574	0,74
Almendro	6.039	4.945	3.617	1,37
Forraje	5.470	1.500	3.600	0,42
Tabaco	4.185	6.875	7.286	0,94
Fresa	2.357	6.000	6.000	1
Total/media sin arroz	765.065	3.490	4.919	0,7
Arroz	36.092	14.000	13.196	1,06
Total/media con arroz	801.157	3.964	5.292	0,72

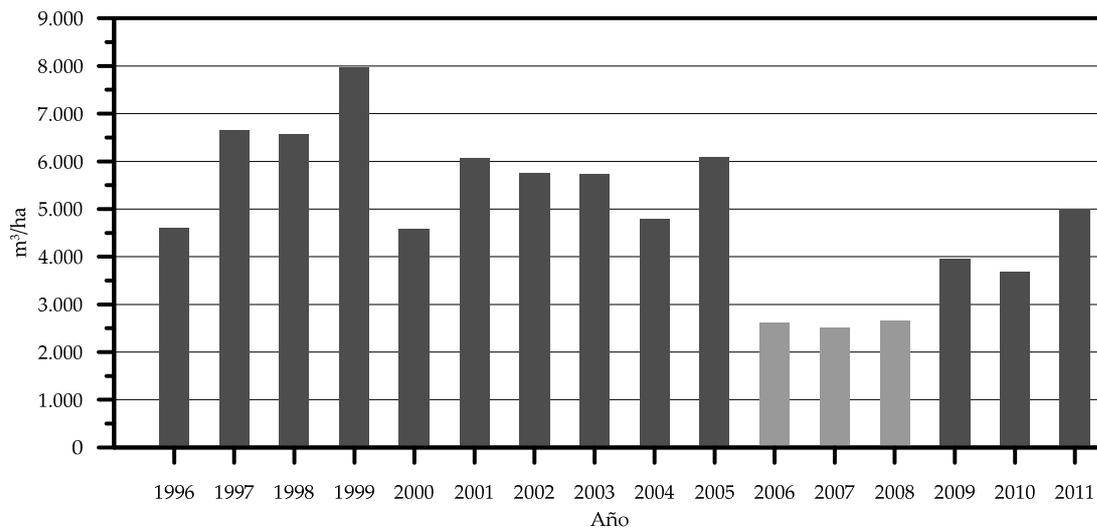
ETP-max: Evapotranspiración potencial máxima. ARIS: Annual Relative Irrigation Supply (Dosis media/ETP-max)

Fuente: Berbel et al. (2011)

Además del problema de no poder abastecer a nuevos regadíos, el principal problema es que los regadíos con concesiones no perciben la cantidad que tienen asignada. En la Tabla 3 se muestra la dosis media recibida en la cuenca frente a la máxima evapotranspiración potencial de los cultivos, que sería la cantidad de agua a aportar para una máxima producción vegetal. El cociente entre ambas nos daría el índice ARIS (siglas en inglés de *Annual Relative Irrigation Supply*), que es el porcentaje de agua utilizada sobre el máximo que puede aprovechar el cultivo.

En la Figura 6 se puede ver la dosis bruta media aportada a los cultivos por hectárea, en la que se puede observar como después de la sequía de los años 2006-2008, el consumo medio por hectárea se ha establecido en unos valores menores a los previos a la sequía gracias a la modernización del regadío llevada a cabo por las comunidades de regantes con el apoyo de las administraciones.

Figura 6. Uso de agua bruta media ( $m^3/ha$ ) en la cuenca del Guadalquivir

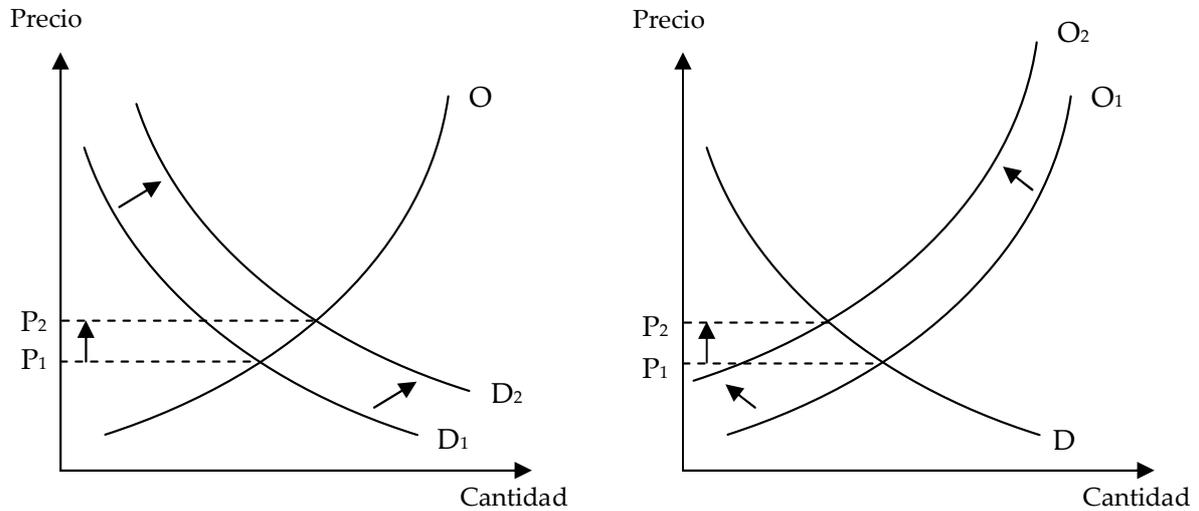


Fuente: Berbel y Calatrava (2011)

### 3.1.5. La volatilidad de los precios

El sector agrario siempre ha estado sujeto a una gran variabilidad de precios debido principalmente a las variaciones en la demanda a nivel mundial y a las fluctuaciones climáticas que afectan a la oferta, principalmente (p.ej. Quiroga e Iglesias, 2009). Cada una de estas causas afecta al precio final de equilibrio. Si se incrementa la demanda, manteniéndose estable la oferta, el precio subirá, y viceversa. Por el lado de la oferta, la meteorología afecta a la producción final agraria, de manera que si la producción disminuye por problemas meteorológicos nos encontramos con que la misma demanda debe ser atendida con una menor oferta, lo que resulta en subida de precios. La siguiente figura muestra cómo se puede llegar a un mismo incremento del precio por variaciones en la demanda y en la oferta, respectivamente. Cuando la demanda se expande lo hace desplazando la curva hacia la derecha y arriba, llegando a un nuevo punto de equilibrio donde  $P_1$  ha pasado a  $P_2$ . Cuando la oferta se contrae, lo hace desplazándose hacia la izquierda y arriba, provocando también una subida de precios.

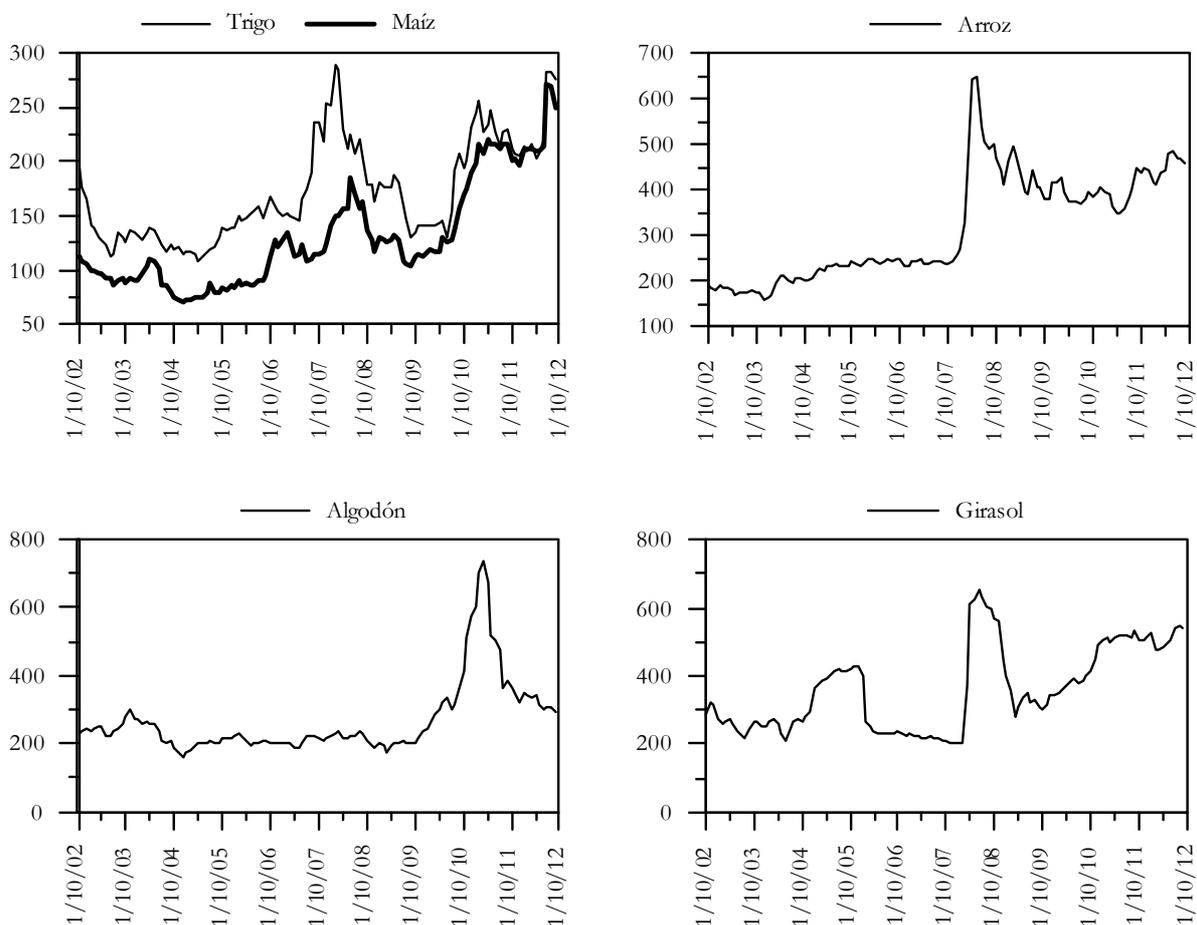
Figura 7. Incrementos de precios por variaciones en la demanda y en la oferta



La volatilidad de los mercados no es un hecho nuevo para los investigadores agrarios, pero sí es cierto que la volatilidad ha cobrado en los últimos años una relevancia mucho mayor. Esta volatilidad genera una gran incertidumbre en el sector agrario.

A finales de 2007 fuimos testigos de una subida explosiva en los precios del trigo y el maíz, que arrastró a otros productos derivados, como los piensos para producción ganadera. El precio siguió incrementándose hasta junio de 2008, momento en el que entramos en una fase de fuerte descenso. En agosto de 2010 volvimos a entrar en otra fase de incremento de precios que duró hasta junio de 2011. Otro episodio de subidas de precios fue en el verano de 2012, cuando subieron los precios del maíz y de la soja por la gran sequía en Estados Unidos. Estos picos de precios han llevado a que en 2007 el trigo alcanzara un 280% de su precio medio, el maíz un 165%, un 304% el arroz, un 224% el girasol en 2008 y un 356% el algodón en 2010, por ejemplo (World Bank, 2012).

Figura 8. Precios mundiales octubre 2002- septiembre 2012 (€/t)



Nota: Los datos de producción de girasol originalmente estaban referidos al aceite de girasol. Para su transformación se ha empleado un rendimiento graso del 44% sobre materia húmeda (Guerrero, 1999)

Fuente: [www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com) (2012) con datos del Banco Mundial y Guerrero (1999)

El origen de esta alta volatilidad no está del todo claro. La literatura aporta una serie de factores pero muy pocos aportan datos cuantitativos. Parece que hay un consenso en que el germen de todo es la bajada de las reservas internacionales por la mayor demanda de productos por parte de países en pleno crecimiento como Brasil, India y China (Gilbert, 2010; Timmer, 2009) que hacen al mercado más vulnerable al resto de efectos, lo cual no había ocurrido antes. Algunos de estos efectos son la especulación en los mercados agrarios de futuros (Cooke y Robles, 2009; Gilbert, 2010); la liberalización y globalización de los mercados internacionales; la transformación de las tierras de agricultura tradicional para la

producción de biofuel (Mitchell, 2008; Rosegrant et al., 2008); la depreciación del dólar americano (Abbott et al., 2009; Roache, 2010), las restricciones a la exportación (Timmer, 2009); los altos precios del petróleo (FAO, 2011; Gilbert, 2010); y finalmente el cambio climático y los fenómenos climáticos en general, que producen pérdidas en los cultivos (Quiroga e Iglesias, 2009) aunque, según Headey y Fan (2008), en la primera crisis de 2007-2008 el clima sólo explicaría la subida de los precios del trigo. Estos autores además analizan fortalezas y debilidades de cada una de las causas que se han señalado, además de otras. En los inicios de la crisis ninguno de los estudios se decanta por la importancia de una u otra causa excepto Mitchell (2008), que aporta un orden de magnitud para cada una de ellas. Finalmente, podemos encontrar una revisión de las causas y las consecuencias de cómo variará la volatilidad en el futuro y mecanismos para reducirla en Gilbert y Morgan (2010).

Según Sumpsi (2011), las subidas de precios tienen una serie de efectos negativos para los distintos agentes del mercado. Así, para los productores significa a corto plazo una oportunidad de mejorar sus beneficios, oportunidad que la experiencia demuestra que solo es aprovechada por los agricultores de los países desarrollados y los productores comerciales de los países en desarrollo, pero también significa a medio plazo una incertidumbre que provoca decisiones subóptimas de inversión agraria. Para los consumidores de los países de baja renta e importadores netos de alimentos supone problemas para el acceso económico a los alimentos y por tanto mayor inseguridad alimentaria (Zezza et al., 2009). Para los gobiernos de los países pobres supone fuertes desequilibrios macroeconómicos por el aumento de la factura de importación de alimentos, menores ingresos por la reducción de aranceles y más gastos por las subvenciones a los medios de producción agrarios y/o a los alimentos. Y para los organismos internacionales, sobre todo los que se ocupan de la ayuda alimentaria, supone enormes problemas, pues en un contexto de fuerte inseguridad alimentaria tienen que reducir el número de personas a las que pueden ayudar como consecuencia de la fuerte subida de los precios agrarios.

El Capítulo 6 de resultados se centra en el efecto de la volatilidad sobre la decisión de cultivo de los agricultores. En concreto, estudiaremos la agricultura de regadío de la Cuenca del Guadalquivir, y determinaremos la implicación de un aumento en la variabilidad de los márgenes de los cultivos sobre el regadío.

### 3.2. La Política Agrícola Común

A la hora de modelizar, es fundamental tener en cuenta la actual política agraria, ya que de su aplicación vendrán impuestas una serie de restricciones que tendremos que respetar en el modelo, algunas de forma directa, como la obligatoriedad de destinar una parte del terreno a la retirada en el caso de algunas etapas de la PAC, y otras de forma indirecta, estableciendo un límite a la superficie de aquellos cultivos que reciben subvenciones de la PAC, porque si se rebasa la superficie máxima garantizada, las ayudas disminuirían.

La producción agraria y los beneficios provenientes de la agricultura en España y el Guadalquivir son parcialmente dependientes de la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea.

La Política Agrícola Común, siendo una de las políticas más antiguas de la Unión Europea, está fuertemente arraigada en el proceso de integración de Europa. Debido a la larga historia de la PAC, se trata de una política que ha sido reformada muchas veces, en particular durante la última década y media.

La PAC tiene sus raíces en la Europa del Oeste de 1950, cuya sociedad había salido de una gran guerra, y donde la agricultura había sido seriamente deteriorada y no se podía garantizar el suministro de alimentos.

Bien conocidos son los objetivos originales de la PAC: mejor productividad en la cadena agroalimentaria, asegurar un nivel de vida digno a los agricultores y asegurar la disponibilidad de alimentos a los consumidores a un precio razonable. Para ello se creó un sistema de precios de referencia sobre productos específicos, combinado con una protección en frontera para los productos importados y con un apoyo a las exportaciones, ya que el precio mundial era inferior al precio interior. Además, existían precios de intervención, inferiores a los precios de referencia, que se utilizaban para comprar y almacenar una parte de la producción nacional, cuando ésta era abundante y podía llevar a una bajada de los precios.

En los años 70 se empezó a poner la atención en iniciativas específicas para acelerar los ajustes estructurales de sector agrario. Se llevó a cabo una legislación para modernizar las explotaciones agrarias, creando la figura del agricultor profesional, y renovando la fuerza de trabajo facilitando la jubilación anticipada de los agricultores más mayores. En 1975 se crearon iniciativas para asistir a agricultores trabajando en condiciones difíciles,

como la agricultura de montaña o agricultores en zonas desfavorecidas. Ya en 1979 se crea la corresponsabilidad, haciendo que el agricultor pague una multa cuando la sobreproducción fuera seria en el sector lechero. Era el inicio de la sobreproducción.

Hasta ahora el éxito de la PAC había sido muy alto al lograr la autosuficiencia, pero en los 80 ya había exceso de producción de casi todos los bienes, algunos de los cuales eran exportados (con la ayuda de subvenciones), mientras otros debían ser almacenados o eliminados dentro de la UE. Estas medidas tenían un coste presupuestario alto, distorsionaban algunos mercados mundiales, no siempre servían a los mejores intereses de los agricultores y se hizo impopular entre los consumidores y los contribuyentes. Al mismo tiempo, la sociedad se estaba volviendo cada vez más sensible sobre la sostenibilidad ambiental de una agricultura cada vez más productivista.

Así llegó la reforma de MacSharry en 1992, que fue el inicio del cambio desde el apoyo a la producción (a través de los precios) al apoyo al productor (a través de pagos directos). La reforma buscaba mejorar la competitividad de la agricultura europea, estabilizar los mercados agrarios, diversificar la producción y proteger el medio ambiente, así como estabilizar el presupuesto de la UE. Se introdujeron los pagos directos para compensar la disminución del apoyo a los precios. Por ejemplo, los precios garantizados de los cereales bajaron un 35%. También se estableció un régimen de retirada de tierras y una serie de medidas de acompañamiento: programas agroambientales, forestación, jubilación anticipada, diversificación... (Comisión Europea, 1998).

El siguiente paso en la evolución de la PAC fue la Agenda 2000, que explícitamente establece unos objetivos económicos, sociales y ambientales dentro de una serie de objetivos reformulados para la consistencia de la PAC con los requisitos del Tratado de Amsterdam. La Agenda 2000 tenía como objetivo dar forma concreta a un modelo de agricultura europea y la preservación de la diversidad de los sistemas agrarios en Europa, incluidas las regiones con problemas específicos. En concreto, la Comisión Europea señaló varias prioridades:

- Asegurar la competitividad del sector agrario de la Unión Europea, tanto en los mercados comunitarios como en los crecientes mercados de exportación;
- Promover métodos de cultivos que contribuyeran al mantenimiento y mejora del paisaje y el entorno rural;
- Contribuir a sostener el modo de vida de los agricultores al mismo tiempo que se promovía el desarrollo del conjunto de la economía rural.

Entre otros objetivos se encontraba el asegurar unos alimentos seguros y de calidad, simplificar la PAC y llevar a cabo una descentralización más fuerte (Comisión Europea, 1999).

Las ayudas estaban asociadas a la superficie cultivada de cada producto, y no asociada al precio (desacoplamiento de las ayudas), aunque aún quedaban algunos productos con la ayuda acoplada al precio. La novedad de la reforma fue la introducción de una nueva política de desarrollo rural a través del segundo pilar de la PAC (el primer pilar quedaba constituido por las medidas de apoyo directo). Esta nueva política impulsó muchas iniciativas rurales, mientras que también ayudaba a la diversificación en las explotaciones agrarias, mejoraba el marketing de los productos y reestructuraba la forma de negocio.

Sólo tres años después de iniciada la Agenda 2000, al amparo de la revisión intermedia del periodo vigente (las reformas se aprueban para seis años), se lleva a cabo la Reforma de la PAC de 2003. El ajuste regular y consistente de la PAC a las presiones de la sociedad europea y su economía en evolución se puso de manifiesto una vez más por el nuevo conjunto de reformas iniciadas en 2003, cuyo objetivo era la mejora de la competitividad del sector agrícola, la promoción de un mercado orientado a la agricultura sostenible y el fortalecimiento de la política de desarrollo rural (tanto los fondos como los instrumentos de política).

La reforma de 2003 introdujo una reconstrucción radical de la PAC, con innovaciones importantes, como la «desvinculación» de los pagos de ayuda a los ingresos para los agricultores o la introducción de la «condicionalidad», la «modulación» y la «disciplina financiera». Cada estado miembro elegía si se acogía a una desvinculación parcial de las ayudas o a una desvinculación total. Esta desvinculación consistía en que las ayudas se recibían de manera independiente al cultivo que se plantara a través del pago único, aunque en el caso de la desvinculación parcial parte de esa ayuda seguía vinculada al cultivo, un 25% en el caso de los cereales y hasta un 100% en el caso de las leguminosas, por ejemplo. La condicionalidad supeditaba los pagos directos a los agricultores al cumplimiento de los requisitos medioambientales y de otro tipo establecidos a nivel nacional y de la UE, cuando en anteriores legislaciones estas medidas eran voluntarias. La modulación consistía en una rebaja del montante total del pago único para destinarlo al segundo pilar. Esta cuantía se iría incrementando de un año a otro hasta alcanzar el nivel previsto del 5% (Comisión Europea, 2005). Por último, la disciplina financiera hacía que en el que caso de que se fuera a superar el presupuesto establecido, la ayuda se reduciría proporcionalmente, de manera que el presupuesto fuera estable.

En los años siguientes, se reformaron también el azúcar, las frutas y hortalizas y el vino. También se preparó una nueva política de desarrollo rural para el período financiero 2007-2013.

En 2007, la Comisión evaluó la aplicación de la reforma de la PAC de 2003, con el fin de introducir los ajustes necesarios en el proceso de preparación de la reforma de la agricultura de la UE para una mejor adaptación a un entorno que cambia rápidamente. Un año más tarde, el 20 de noviembre de 2008, los ministros de agricultura de la UE alcanzaron un acuerdo político sobre la PAC denominado "chequeo médico", que venía a ser la revisión intermedia de la reforma de 2003, cuyo objetivo es modernizar, simplificar y racionalizar la PAC y eliminar las restricciones a los agricultores, lo que ayuda a responder mejor a las señales del mercado y hacer frente a nuevos retos como el cambio climático, la gestión del agua y la bioenergía (Comisión Europea, 2009).

La PAC está a punto de ser reformada nuevamente. Después de un debate público de amplio alcance, la Comisión presentó el 18 de noviembre de 2010 una Comunicación sobre «La PAC en el horizonte 2020», que describe las opciones para el futuro de la PAC y lanzó el debate con las demás instituciones y con todos los agentes implicados (Comisión Europea, 2010).

El 12 de octubre de 2011, la Comisión presentó un conjunto de propuestas legislativas diseñadas para hacer de la PAC una política más eficaz para una agricultura más competitiva y sostenible y zonas rurales más vivas (Comisión Europea, 2011).

Por tanto, la PAC hoy día vigente es la correspondiente al Chequeo médico de 2008, que modificó la Reforma de 2003. A partir de 2006, en España, la desvinculación de las ayudas de la PAC fue total, de manera que todas las ayudas se reciben a través del pago único. Hay algunos cultivos que están excluidos de esta norma y que tiene una ayuda específica. Así, por ejemplo, el algodón está bajo el programa nacional de reestructuración del sector del algodón, recibiendo el 65% de la ayuda dentro del pago único, y el 35% de la anterior ayuda vinculada a la superficie de algodón. Hay que recordar que hasta este momento la ayuda seguía incluida en el precio pagado al agricultor por su algodón, ya que la ayuda iba dirigida a la industria. En la práctica esto ha llevado a que las producciones de algodón alcancen el mínimo indispensable para recibir la ayuda, consiguiendo así el óptimo económico. Más adelante, en el Capítulo 5, en la Tabla 8, se puede observar cómo después de 2006 la producción de algodón baja hasta situarse por debajo de los 2.000 kg/ha. También persisten algunas ayudas específicas, como la ayuda al trigo duro, que continúan vinculadas

al cultivo de los mismos. Todas estas ayudas se tendrán en cuenta en el modelo de programación.

### 3.3. La política del agua

Esta sección nos proporciona el marco sobre el cual se llevará a cabo el análisis de resultados del capítulo 7 sobre los efectos de la mejora de la eficiencia del uso del agua.

Además de la Directiva Marco del Agua (CE 2000), cuyo objetivo es alcanzar el buen estado de las aguas en 2015, existen en España otras políticas sectoriales, entre las que destaca el Plan Nacional de Regadíos (PNR). El 5 de abril de 2002 se publica el Real Decreto 329/2002, por el que se establece el Plan Nacional de Regadíos, Horizonte 2008. Este Plan constituye el instrumento básico para la modernización, consolidación y fomento del regadío en el país.

Entre las actuaciones incluidas en el Plan se destaca la modernización de regadíos, que a través del Programa 1 persigue la consolidación y mejora de regadíos existentes con la finalidad de optimizar el uso del agua disponible.

Antes de definir las zonas sobre las que se debía actuar, se llevó a cabo un concienzudo proceso de análisis y diagnóstico de situación con el objeto de identificar y cuantificar los problemas que se presentaban en las zonas actualmente regadas. El impulso a la solución de estos problemas se consideraba prioritario dentro de la planificación sectorial (Consejería de Agricultura y Pesca, 2011) a fin de:

- Optimizar el riego del agua disponible, reduciendo su consumo en las zonas sobredotadas o con dotaciones suficientes y disminuyendo la demanda o, en su caso, aportando recursos adicionales en los regadíos infradotados.
- Fomentar la incorporación de nuevas tecnologías en los sistemas de riego que, además de reducir los costes de producción y reforzar la competitividad, favorezcan condiciones de trabajo más adecuadas en las explotaciones en regadíos.
- Contribuir a la recuperación de acuíferos sobreexplotados o en riesgo de sobreexplotación.

Para conseguir estos objetivos, las actuaciones en las citadas zonas de regadío se agrupan en un programa de mejora de aquellos que, en principio, no tienen problemas de suministro de agua y en un programa de consolidación de los infradotados, ya sea por insuficiencia en las dotaciones o por excesivas pérdidas de agua en sus infraestructuras.

Estos dos programas se traducirían normalmente en acciones similares (toda consolidación implica una mejora), pero era conveniente una cierta distinción entre ambos para que no hubiera un aumento aparente de las superficies de actuación y, porque el efecto sobre los niveles de producción podía ser diferente en cada uno de ellos.

Con la aparición de la Directiva Marco del Agua fue necesaria una reorientación en la política del agua nacional. Esta reorientación, que se materializa a través del Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua), está presente tanto en el Plan Nacional de Regadíos (PNR) como en el Plan Hidrológico Nacional (PHN). De este modo, el PHN se ha modificado introduciendo un conjunto de actuaciones en las cuencas mediterráneas basadas en el ahorro, la depuración, la reutilización y la desalación, estableciendo, simultáneamente, medidas para mejorar el control público en el uso y en la calidad del agua, y para favorecer el cumplimiento de la normativa europea en lo que se refiere tanto a la sostenibilidad ambiental como a la necesaria racionalidad económica de la acción pública en la gestión del agua.

Con el PNR se optó, inicialmente, por la continuidad de las obras emprendidas, con una mayor coordinación entre el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y el Ministerio de Medio Ambiente, competente en la distribución en alta del agua, seleccionándose aquellos proyectos que presentaban un mayor grado de sostenibilidad, tanto económica, como social y ambiental.

Fruto de la experiencia acumulada durante este primer período, se llegó a la conclusión de que el PNR necesitaba una profunda revisión, no tanto en la alteración del listado de obras previstas como sí en los criterios que fijaban las prioridades de las mismas, adaptándose a una clara circunstancia de evaluación de la utilización del recurso del agua. Este recurso, cada vez más caro y escaso, se veía afectado en su utilización, más allá de unas condiciones climáticas claramente desfavorables, por dos cuerpos legales que incidían claramente en la política de regadíos, como son la Directiva Marco del Agua y el nuevo Texto Refundido de la Ley de Aguas. Junto a ellos, el sentir de las comunidades de regantes, elementos clave en la política de regadíos, aconsejaban también la citada revisión.

Los nuevos criterios se pueden resumir en tres ejes principales (Consejería de Agricultura y Pesca, 2011):

1. Colaboración entre los Ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Medio Ambiente en la que se ponen en común acciones que comprenden la distribución en alta junto a las de distribución en baja.

2. La mejora de la eficiencia en el consumo de agua, obteniendo el máximo rendimiento de las producciones a la vez que ahorrando porcentajes de utilización de recursos hídricos muy elevados.
3. El tercer eje consiste en impulsar la innovación tecnológica, obligando tanto al control exhaustivo del agua utilizada, como al manejo automatizado de las redes de riego por parte de las comunidades de regantes.

Todo ello ha llevado a la revisión del PNR, materializada en el Real Decreto 287/2006, de 10 de marzo, conocido como Plan de Choque de Modernización de Regadíos. Este plan ha pretendido ser mucho más que una norma que estimulara los procesos de eficiencia en la aplicación del agua destinada al sector agrícola, ya que suponía la materialización de la revisión del Plan Nacional de Regadíos (PNR), estableciéndose una prioridad en las obras en función de su sostenibilidad económica, social y medioambiental.

Además, por primera vez en la historia del regadío español, se publicaba en el anejo correspondiente para cada proyecto, junto a la inversión prevista, el ahorro de agua que se pretendía alcanzar y que permitiría atender necesidades de abastecimiento así como el resto de usos, incluidos los ambientales. También, del listado de obras previstas, se desprendía tanto la utilización de agua en la agricultura proveniente del reciclado de aguas residuales de núcleos urbanos, como la puesta en marcha de agua procedente de la desalación. Con ello se abarcaba un amplio abanico de posibilidades que permitirían, simultáneamente, un ahorro muy considerable, cifrado en más de 1.162 hm<sup>3</sup>, así como la mejora del potencial productivo. Además, todos los agricultores que se beneficiasen del Plan debían comprometerse a adoptar, a través de un riguroso programa de vigilancia ambiental, medidas para reducir la contaminación.

---

## Capítulo 4. Metodología

---

En este capítulo se expone la metodología de calibración y de revelación de preferencias del modelo. Primero se analizarán las variables de decisión y las restricciones del modelo. A continuación se analizará la función objetivo y los atributos relevantes para la toma de decisión, y finalmente se describirá el método de revelación de preferencias.

### **4.1. Variables de decisión**

El primer paso es definir con precisión el modo de representar las decisiones de los agricultores. Siguiendo la alternativa tradicional en la literatura entendemos que, en nuestro caso, una decisión consiste en asignar una determinada superficie a cada uno de los cultivos o aprovechamientos posibles. Tal decisión puede representarse entonces a través de un vector de superficies de cultivo. Con el objetivo de estandarizar el vector de decisiones y hacerlo comparable entre localidades se ha preferido representar las superficies como porcentaje del total de la superficie disponible para regadío. Este vector de decisiones puede entonces representarse como:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i \dots x_n); \quad 0 \leq x_i \leq 1; \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1; \quad X \in f(x)$$

#### 4.2. Caracterización del conjunto de decisiones factibles

Las decisiones de cultivo, representadas convenientemente, deben ajustarse a un conjunto de restricciones que delimitan el espacio de elección de los agricultores. Estas restricciones han sido objeto de un análisis detallado con el fin de definir las con la mayor precisión posible y de incorporarlas en el modelo de análisis. Las restricciones empleadas son las siguientes:

- Disponibilidad de agua
- Disponibilidad de suelo
- Vocación agrícola
- Restricciones PAC
- Cultivos Permanentes, límite inferior
- Cultivos Permanentes, límite superior
- Restricciones agronómicas

##### *Disponibilidad de agua*

La suma del agua utilizada por los cultivos no debe superar a la dotación concedida por la administración pública del agua.

$$\sum_i w_i * x_i \leq W$$

$w_i$  = Agua a aplicar necesaria para los cultivos

$W$  = Cantidad total de agua disponible

##### *Disponibilidad de suelo*

La suma de superficies de cultivo debe ser igual o menor a la superficie disponible de regadío para la zona. Como se ha dicho anteriormente, al representar las superficies como porcentaje del total, la parte derecha de la inecuación será 1, de manera que los cultivos estarán representados en tanto por uno, o en tanto por ciento si los multiplicamos por cien.

$$\sum_i x_i \leq 1$$

*Vocación agrícola*

Cada zona tiene unos cultivos característicos de la misma y en muchas ocasiones no es posible la introducción de otros debido a características climáticas o edáficas. Las restricciones de vocación agrícola aseguran que las opciones que se le presentan al agricultor a la hora de la toma de decisión se encuadren dentro de aquellos cultivos que son tradicionales de la zona. El valor cero indica que en los últimos cinco años se ha dado ese cultivo y el valor uno indica que no se ha cultivado en ese espacio de tiempo.

$$\sum_i y_i x_i = 0 \mid y_i \in \{0,1\}$$

*Restricciones de la Política Agrícola Común*

Estas restricciones ponen un límite superior a la superficie de los cultivos que estén bajo algún régimen de superficies por la PAC. Hay cultivos con superficie máxima garantizada y otros que tienen cupos de superficie. En la práctica lo que se hace es limitar la superficie de cada cultivo a la observada en el año base.

$$\eta_i x_i \leq (1 - \beta) x_i^o \mid \eta_i \in \{0,1\}; 0 \leq \beta \leq 1$$

$\eta_i$  = vector de unos y ceros de cada cultivo  $i$

$x_i$  = superficie optimizada de cada cultivo  $i$

$x_i^o$  = superficie observada de cada cultivo  $i$

En nuestro caso, como se explicó en la sección 3.2 de la PAC, el único cultivo que tendrá un límite superior por este motivo será el algodón.

*Cultivos permanentes, límite inferior*

En los modelos a medio y largo plazo es necesario dar cierta flexibilidad a los cultivos permanentes, que en los modelos a corto plazo permanecen inalterables. Estas restricciones establecen el nivel inferior, en porcentaje sobre el nivel observado, al que podrían descender los cultivos permanentes.

$$\mu_i x_i \geq (1 - \phi_i) x_i^o \mid \mu_i \in \{0,1\}; 0 \leq \phi_i \leq 1$$

$\mu_i$  = Vector de unos y ceros que activan o desactivan un cultivo  $i$  para indicar si es cultivo permanente o no.

$\emptyset_i$  = Vector de porcentajes en el que puede disminuir un cultivo permanente  $i$  por debajo del nivel observado.

*Cultivos permanentes, límite superior*

Igualmente se establecen límites superiores a la superficie elegible de cultivos permanentes. Para determinar en qué porcentaje se va a permitir fluctuar a los cultivos permanentes, se ha observado la serie histórica de superficies, y de ella se deduce que el mayor incremento que se ha producido de un año a otro es del 10%, correspondiente al olivar en el año 1998, justo antes de que se retiraran las ayudas al olivar de nueva plantación. Este mismo porcentaje es el que se ha puesto como límite inferior, para el posible decremento de la superficie.

$$\mu_i x_i \geq (1 + \emptyset_i) x_i^0 \quad | \quad \mu_i \in \{0,1\}; 0 \leq \emptyset_i \leq 1$$

$\mu_i$  = Vector de unos y ceros que activan o desactivan un cultivo  $i$  para indicar si es cultivo permanente o no.

$\emptyset_i$  = Vector ( $i \times 1$ ) de porcentajes en el que puede aumentar un cultivo permanente por encima del nivel observado.

*Restricciones agronómicas*

Las restricciones agronómicas son todo el conjunto de acciones llevadas a cabo por los agricultores que llevan hacia unas buenas prácticas agrarias. Así, podemos encontrar rotaciones de cultivos, limitación al conjunto de cultivos de ciclo largo, esquilmanes, e incluso podemos incluir en esta categoría una limitación a la superficie de hortalizas, ya que la práctica habitual es sustituir una hortaliza por otra, sin superar el total de superficie destinada a ellas. Sin embargo, este tipo de restricciones o recomendaciones quedan sometidas a la realidad económica. El caso del algodón es especialmente llamativo: el algodón debe de cultivarse cada cinco años, pero se observa que cuando existía una fuerte subvención el algodón se implantaba consecutivamente año tras año.

$$AX \leq b \quad | \quad A \in \mathbb{R}^{m \times n}; X \in \mathbb{R}^n$$

La formulación de cultivos esquilmanes y de ciclo largo sería similar. La suma de cultivos esquilmanes (o de ciclo largo) no puede ocupar más de la mitad de la superficie destinada a herbáceos. Como hemos dicho que a veces esta restricción se rompe debido a que año tras año se implanta un cultivo esquilmanes sobre sí mismo debido a los incentivos

de la PAC, la parte derecha de la inecuación será el máximo entre el valor anterior y la suma de superficies observadas de esquilmanes (o de ciclo largo)

$$\text{máximo} \left[ \sum_i \delta_i x_i \leq \frac{1}{2} \left( 1 - \sum_i \mu_i x_i^o \right); \sum_i \delta_i x_i \leq \sum_i \delta_i x_i^o \right] \quad | \quad \delta_i \in \{0,1\}; \mu_i \in \{0,1\}$$

$\delta_i$  = vector de unos y ceros de cada cultivo  $i$  esquilmane (o de ciclo largo)

$\mu_i$  = Vector de unos y ceros que activan o desactivan un cultivo  $i$  para indicar si es cultivo permanente o no.

En el caso de las hortalizas, simplemente se hace cumplir que la superficie máxima de hortalizas no pueda ser superior a la del año base:

$$\sum_i \lambda_i x_i \leq \sum_i \lambda_i x_i^o \quad | \quad \lambda_i \in \{0,1\}$$

$\lambda_i$  = vector de unos y ceros de cada hortaliza  $i$

Dentro de las restricciones agronómicas también se incluyen las rotaciones de cultivos. Estas aseguran que se sigue una secuencia de cultivos que no entre en conflicto con las prácticas tradicionales. Esto quiere decir que si un año se cultiva algodón, al siguiente debe plantarse otro cultivo diferente para seguir una rotación adecuada. Esto se produce cuando trabajamos a escala de explotación pero, cuando se trata de escalas de agregación superior, en cada explotación existen cultivos diferentes. Esto se resuelve haciendo que cada cultivo, al menos, no pueda superar el 50 por ciento de la superficie destinada a cultivos anuales, de manera que en el siguiente ciclo, donde estaba ese cultivo, se pueda poner otro. Cabe la posibilidad de imponer rotaciones específicas de la zona, como la rotación trigo-girasol, de manera que la superficie de trigo de un año será la que ocupe el girasol al año siguiente. En este sentido, el modelo se adaptará a la tradición de cada zona. Entonces, las restricciones de rotación se representarán como la suma de las superficies de una serie de cultivos que debe ser inferior a la superficie de otro (o de otros), que es aquel (o aquellos) después del que va sembrado. Además, puede haber varias restricciones de este tipo.

$$\sum_{i,j} \rho_{i,j} x_i \leq \sum_{i,j} \gamma_{i,j} x_i^o \quad | \quad \rho_i \in \{0,1\}; \gamma_i \in \{0,1\}$$

$\rho_{i,j}$  = vector de unos y ceros de cada cultivo  $i$  dependiente en la restricción  $j$

$\gamma_{i,j}$  = vector de unos y ceros de cada cultivo  $i$  precedente en la restricción  $j$

En el modelo de análisis se consideran estas restricciones como las más relevantes y, con carácter general, se excluyen otras restricciones posibles. Esto significa que se acepta que los agricultores pueden encontrar trabajadores suficientes, siempre que estén dispuestos a pagar el precio de mercado de la mano de obra y que pueden acceder sin límite a créditos y a los mercados de productos, maquinaria y bienes intermedios a los precios vigentes en cada uno de esos mercados.

Con los elementos anteriores los agricultores toman la decisión que consideran más conveniente de acuerdo con sus propias preferencias. Entonces, la cuestión que debemos responder es cuáles son las razones o motivaciones que hacen que la decisión observada sea la más adecuada, respetando los criterios de elección del agricultor. Entramos con ello en el análisis de los criterios de elección del agricultor.

#### **4.3. La función objetivo y los atributos relevantes de las decisiones de cultivo**

Los dos primeros atributos elegidos son el beneficio y la aversión al riesgo, que son los atributos más relevantes según la literatura (Keeney and Raiffa, 1976). Para ello se pueden usar distintos indicadores que nos midan ambos atributos.

Respecto al primero de los atributos deben considerarse varios aspectos importantes. En primer lugar, cuando se toman las decisiones de distribuir la superficie disponible en unos determinados cultivos, el agricultor no puede anticipar con certeza el precio de mercado ni el rendimiento que obtendrá. Por este motivo, en realidad, la información de la que dispone es la expectativa de unos beneficios que dependerán de un conjunto de factores asociados a los precios y los rendimientos. Más que de rentabilidad de las decisiones debemos referirnos a rentabilidad o beneficio esperado, una información que depende de valores históricos y que se debe actualizar año tras año.

En segundo lugar, existen formas diferentes de medir el beneficio financiero o la rentabilidad de las explotaciones agrarias. Dentro de las alternativas que aporta la red contable agraria se encuentran los márgenes neto y estándar, así como la renta familiar o el valor añadido. En cualquier caso, a la hora de elegir el indicador adecuado debe tenerse en cuenta que éste se debe referir exclusivamente a los costes y beneficios que dependen de la decisión de cultivo que pretendemos valorar. Por lo tanto, deben excluirse todos los costes fijos, es decir, los que dependen de la actividad en general y no sean específicos de cada cultivo. Así, por ejemplo, si los servicios de agua no están sometidos a un control volumétrico, la tarifa del agua se convierte en un coste fijo, que no depende de la decisión

de cultivo, y el único coste del agua realmente asociado a la decisión que pretendemos evaluar será el coste de aplicación del riego.

Por los motivos anteriores, en el modelo de análisis se utiliza el margen financiero variable promedio por hectárea como el indicador más adecuado de la rentabilidad financiera esperada de las decisiones de los agricultores.

Para su cálculo, se toman promedios de precios y rendimientos anuales, a los que se les suma la subvención correspondiente y se detraen todos los costes variables, como la parte variable del coste de aplicación del agua, los costes directos (semilla, fertilizantes...), el coste de la mano de obra contratada y los costes variables de la maquinaria. Suponiendo una tecnología de coeficientes fijos y rendimientos constantes de escala, el margen bruto esperado de una asignación de cultivos es igual a

$$\pi(x) = \frac{\sum_i \pi_i x_i}{\sum_i x_i}$$

Respecto al segundo atributo, la elección de una combinación de cultivos es muy similar a la elección de una cartera de valores en la que el problema consiste en elegir la proporción de títulos de bajo riesgo y baja rentabilidad, por ejemplo letras del tesoro o cultivos subvencionados, y la proporción de valores de alta rentabilidad esperada pero muy volátiles, por ejemplo, acciones u hortalizas frescas. La mayor o menor proporción de un valor o del otro dependerá de la actitud personal del decisor frente al riesgo.

Existen multitud de modelos de elección de cartera de valores en la literatura en los que se considera el riesgo. Así encontramos, entre otros, el modelo de media-varianza (Markowitz, 1952), modelo "Safety First" (Roy, 1952), modelo de Konno and Yamazaki (1991).

Aplicado a la agricultura, el modelo "Safety First" ha sido implementado con éxito por ejemplo en Kennedy y Francisco (1974), aunque en este modelo minimizar el riesgo no era un objetivo en sí mismo, sino una restricción que acota el conjunto de soluciones posibles. En programación multicriterio (MCDM) ha sido muy empleado el MOTAD (*Minimization of Total Absolute Deviation*) (Hazell, 1971) o el "target MOTAD" (Tauer, 1983) como medida del riesgo en programación lineal. Podemos encontrar una comparación de ambos en Watts et al. (1984). En modelos multiperiodo, el riesgo futuro también puede introducirse como una tasa de actualización que prime los beneficios actuales frente a los futuros (López-Baldovin et al., 2005).

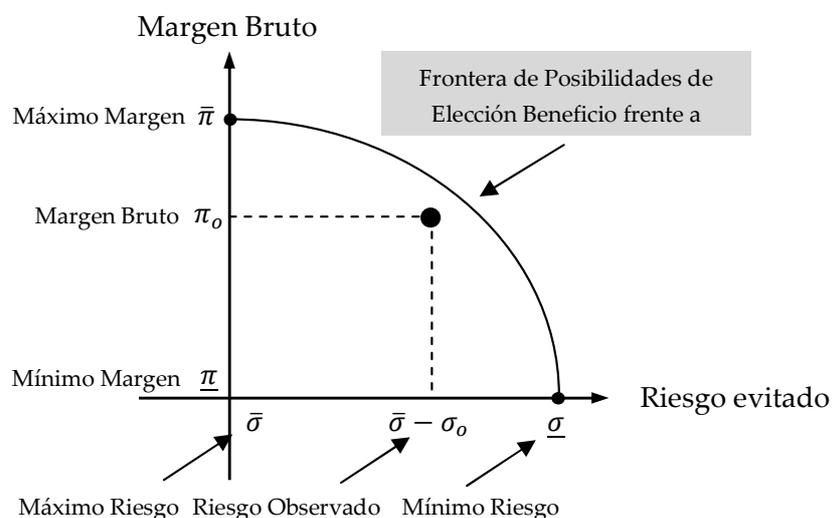
En el presente trabajo se ha utilizado el método de media-varianza de Markowitz (1952), que nos dará una función objetivo cuadrática que, como ya se ha comentado, proporcionará resultados más suaves y realistas, además de evitar la sobre especialización (Hazell and Norton, 1986). El riesgo que asume un agricultor con una decisión de cultivo puede medirse a través de la desviación estándar del margen variable esperado, el cual se obtiene de las series temporales del margen variable de cada hectárea de cada uno de los aprovechamientos posibles. Del mismo modo que la base de datos permite obtener el margen variable esperado, también se puede obtener la varianza del margen asociado a cada cultivo y la matriz de varianzas y covarianzas (VCV) del conjunto de cultivos. La desviación típica de una decisión de cultivos es igual a:

$$\sigma(x) = (x^T V C V x)^{1/2}$$

Siendo  $x^T$  la transpuesta del vector de decisiones de cultivos.

De esta forma, y a través de estos dos atributos, los agricultores, en sus decisiones de cultivo, se enfrentan a la posibilidad de elegir entre múltiples combinaciones de beneficio financiero esperado y de riesgo, de modo que si se quiere aspirar a un beneficio financiero mayor es necesario aceptar un mayor riesgo y, viceversa, es posible optar por alternativas seguras con poco riesgo siempre que se esté dispuesto a aceptar un menor rendimiento financiero. A diferencia de otros modelos que simplemente dan por hecho que existe una frontera de posibilidades de elección formada por el beneficio financiero esperado y su desviación estándar y que dicha frontera tiene pendiente decreciente y es convexa, el modelo desarrollado reconoce la necesidad de verificar que dicha frontera existe y que tiene la forma esperada.

Figura 9. Aproximación a la frontera de posibilidades de elección con dos atributos



De acuerdo con lo anterior, la elección del agricultor dependerá de su actitud frente al riesgo. Sólo un agricultor que no sea adverso al riesgo tomará la decisión que aporta el máximo rendimiento financiero esperado y, en cuanto mayor sea el grado de aversión al riesgo, más se alejará de esa solución y se aproximará a las alternativas más seguras de cultivo. En ese sentido son entonces las preferencias de los agricultores las que deben explicar el punto en que finalmente se sitúa el agricultor en su frontera de posibilidades de elección.

Sin embargo, al igual que cuando consideramos solamente la rentabilidad financiera, es probable que la decisión observada de los agricultores no se encuentre sobre la frontera de posibilidades de elección. Esa es la situación que se ilustra en la Figura 9. La decisión del agricultor no sería un óptimo paretiano ya que, para el mismo nivel de riesgo, se puede obtener un mayor beneficio y viceversa. La explicación a esto es que puede haber otros atributos de la función objetivo del agricultor que no hemos tenido en cuenta hasta ahora en la especificación de la función objetivo.

A medida que añadimos atributos (o criterios privados de decisión) a la función objetivo de los regantes, nos vemos en la necesidad de incluir criterios más cualitativos y difíciles de medir con absoluta precisión.

Este es el caso del criterio que, según varios autores, entraría en tercer lugar en las preferencias de los agricultores (cuando los otros dos resulten insuficientes). Según este tercer criterio los agricultores, de un modo comprensible, prefieren decisiones de cultivo que resulten fáciles de gestionar y sólo están dispuestos a involucrarse en actividades complejas si esto se ve recompensado con una mayor rentabilidad financiera o con unos beneficios más seguros.

El razonamiento anterior es fácil de aceptar aunque resulta difícil de poner en práctica debido al desafío que supone el diseño de indicadores comprensivos que midan adecuadamente la complejidad de la gestión, un concepto multidimensional. En la literatura se pueden encontrar modelos donde se incluye la mano de obra, el capital circulante y otros (Romero y Rehman, 1984; Romero et al., 1987; Berbel, 1989). Una buena revisión de posibles objetivos podemos encontrarla en Patrick and Kliebenstein (1980), además de las referencias dadas en la sección 2.1 cuando se describió la aparición del multicriterio en la agricultura.

No existe peligro de correlación entre atributos porque las utilidades son ordinales, no cardinales (Edgeworth, 1881). En otras palabras, no tiene sentido medir la utilidad total ni mucho menos comparar los niveles de utilidad, lo importante es que las decisiones

alternativas puedan ordenarse de acuerdo con las preferencias manifestadas por el agente a través de sus decisiones.

Para hacer operativo este criterio, en el presente modelo se han desarrollado tres indicadores diferenciados de la complejidad de la gestión.

- El trabajo total requerido para poner en práctica una decisión de cultivo y que incluye por tanto el trabajo asalariado y el trabajo familiar.

$$N(x) = \frac{1}{X} \sum_i x_i N_i$$

- El trabajo asalariado necesario para poner en marcha una decisión de cultivo. Debe aclararse que este indicador se refiere a la complejidad de la gestión y no a los costes de producción que obviamente se pretenden minimizar, lo que ya se encuentra incluido en la medición del margen financiero (el primer criterio de decisión).

$$L(x) = \frac{1}{X} \sum_i x_i L_i$$

- La importancia de los costes directos como porcentaje de los costes totales de producción. Estos costes directos incluyen todos los gastos intermedios, incluido el coste variable de la maquinaria. Al igual que en el caso anterior, lo que interesa no es el valor absoluto de estos costes sino su importancia relativa como un indicador de las complicaciones de gestionar una decisión de cultivo.

$$c(x) = \frac{\sum_i x_i CD_i}{\sum_i CT}$$

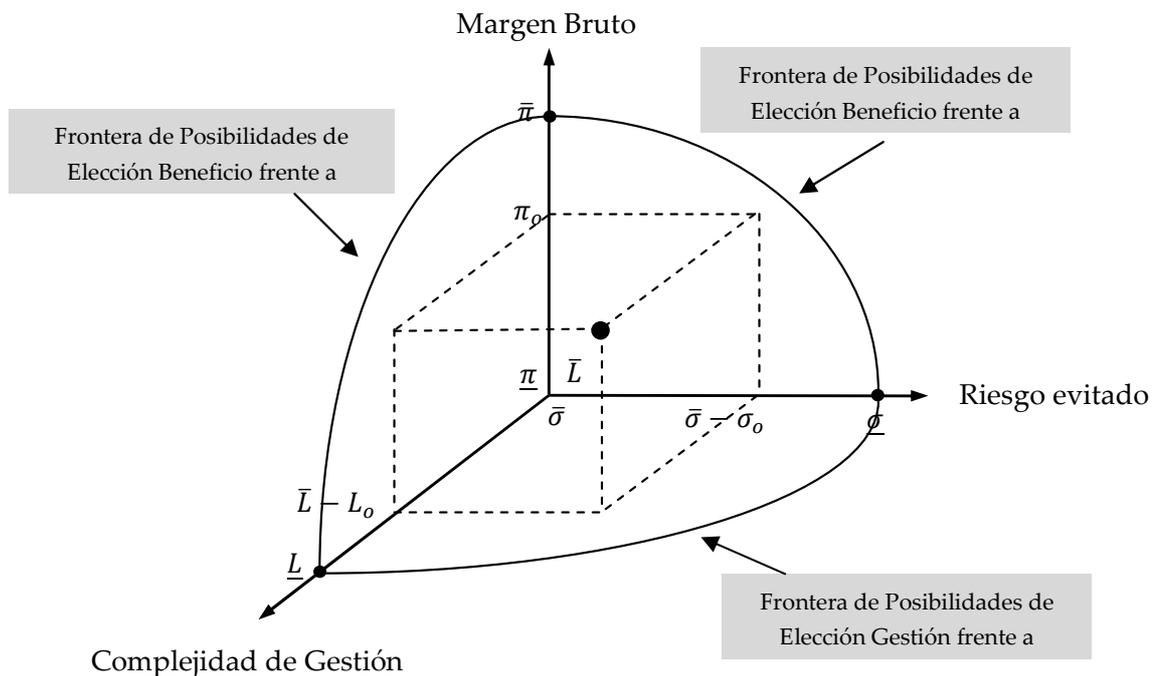
Obviamente, antes de aceptar cualquiera de estos indicadores como un criterio para explicar las decisiones de los regantes deben superarse algunos requisitos:

- En primer lugar, es necesario demostrar que existe la relación esperada entre un determinado indicador y los demás. Es decir, que la alternativa de una gestión menos complicada tiene un coste de oportunidad en términos de menor rendimiento financiero o, alternativamente, de mayor riesgo. Este análisis sólo puede hacerse construyendo la frontera de posibilidades de elección (lo que puede resolverse fácilmente con los medios informáticos disponibles, siempre que haya un

abanico suficiente de posibilidades de elección). Esto es, que la Relación Marginal de Transformación (RMT) entre dos atributos, es decir la pendiente de la frontera de posibilidades de elección debe ser negativa. Alternativamente, la mejora respecto a un atributo positivo (menos complejidad de gestión) debe tener un coste de oportunidad (menos rentabilidad o mayor riesgo).

- En segundo lugar, el indicador o los indicadores de la complejidad de gestión que se incluyan en el modelo deben contribuir a explicar la decisión observada del agricultor. Es decir, deben mejorar la capacidad del modelo para obtener la solución observada como la mejor alternativa del agricultor de acuerdo con sus propios criterios y con la importancia que el agricultor atribuya a cada uno de ellos. En otras palabras, una vez considerado el atributo en cuestión el efecto deberá ser una mayor aproximación de la solución observada a la frontera de posibilidades de elección, como puede verse en la Figura 10.

Figura 10. Aproximación a la frontera de elección con tres atributos



Idealmente, el análisis anterior termina en el momento en que se han incorporado todos los criterios potenciales con que los agricultores evalúan la bondad de sus decisiones de cultivo. En ese momento se dispondrá también de una representación matemática de la frontera de posibilidades de elección de los agricultores, que incluye todas las

combinaciones de los criterios relevantes (rentabilidad, riesgo evitado, trabajo evitado, trabajo asalariado evitado y costes directos evitados), que pueden alcanzarse mediante una decisión de cultivo que utilice completamente los recursos disponibles con la tecnología existente y respetando las restricciones institucionales, agronómicas y de vocación del suelo.

El agricultor elige una combinación de criterios o atributos de su función de bienestar dentro de la frontera de posibilidades de elección. A través de esa elección, el agricultor está revelando la importancia relativa de cada uno de los atributos de su decisión de cultivo. Del análisis anterior se pueden entonces deducir todos los elementos necesarios para obtener la función de utilidad del regante. Simplemente se trata de obtener una función de utilidad que convierta la decisión observada en la solución óptima de un problema de maximización de bienestar sujeto a todas las restricciones del problema de elección.

#### 4.4. Revelación de preferencias

Una vez determinados los atributos relevantes que pueden explicar las decisiones del agricultor (apartado 4.3), asumimos que la decisión observada es la mejor, desde el punto de vista de las preferencias del decisor, dentro del conjunto de soluciones factibles (delimitado por las restricciones del problema explicadas en el apartado 4.2).

En otras palabras, el agricultor tiene la posibilidad de agotar todos los *trade-offs* (intercambios) entre los atributos relevantes, por ejemplo, renunciando a parte de su beneficio esperado a cambio de mayor seguridad (o menor riesgo). Técnicamente, el método de revelación de preferencias se basa en dos conceptos básicos estrechamente relacionados con la disposición a pagar del agricultor y con el coste de oportunidad de los atributos de la decisión.

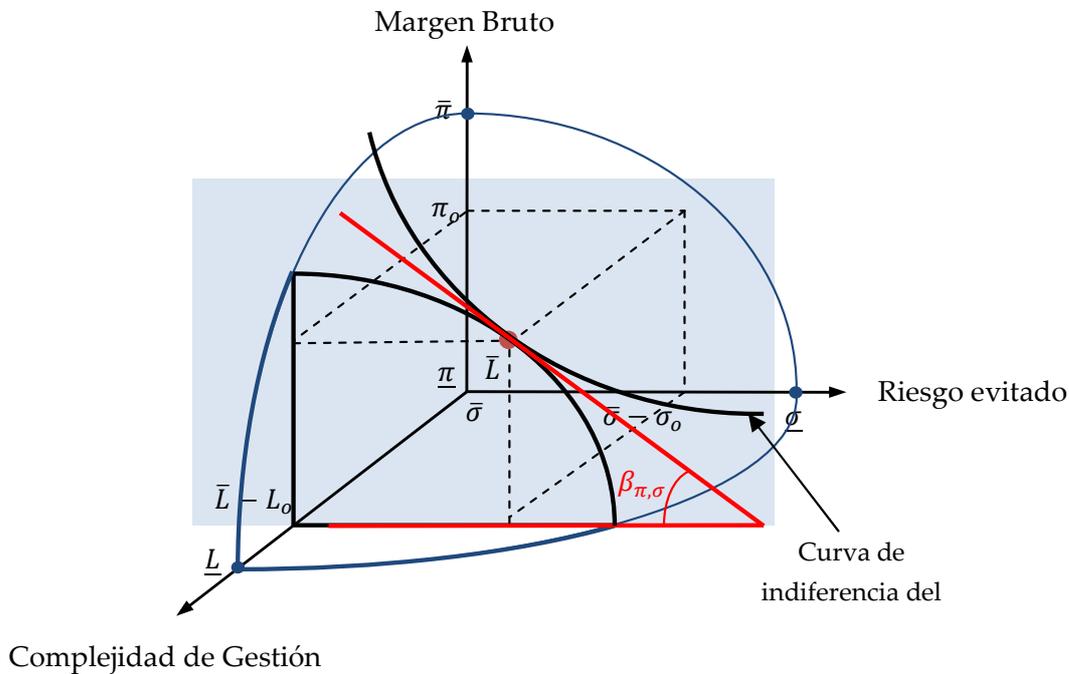
- El primero de ellos, la relación marginal de sustitución (RMS) entre dos atributos, nos indica la disposición máxima del agricultor a sacrificar un atributo (el margen esperado en el ejemplo) a cambio de mejorar en otro (en nuestro ejemplo a reducir el riesgo). Esta “disposición a pagar” es precisamente lo que mide la relación marginal de sustitución y, para cada punto o cesta posible de atributos, se obtiene mediante la pendiente de la curva de indiferencia que pasa por él.
- El segundo, la relación marginal de transformación (RMT), nos indica la cantidad que se debe sacrificar de un atributo, en nuestro ejemplo el margen esperado, si se quiere mejorar en otro, en nuestro caso el riesgo evitado. Evidentemente, este “coste de oportunidad” depende del espacio de decisiones factibles (es decir, del conjunto

de restricciones del problema) y se mide mediante la relación marginal de transformación. Para cada cesta posible de atributos sobre la frontera de posibilidades de elección, esta relación se mide como la pendiente de la frontera de posibilidades de elección.

El supuesto de racionalidad en este contexto consiste en asumir que cuando el agricultor toma una decisión de cultivo hace todo lo posible por encontrar la combinación de atributos que agota las posibilidades de mejora de su propio bienestar. Por ese motivo llevará su decisión hasta el punto en que su disposición marginal a pagar por un atributo en términos de otro (es decir la RMS) se haga igual al coste marginal de oportunidad de un atributo en términos de otro (es decir la RMT). Como la utilidad marginal es decreciente para todos los atributos esta disposición marginal a pagar también es decreciente y, como la frontera de posibilidades de elección es convexa, el coste marginal de oportunidad es creciente. Por ese motivo existirá siempre un punto de equilibrio de modo que, una vez que la decisión observada (o la decisión más próxima posible a la decisión observada) se encuentre sobre la frontera de posibilidades de elección (de los atributos relevantes), para revelar las preferencias del agricultor bastará con igualar el coste de oportunidad (la RMT) con la disposición marginal a pagar (la RMS) de cada par posible de atributos.

Obviamente, el razonamiento anterior sólo puede ser válido cuando la frontera de posibilidades de elección es convexa (con respecto al origen de coordenadas tal como aparece en la Figura 10) y esta característica debe ser verificada en el proceso de revelación de preferencias. Por otra parte, si tal frontera no fuera convexa (lo que ocurre por ejemplo cuando para aumentar la seguridad, o evitar el riesgo, no es necesario reducir el margen esperado), la elección entre los dos atributos se vuelve irrelevante y bastará con elegir uno de ellos para obtener el mejor valor posible del otro (en otras palabras, mejorar un atributo no supondría un coste de oportunidad en términos de otro) y se podrá omitir completamente el análisis de uno de ellos. Por ese motivo, hacer el análisis de convexidad de la frontera de posibilidades de elección es equivalente a seleccionar el conjunto de atributos relevantes para entender la decisión del agricultor.

Figura 11. Revelación de preferencias



Como se muestra en la figura anterior, cuando enfrentamos margen bruto y riesgo, el regante revela a través de su decisión su disposición marginal a pagar por evitar el riesgo, la tangente del ángulo  $\beta_{\pi, \sigma}$  es igual a la relación marginal de transformación entre el margen bruto y el riesgo (de acuerdo con la frontera de posibilidades de elección) y también a la relación marginal de sustitución entre esos dos atributos (de acuerdo con las preferencias implícitas del regante).

El mismo procedimiento se puede aplicar para cada par de atributos. En resumen, una vez localizado el punto de la frontera de posibilidades de decisión más próximo a la decisión observada, este contendrá toda la información necesaria para revelar las preferencias del agricultor. A ese punto, o a esa cesta de atributos, le corresponden unas relaciones marginales de transformación particulares que pueden calcularse fácilmente con las restricciones del problema (por ejemplo, obteniendo cuánto margen esperado se debe sacrificar para obtener una reducción del 1% en el riesgo). Esas relaciones marginales de transformación, para esa cesta de atributos, son precisamente las relaciones marginales de sustitución (o las disposiciones marginales a pagar del agricultor) por pares de atributos. El último paso consistirá en integrar una función de utilidad a partir de las relaciones marginales de sustitución.

En principio, cualquier función de utilidad que recoja la ordenación de decisiones anterior serviría para representar sus preferencias. Debido a sus propiedades matemáticas y a su coherencia con los fundamentos microeconómicos de la teoría de la elección, la función de utilidad del agricultor empleada ha sido una Cobb-Douglas (Cobb and Douglas, 1928), cuya forma para tres atributos para simplificar el proceso es

$$U(\pi, \sigma_e, L_e) = \pi^{\alpha_1} \sigma_e^{\alpha_2} L_e^{\alpha_3} \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

El subíndice  $e$  indica que lo que se optimiza es evitar ese atributo, así  $\sigma_e$  es igual al máximo riesgo menos el optimizado; esto es, el riesgo evitado.

En la literatura podemos encontrar escasos precedentes que tratan de modelizar en agricultura utilizando funciones de utilidad coherentes con la teoría económica, que no asuman una utilidad cardinal ni la linealidad de la misma. Los trabajos más recientes tienen cerca de tres décadas, podemos encontrarlos en Rausser y Yassour (1981) y Delforce y Hardaker (1985). Esta rareza se debe a la falta de herramientas potentes de programación y manejo de datos, lo que quizá explica el predominio de métodos alternativos más eficientes desde el punto de vista empírico, pero alejados de la teoría económica de la decisión y de las metodologías económicas de revelación de preferencias.

La función de utilidad Cobb-Douglas presenta varias ventajas. Cumple las condiciones de Inada (1963) que, junto con una Frontera de Posibilidades de Elección convexa, garantizan la existencia de un óptimo global. Al ser cada uno de los exponentes  $\alpha_1, \alpha_2$  y  $\alpha_3$  menor a la unidad, dicha especificación resulta consistente con el postulado neoclásico de productividad marginal decreciente de los factores. Tales exponentes, además, pueden interpretarse como pesos o indicadores de la importancia relativa de cada uno de los atributos en las preferencias del regante. Una temprana discusión de este último punto puede encontrarse en Reder (1943), Bronfenbrenner (1944) y Brown (1957).

Una segunda ventaja de la especificación Cobb-Douglas reside en que representa un orden de preferencias similar al que se puede obtener con muchas transformaciones y formas funcionales alternativas. Por ejemplo, al tratarse de una forma multiplicativa sencilla, una simple transformación logarítmica proporciona una función lineal. En efecto, entre otras muchas, con la ventaja de que no es necesario asumir preferencias lineales, ni utilidades marginales constantes, la función arriba descrita representa el mismo orden de preferencias que la siguiente:

$$V(\pi, \sigma_e, L_e) = \ln(U(.)) = \alpha_1 \ln(\pi) + \alpha_2 \ln(\sigma_e) + \alpha_3 \ln(L_e)$$

El último paso, la integración de la función de utilidad a partir de las relaciones marginales de sustitución, se basa en las siguientes equivalencias matemáticas obtenidas a partir de la función de utilidad:

$$\begin{aligned}
 RMS_{\pi, \sigma_e} &= -\frac{\partial U / \partial \sigma_e}{\partial U / \partial \pi} \longrightarrow RMS_{\pi, \sigma_e} = -\frac{\alpha_2 \pi}{\alpha_1 \sigma_e} = -\beta_{\pi, \sigma_e} \\
 RMS_{\pi, L_e} &= -\frac{\partial U / \partial L_e}{\partial U / \partial \pi} \longrightarrow RMS_{\pi, L_e} = -\frac{\alpha_3 \pi}{\alpha_1 L_e} = -\beta_{\pi, L_e} \\
 RMS_{\sigma_e, L_e} &= -\frac{\partial U / \partial L_e}{\partial U / \partial \sigma_e} \longrightarrow RMS_{\sigma_e, L_e} = -\frac{\alpha_3 \sigma_e}{\alpha_2 L_e} = -\beta_{\sigma_e, L_e}
 \end{aligned}$$

$\beta_{\pi, \sigma_e}$ ,  $\beta_{\pi, L_e}$  y  $\beta_{\sigma_e, L_e}$  son respectivamente las pendientes de las tangentes a la frontera de posibilidades de elección, es decir, las relaciones marginales de transformación entre los correspondientes pares de atributos. Finalmente se deduce que:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \frac{1}{\left(1 + \beta_{\pi, \sigma_e} \frac{\sigma_e}{\pi} + \beta_{\pi, L_e} \frac{L_e}{\pi}\right)} \\
 \alpha_2 &= \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\beta_{\pi, \sigma_e}} \frac{\pi}{\sigma_e} + \beta_{\sigma_e, L_e} \frac{L_e}{\sigma_e}\right)} \\
 \alpha_3 &= \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\beta_{\pi, L_e}} \frac{\pi}{L_e} + \frac{1}{\beta_{\sigma_e, L_e}} \frac{\sigma_e}{L_e}\right)}
 \end{aligned}$$

Veamos este último paso punto por punto:

La revelación de preferencias consiste en el calibrado de los parámetros de la función de utilidad

$$U = F(z) \quad z \in \mathbb{R}^{+K}$$

$$\frac{\partial U}{\partial z_i} \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, k\}$$

El problema de decisión del agricultor, de acuerdo con lo anterior, es el siguiente:

Max  $U(z)$

sujeto a:  $z \in G(z)$ , siendo  $G(z)$  la frontera de posibilidades de elección.

La cesta de atributos relevantes se encuentra sobre la Frontera de Posibilidades de Elección (FPE) ya que esta es convexa. Por lo tanto, este problema es equivalente a:

Max  $U(z)$

Sujeto a:  $Z = I(x)$ ,  $x \in H(x)$

Max  $U(I(x))$

Sujeto a  $x \in H(x)$

Las condiciones de equilibrio de este problema de optimización pueden expresarse como:

$$RMS_{j,i} = -\frac{\partial U / \partial z_i}{\partial U / \partial z_j} = -\frac{\partial G / \partial z_i}{\partial G / \partial z_j} = RMT_{j,i}$$

La  $RMS_{j,i}$  depende de las preferencias y define la demanda de los atributos. Estas  $RMS_{j,i}$  se pueden definir analíticamente ya que “conocemos” o suponemos una forma funcional de la función de utilidad.

La  $RMT_{j,i}$  depende de la tecnología, así como de los recursos disponibles, y define la oferta de atributos. Al no haber una función explícita de la FPE ( $G(z)$ ) estas  $RMT_{j,i}$  solo pueden obtenerse numéricamente mediante el cálculo de las derivadas parciales de la FPE mediante la solución de problemas parciales de optimización en el entorno de la solución observada. Para ello se fijará una de las variables al valor observado y se optimizará el valor que toman las demás. Este proceso también se puede repetir fijando una variable a un valor próximo al observado, por ejemplo al 99% de su valor, y analizar el valor que toman el resto de variables optimizadas.

Supuestos sobre preferencias:

Cobb-Douglas homotética de grado 1.

$$U(x) = \prod_{i=1}^K z_i^{\alpha_i}; \quad \sum_{i=1}^K \alpha_i = 1$$

Los exponentes  $\alpha_i$  reflejan los pesos, o la importancia relativa del atributo  $z_i$  en el bienestar del agricultor.

$$\alpha_i = \frac{\partial U}{\partial z_i} \left( \frac{z_i}{U(z)} \right)$$

Las derivadas parciales:

$$\frac{\partial U}{\partial z_i} = \alpha_i \frac{U(z)}{z_i}$$

Por lo tanto las Relaciones Marginales de Sustitución

$$RMS_{j,i} = - \frac{\partial U / \partial z_i}{\partial U / \partial z_j} = - \frac{\alpha_i \frac{U(z)}{z_i}}{\alpha_j \frac{U(z)}{z_j}} = - \frac{\alpha_i z_j}{\alpha_j z_i}$$

Las  $RMT_{j,i}$  se obtienen a partir del vector de atributos observados

$$\hat{Z} = (\hat{z}_1, \dots, \hat{z}_j, \dots, \hat{z}_k)$$

Mediante la solución de  $k$  problemas de optimización del tipo:

$$\bar{Z}_i = \text{Max } z_i$$

Sujeto a  $z \in G(z)$

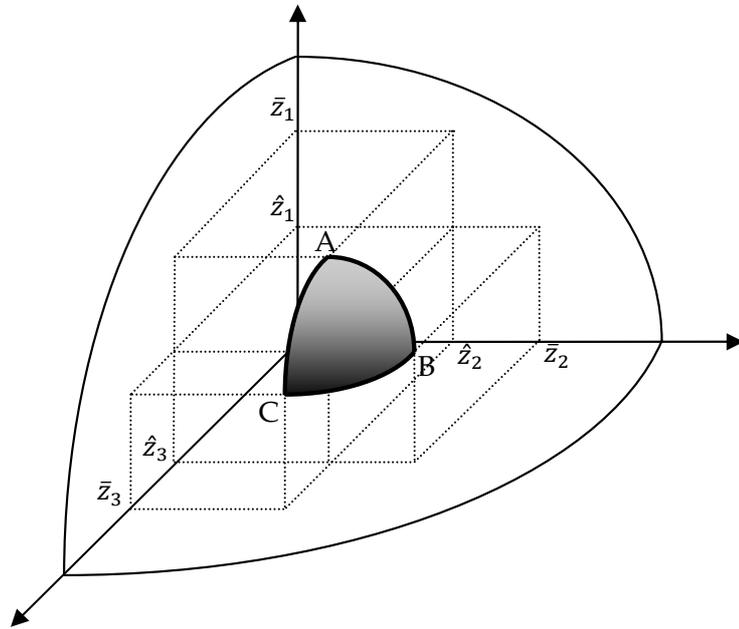
$$z_j = \hat{z}_j$$

$$\forall j \neq i \quad j = \{1, \dots, k\}$$

Se obtiene el vector de Máximos (superóptimo)

$$\bar{Z} = (\bar{z}_1, \dots, \bar{z}_j, \dots, \bar{z}_k)$$

Figura 12. Revelación de preferencias 2



Puede demostrarse que:

$$RMT_{j,i} = \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\hat{z}_i - \bar{z}_i} < 0$$

o:

$$RMT_{j,i} = \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\bar{z}_i - \hat{z}_i} < 0$$

$$-RMT_{j,i} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & \dots & \frac{\bar{z}_1 - \hat{z}_1}{\bar{z}_k - \hat{z}_k} \\ \frac{\bar{z}_2 - \hat{z}_2}{\bar{z}_1 - \hat{z}_1} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{\bar{z}_k - \hat{z}_k}{\bar{z}_1 - \hat{z}_1} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

$$A = (\bar{z}_1, \hat{z}_2, \hat{z}_3)$$

$$\frac{\Delta z_2}{\Delta z_1} = RMT_{2,1} = \frac{\bar{z}_2 - \hat{z}_2}{\hat{z}_1 - \bar{z}_1} < 0$$

$$B = (\hat{z}_1, \bar{z}_2, \hat{z}_3) \quad \frac{\Delta z_3}{\Delta z_2} = RMT_{3,2} = \frac{\bar{z}_3 - \hat{z}_3}{\hat{z}_2 - \bar{z}_2} < 0$$

$$C = (\hat{z}_1, \hat{z}_2, \bar{z}_3) \quad \frac{\Delta z_3}{\Delta z_1} = RMT_{3,1} = \frac{\bar{z}_3 - \hat{z}_3}{\hat{z}_1 - \bar{z}_1} < 0$$

Como

$$-RMS_{j,i} = -RMT_{j,i}$$

$$\frac{\alpha_i z_j}{\alpha_j z_i} = \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\hat{z}_i - \bar{z}_i}$$

Estas condiciones pueden utilizarse para obtener los parámetros  $\alpha$  de la Función de Utilidad. Sin embargo, esto solo puede hacerse en un punto (vector de atributos que se encuentre sobre la Frontera de Posibilidades en A, B o C de la Figura 12).

Tomemos un atributo cualquiera  $j$ .

Obtengamos el vector  $(\hat{z}_1, \hat{z}_2, \hat{z}_{j-1}, \bar{z}_j, \dots, \hat{z}_k)$

Entonces la condición  $\frac{\alpha_i z_j}{\alpha_j z_i} = \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\hat{z}_i - \bar{z}_i}$  implica:

$$\alpha_i^j = \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\bar{z}_j} \frac{\hat{z}_i}{\bar{z}_i - \hat{z}_i} \alpha_j$$

Como:

$$\sum_{i=1}^K \alpha_i^j = 1 \quad \sum_{i \neq j} \left( \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\bar{z}_j} \frac{\hat{z}_i}{\bar{z}_i - \hat{z}_i} \alpha_j \right) + \alpha_j = 1$$

$$\alpha_j \frac{\bar{z}_j - \hat{z}_j}{\bar{z}_j} \sum_{i \neq j} \frac{\hat{z}_i}{\bar{z}_i - \hat{z}_i} + \alpha_j = 1$$

$$\alpha_j^i = \frac{1}{1 + \left(1 - \frac{\hat{z}_j}{\bar{z}_j}\right) \sum_{i \neq j} \left(\frac{1}{\frac{\bar{z}_i}{\hat{z}_i} - 1}\right)}$$

$$\alpha_j^i = \left( \left(1 - \frac{\hat{z}_j}{\bar{z}_j}\right) / \left(\frac{\bar{z}_i}{\hat{z}_i} - 1\right) \right) \alpha_j$$

El proceso se puede repetir  $k$  veces (es como si calibrásemos los parámetros  $\alpha$  en los puntos A(j=1) B(j=2) C(j=3)).

Tales parámetros no deberían ser muy distintos entre sí. Finalmente los valores pueden calcularse como:

$$\alpha_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \alpha_i^j$$

Una vez obtenidos los coeficientes  $\alpha$  y los máximos para los atributos que se minimizan, quedará definida la función objetivo.

#### 4.5. Algoritmo de cálculo para la revelación de preferencias

El elemento crítico de todo el proceso de cómputo consiste en la determinación del punto de la Frontera de Posibilidades de Elección más próximo a la decisión observada. Para ello proponemos un procedimiento de dos etapas. La primera consiste en identificar un amplio conjunto de puntos posibles sobre la frontera y, la segunda, consiste en evaluar cada uno de esos puntos y elegir el más adecuado minimizando el error de calibración.

De acuerdo con esto, para la primera etapa, identificamos 170 puntos posibles de la frontera en el entorno de la decisión observada. Estos corresponden a las posibles combinaciones de atributos relevantes (formadas por conjuntos de 1, 2, 3, 4 y 5 atributos). Pero no todas las combinaciones se han permitido. Se asume que la maximización del margen bruto está en todas las combinaciones, y además es el único que consideramos para una función de utilidad con un único atributo. Minimizar el riesgo también se encuentra en el resto de combinaciones posibles, de manera que lo que se hace es combinar el resto de atributos.

Para ello se siguen dos métodos diferentes. En el primero de ellos, todos los atributos menos uno se sustituyen por su valor límite en la frontera. Por ejemplo, en el caso de 3 atributos, al fijar dos atributos en su valor en la frontera y optimizar el tercero, tendríamos tres puntos A, B y C como los mostrados en la Figura 12. Adicionalmente, se contempla un punto medio entre estos tres. Con las premisas anteriores de que margen bruto y riesgo siempre están en las combinaciones, resultan 37 combinaciones de alfas.

En el segundo método, de nuevo todos los atributos menos uno se sustituyen por su valor límite en la frontera, con la excepción de que uno de los que se fijan a la frontera se disminuye en un 1%, de forma que en la segunda fase se calculen las pendientes entre el

punto calculado por el método anterior y este nuevo punto, muy próximo a él. Así, al sustituir el margen bruto por el 99% del mismo, resultan otros 37 puntos. Repitiendo el proceso pero disminuyendo el riesgo un 1% obtenemos 36 puntos más (no se repite el proceso con un solo atributo, ya que este siempre es maximizar el margen bruto). Por último, para los otros tres atributos solo se resuelven combinaciones de 4 o 5 atributos, de manera que resultan en 20 puntos por atributo.

La segunda fase del procedimiento de cómputo consiste en elegir las preferencias que conducen a la solución más próxima a la observada. En la práctica, para cada uno de los 170 puntos posibles de la frontera se resuelve completamente el problema de revelación de preferencias y se obtienen los parámetros alfa de la función de utilidad. Y cada una de las soluciones posibles se evalúa de acuerdo a los siguientes errores de calibración:

1. Error respecto a los atributos observados:

$$e_{\tau} = \frac{1}{l} \sum_{r=1}^l \left( \frac{(z_r^{o2} - \tau_r^{*2})^{1/2}}{z_r^o} \right)$$

2. Error respecto a la decisión de cultivo observada.

$$e_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \frac{(x_k^{o2} - x_k^{*2})^{1/2}}{x_k^o} \right)$$

La solución elegida es la que presentaba menor error promedio de los dos: error respecto a los atributos y la decisión de cultivos.

$$e = \frac{\sqrt{e_x + e_{\tau}}}{2}$$

#### 4.6. Software de optimización

El modelo de revelación de preferencias ha sido programado en GAMS (*General Algebraic Modelling System*), con la versión 21.4, y el algoritmo utilizado para calcular los óptimos ha sido Conopt 3, de ARKI *Consulting and Development*. Según la empresa comercializadora de GAMS, su diseño incorpora ideas de la teoría de base de datos relacionales y la programación matemática, tratando de mezclar estas ideas para adaptarse a las necesidades de los creadores de modelos estratégicos. La teoría de base de datos relacionales proporciona un marco estructurado para el desarrollo de la organización

general de datos y capacidades de transformación. La programación matemática provee un medio de describir un problema y una variedad de métodos para solucionarlo (Brooke et al., 1998). Para el desarrollo del modelo, además del manual de Brooke et al. (1998), también se ha seguido la guía de McCarl (2006).



---

## Capítulo 5.

### Casos de estudio y material

---

#### 5.1. Escala de trabajo y agregación de resultados

El modelo es aplicable, en principio, a cualquier escala de trabajo que se estime oportuno según la disponibilidad de información que se tenga. De esta manera, si están cubiertos los datos relativos a valor de la producción, costes y necesidades hídricas, se puede aplicar el modelo sobre un territorio para el que se disponga de información sobre la distribución de cultivos. Este territorio podría comprender colectivos de riego, municipios, Unidades de Demanda Agraria (UDA), comarcas agrarias, provincias, etc.

Para determinar la escala de trabajo adecuada hay que tener en cuenta dos factores que son opuestos entre sí. El primero de ellos proviene de las fuentes de información empleadas y el segundo nos viene dado por la interpretación de resultados.

Si las fuentes de información disponibles están a una escala muy alta (nacional, comunidad autónoma...), cuanto más descendamos hacia unidades territoriales menores, más imprecisión tendrán los datos. Se estaría cometiendo un error al considerar homogéneo

un territorio que no lo es, de manera que el análisis que se derivase de estos datos se alejaría de la realidad. Un ejemplo muy claro lo podríamos encontrar en la producción de los cultivos. Como adelanto diremos que el dato de producción se extrae de los rendimientos por hectárea provenientes de los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrarias* del MAGRAMA, disponibles a nivel de comunidad autónoma. Dentro de Andalucía se pueden encontrar zonas de comportamiento agronómico bien distinto, pero esta fuente no nos permite distinguir producciones distintas para cada territorio, por lo que se tiene que suponer una producción homogénea, careciendo de sentido llegar a escalas muy pequeñas, como explotación agrícola, si no es para agregar los resultados a una escala mayor.

En segundo lugar, en simulación, si la escala no es suficientemente pequeña, se corre el riesgo de cometer errores por no tener en cuenta las particularidades de cada subunidad estudiada (Day, 1964). A este tipo de error se le conoce como sesgo por agregación, que supone que todo el territorio estudiado se comporta de la misma forma frente a condicionantes externos. Esto, como media para el territorio, puede ser válido, pero se podría estar cometiendo errores si esos resultados se le asignan a una escala inferior.

Estos dos factores hacen que haya que tener cuidado a la hora de elegir la escala de trabajo. Uno de los problemas existentes es la disponibilidad de información a escalas muy diferentes. Si trabajamos a la escala de la información que tiene menor nivel (superficies municipales de cultivos), habrá otros muchos datos que estaremos asignando desde una escala muy superior y que podrían no ser homogéneos.

Berbel y Rodríguez-Ocaña (1998) determinan que los modelos prácticos deben construirse al nivel escala medio, que es un compromiso entre un único modelo para toda la cuenca y el exhaustivo nivel micro para todas las explotaciones, que sería demasiado detallado para una decisión política práctica que se pueda extraer de los resultados.

Buckwell y Hazell (1972), para minorar los sesgos de la agregación, proponen la agrupación de las explotaciones agroclimáticamente similares y con orientaciones productivas homogéneas. Con ello garantiza dos de las tres condiciones de Day (1964) (homogeneidad tecnológica y pecuniaria). Luego divide las explotaciones por clústeres para asegurarse la tercera homogeneidad; la institucional, en función de la disponibilidad de recursos. En esta misma línea puede consultarse Thomson y Buckwell (1979).

Para hacer un estudio general de toda la cuenca y buscar ese compromiso entre la escala de la información y el sesgo por agregación, se utilizarán distintas tipologías (cinco tipologías como veremos más adelante) de agricultura dentro de la cuenca del

Guadalquivir, donde ninguno de los problemas mencionados toma demasiada importancia, aunque en el mencionado artículo de Berbel y Rodríguez-Ocaña (1998) determinan que la escala ideal sería la comunidad de regantes. La escala de trabajo de tipologías sobre el total de la cuenca tiene la ventaja de no suponer demasiada carga de trabajo cuando se quiera analizar algún efecto sobre la agricultura de cualquier política agraria o ambiental dado su limitado número. Por el contrario, si se llevara a cabo sobre comunidades de regantes, su número sería demasiado elevado para sacar conclusiones generales. Como ejemplo, podemos indicar que las treinta comunidades de regantes más importantes de la cuenca solo ocupan 218.000 ha de las 842.055 ha de la cuenca. Las cinco tipologías entre las que se dividirá la superficie de la cuenca fueron calculadas mediante análisis de conglomerados (Gómez-Limón et al., 2012). Debemos entender un conglomerado como la agrupación de objetos similares entre sí que, en este caso concreto, son las Unidades de Agregación de Recintos, que son el resultado de la agrupación de los recintos SIGPAC para su caracterización, siguiendo criterios basados en la gestión del agua. Así, se distinguen aquellos regadíos que utilizan unas infraestructuras comunes para la captación y distribución del agua (comunidad de regantes o fincas particulares grandes) o una fuente de agua común (comunidades de regantes o fincas particulares que toman el agua de un mismo río, acuífero, etc.) (Consejería de Agricultura y Pesca, 2011).

Además de la escala de cuenca mediante tipologías, en la presente tesis también se trabaja a nivel de comunidad de regantes, que es una zona homogénea en recursos, con la disparidad única de los objetivos de los productores (Berbel y Rodríguez-Ocaña, 1998), que podríamos llegar a considerar homogénea según de qué comunidad de regantes se trate. Para el caso del estudio de la comunidad de regantes, algunos de los datos son de una escala menor a los utilizados para toda la cuenca, de manera que nos aproximemos más a la realidad concreta de la zona estudiada.

## **5.2. La cuenca del Guadalquivir**

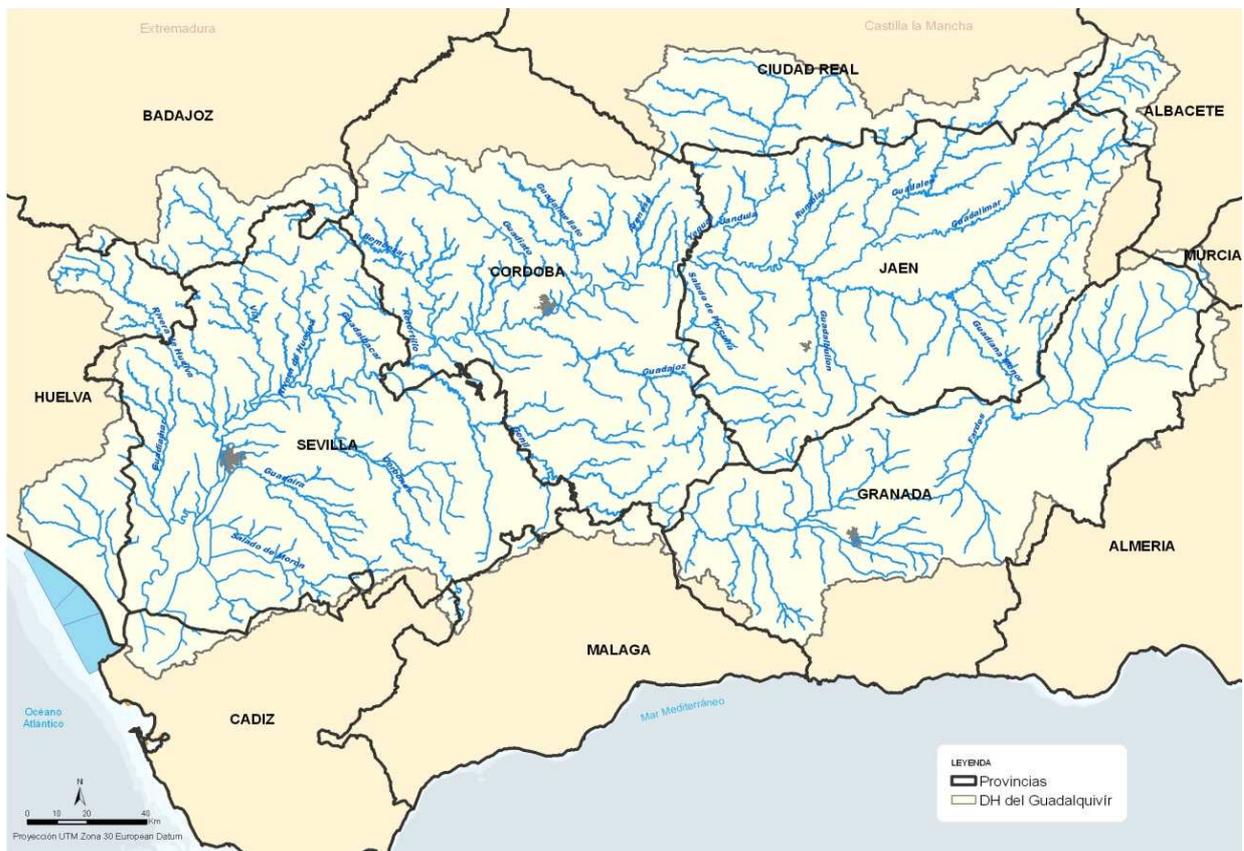
La zona de estudio elegida para la primera parte del estudio es la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, que tiene una extensión de 57.527 km<sup>2</sup> y se extiende por 12 provincias pertenecientes a cuatro comunidades autónomas, de las que Andalucía representa más del 90% de la superficie de la demarcación.

Tabla 4. Distribución de superficie entre CC.AA de la Cuenca del Guadalquivir

Comunidad Autónoma	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie en la cuenca (km <sup>2</sup> )	Superficie en la cuenca	Participación en la cuenca
Andalucía	87.268	51.900	59,47%	90,22%
Castilla-La Mancha	79.230	4.100	5,17%	7,13%
Extremadura	41.602	1.411	3,39%	2,45%
Murcia	11.317	116	1,03%	0,20%
TOTAL	219.417	57.527	26,22%	100%

Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Mapa 1. Cuenca del Guadalquivir y provincias



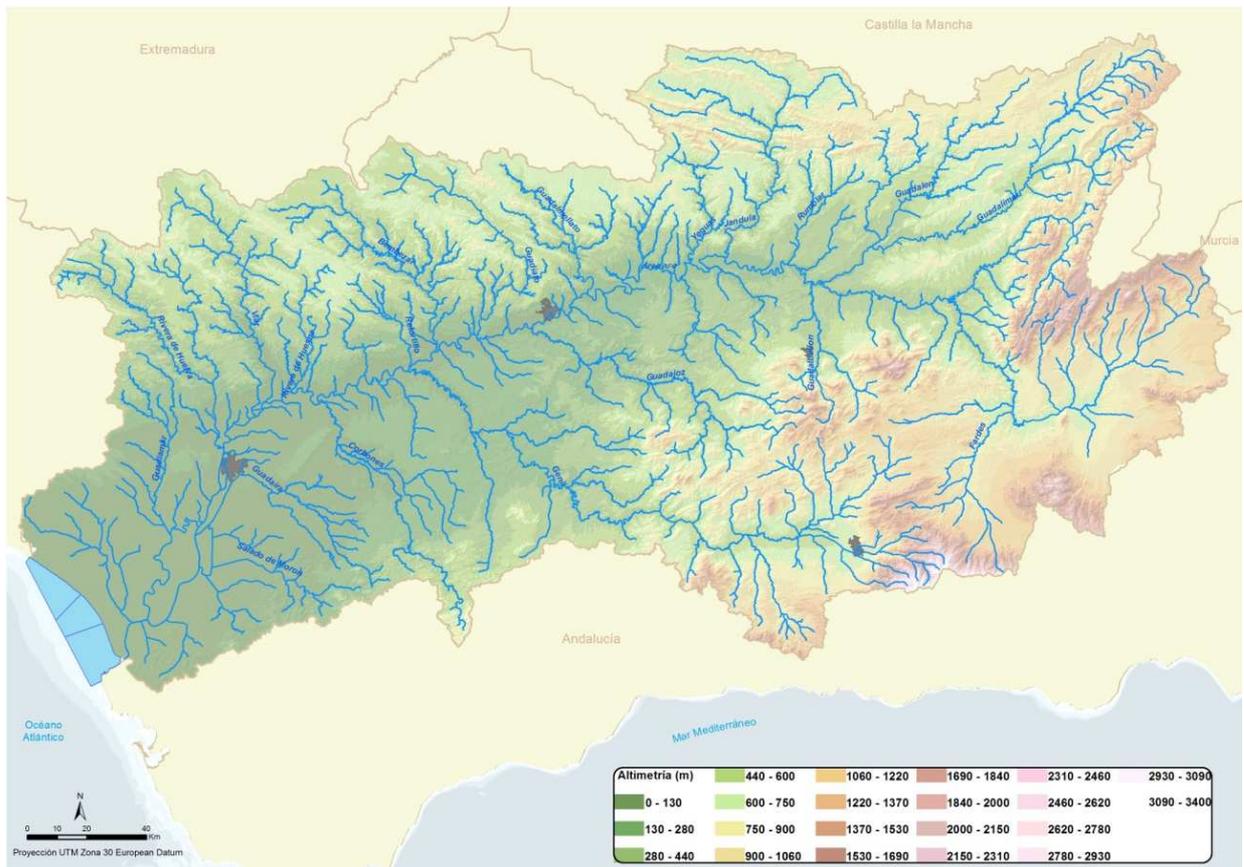
Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

La población de la demarcación del Guadalquivir asciende a 4.107.598 habitantes, según el padrón del Instituto Nacional de Estadística referido al año 2005.

El espacio geográfico de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir está configurado y delimitado por los elementos específicos que la enmarcan: los bordes escarpados de Sierra Morena al norte, las cordilleras Béticas, emplazadas al sur con

desarrollo SO-NE y el Océano Atlántico. La orla montañosa que delimita el espacio, con altitudes comprendidas entre los 1.000 m y los 3.480 m, contrasta con la escasa altitud del amplio valle del río Guadalquivir.

Mapa 2. Mapa físico de la Cuenca del Guadalquivir



Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

El clima de la cuenca es mediterráneo y viene definido en sus rasgos más elementales por el carácter templado-cálido de sus temperaturas (16,8°C como media anual) y por la irregularidad de sus precipitaciones (media anual de 550 l/m<sup>2</sup>). La posición del territorio abierto al Atlántico por el que penetran las borrascas oceánicas de componente Oeste, determina una distribución de lluvias tal que avanzan con el frente de dirección SO-NE hasta alcanzar los máximos valores en las cumbres más altas que bordean y delimitan la cuenca vertiente.

Las lluvias frecuentemente adoptan un carácter torrencial que actúa sobre un medio afectado de forma recurrente por largos periodos de sequía y por altas temperaturas y con una acusada susceptibilidad a la erosión.

### **5.2.1. Zona de estudio y tipologías**

Tomar un agricultor promedio de la zona y hacer el análisis sobre él podría llevarnos a graves problemas de sesgo por agregación, debido a que el análisis del total no tiene por qué coincidir con la suma de análisis de zonas más pequeñas en las que se podría dividir el total. En nuestro caso se han seleccionado tipologías diferentes de agricultura dentro de la cuenca, que serán analizadas por separado, determinando una función objetivo diferente para cada caso, que sería la función de utilidad del agricultor medio de cada tipología. Las tipologías se han tomado del trabajo de Gómez-Limón et al., (2012), que determina cinco tipologías mediante análisis de conglomerados: Tipología 1 – Herbáceos tradicionales de vega, Tipología 2 – Vega modernizada, Tipología 3 – Olivar, Tipología 4 – Hortícola tradicional, Tipología 5 – Arroz.

La superficie total regable estudiada es de 883.005 ha, con una superficie efectiva regada de 842.056 ha. El uso total de agua de regadío en la cuenca es de 2.840 hm<sup>3</sup>, medido a la entrada a la explotación (agua bruta), con un uso medio por hectárea de 3.373 m<sup>3</sup>/ha de agua bruta.

#### **Tipología 1 – Herbáceos tradicionales de vega**

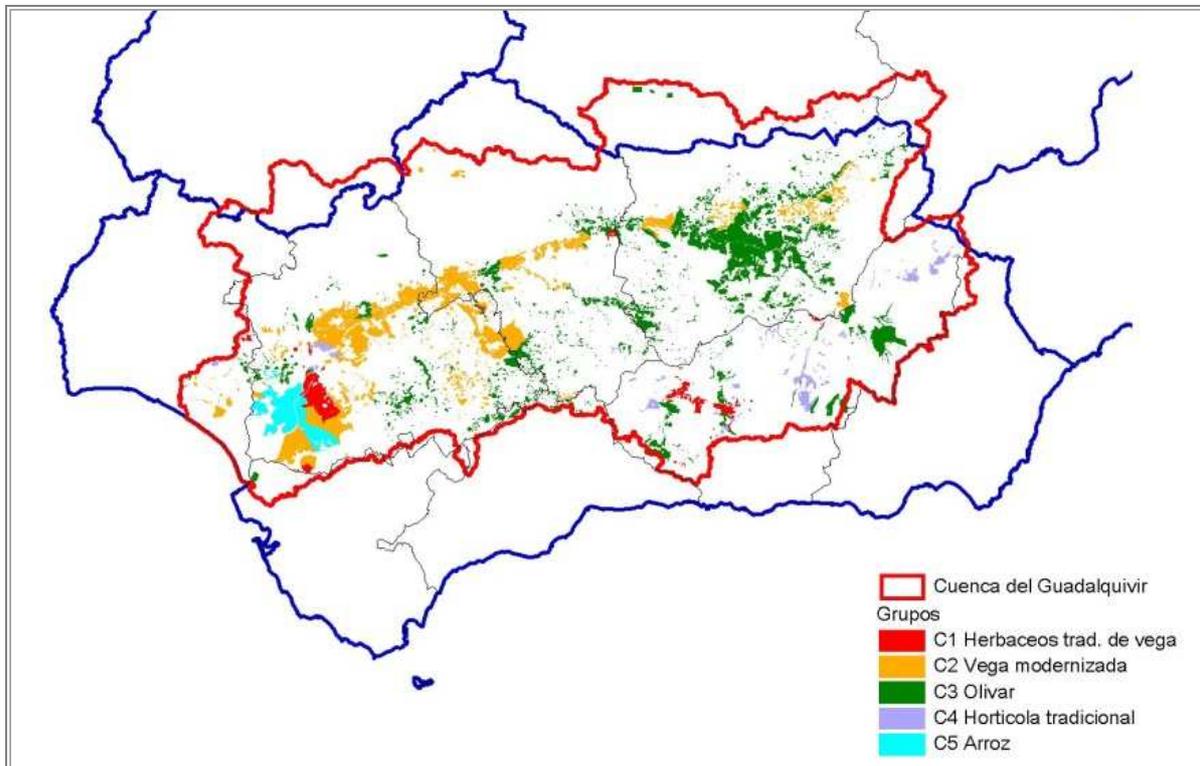
Esta zona no es muy extensa. Se trata de 44.200 ha regables de las que de manera efectiva se riegan 39.002 ha. Están localizadas principalmente en la vega de Granada y la vega de Sevilla, próximo a la zona arrocera. El uso medio de agua por hectárea es el más alto de las zonas estudiadas (a excepción del arroz), con 4.983 m<sup>3</sup>/ha con 194 hm<sup>3</sup> de uso total. Es de esperar que sea una zona donde evitar el riesgo tenga mayor importancia que en el resto de tipologías.

#### **Tipología 2 – Vega modernizada**

La vega modernizada se extiende a lo largo de todo el Guadalquivir. Después del olivar, es la zona más importante en extensión con 322.397 ha regables de las que se riegan 310.849 ha. Esta zona coincide con las Comunidades de Regantes más importantes del eje del Guadalquivir y del Genil, y son el resultado de la modernización de los regadíos de la cuenca. El uso medio de agua es de 4.333 m<sup>3</sup>/ha, pero es la zona con mayor consumo total, que alcanza los 1.347 hm<sup>3</sup>. Esta zona debería ser más propensa al riesgo en pro de unos

mayores márgenes económicos.

Mapa 3. Distribución de los grupos de unidades de agregación de la DHG



Fuente: Gómez-Limón *et al.* (2012)

### Tipología 3 – Olivar

La zona de olivar ocupa 416.907 ha regables de las que efectivamente se riegan 406.907 ha. Es la zona de regadío más extensa del Guadalquivir, y la que menos agua por hectárea utiliza, con 1.695 m<sup>3</sup>/ha de media para un total de 689 hm<sup>3</sup>. Esta tipología también está repartida por todo el Guadalquivir, aunque especialmente en la zona del Alto Guadalquivir en la provincia de Jaén. Dado que el 92% de la superficie de la tipología es olivar, la simple maximización del margen bruto debería aproximarnos a la realidad, por lo que la participación de otros atributos será menor.

### Tipología 4 – Horticola tradicional

Muy distribuido geográficamente. Se pueden apreciar cuatro núcleos importantes, tres en Granada y uno en la provincia de Sevilla. La superficie que ocupa no es excesivamente alta, con 62.821 ha regables con 51.069 ha regadas, con un uso medio de agua de 3.613 m<sup>3</sup>/ha y un uso total de 185 hm<sup>3</sup>. El hecho de que las hortalizas sean importantes en

esta zona ya denota que no son adversos al riesgo, por lo que el atributo riesgo debería ser menos importante que en las zonas de herbáceos tradicionales y vega modernizada.

#### Tipología 5 – Arroz

El arroz forma una tipología única en la que solo existe el arroz, aunque el análisis de conglomerados haya incluido algunas zonas limítrofes de explotaciones con otros cultivos. Así, el arroz ocupa el 97% de una superficie de 36.680 ha regables con 34.782 ha regadas. Aunque pequeña en extensión, esta tipología es importante desde el punto de vista del uso del agua porque presenta un uso medio de 12.233 m<sup>3</sup>/ha, con un consumo total de 425 hm<sup>3</sup>. La sola maximización de los márgenes debería dar una solución óptima, al menos en cuanto a la distribución de cultivos.

Tabla 5. Características principales de los grupos analizados

Variables	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Total
Número de unidades de agregación	137	252	892	288	34	1.603
Número de regantes	17.916	56.348	117.119	42.741	1.499	235.623
Consumo de agua total (hm <sup>3</sup> )	194	1.347	689	185	425	2.840
Superficie regable (ha)	44.200	322.397	416.907	62.821	36.680	883.005
Superficie regada (ha)	39.002	310.849	406.354	51.069	34.782	842.056
Superficie regada de olivar (ha)	4.586	86.219	361.833	14.027	12	466.677
Superficie regada de cereales (ha)	6.008	48.950	12.975	8.322	145	76.401
Superficie regada de algodón (ha)	8.899	40.253	3.105	68	347	52.672
Superficie regada de hortalizas (ha)	3.468	19.741	8.444	11.784	127	43.564
Superficie regada de cítricos y frutales (ha)	1.825	46.284	5.831	4.574	8	58.521
Superficie regada de arroz (ha)	380	1.112	15	0,0	32.542	34.049
Superficie regada de cultivos industriales (ha)	3.085	24.695	1.477	294	279	29.830
Superficie regada de maíz (ha)	4.866	11.038	1.571	989	18	18.482
Superficie del resto de cultivos (ha)	5.884	32.556	11.102	11.013	1.305	61.860
Consumo de agua por hectárea a la entrada de la explotación (m <sup>3</sup> /ha)	4.983	4.333	1.695	3.613	12.233	3.373

Fuente: Adaptado de Gómez-Limón *et al.* (2012)

A partir de esta información han sido necesarios algunos ajustes para que la fuente de datos disponible coincida con los cultivos de las distintas tipologías. Así, al conjunto de cereales se le ha asignado los datos de trigo, a las hortalizas se le han adaptado los datos de la patata, para cítricos y frutales se toman los datos de los cítricos y para los cultivos industriales se toma el girasol como representante. La superficie de ‘resto de cultivos’ se elimina del modelo, puesto que no es posible asignarle datos de ningún cultivo concreto, con lo que la modelización se realizará sobre el resto de la superficie, aunque al final se extrapolen los datos al total de la superficie. También se ha hecho una pequeña

simplificación del modelo al eliminar las pequeñas superficies de arroz de las tipologías 1, 2 y 3.

### 5.2.2. Datos de partida

El modelo aporta información detallada sobre los cultivos, la demanda de agua, el uso de factores productivos, la renta agraria, el empleo, y todas las demás variables que se consideren útiles para evaluar el sector y los efectos de las políticas públicas que puedan afectar dicha actividad. Los datos empleados para alimentar el modelo provienen de los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas (RTEEA)* en Andalucía, que elabora el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, con una serie temporal que abarca de 2004 a 2009, ambos inclusive. Dado que aproximadamente el 90% de la superficie de la Cuenca del Guadalquivir está en Andalucía, y sólo un 10% de las encuestas queda fuera de la cuenca, parece adecuado extrapolar los datos de Andalucía a la Cuenca del Guadalquivir. Además, en estos informes no se incluyen encuestas de las grandes zonas de invernaderos del sureste, que podría distorsionar los datos.

Tabla 6. Situación de las explotaciones

Provincia	Comarca agraria	Número de explotaciones
Córdoba	La Sierra	4
	Campiña Baja	1
	Campiña Alta	5
Granada	De La Vega	3
	La Costa	1
Huelva	Costa	1
	Condado Litoral	8
Jaén	Campiña del Norte	4
	La Loma	8
	Mágina	1
Málaga	Sierra de Cazorla	4
	Norte o Antequera	4
	Centro Sur o Guadalhorce	2
Sevilla	La Sierra Norte	2
	La Vega	23
	Las Marismas	23
	La Campiña	17
	Estepa	1
Total		112

Fuente: *Resultados técnico-económico de explotaciones agrícolas en Andalucía 2009 (MAGRAMA)*

Los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas* tienen una periodicidad anual, aunque los cultivos analizados pueden diferir de un año a otro. En 2009, por ejemplo, el informe incluía los siguientes cultivos de secano: trigo duro, girasol, olivar de aceituna de mesa y almazara; y los cultivos de regadío: maíz grano, arroz, patata temprana, remolacha azucarera, algodón, tomate para industria, fresón en invernadero, olivar (aceituna de mesa y almazara) y naranja dulce, de 112 explotaciones de Andalucía.

Las explotaciones se localizan principalmente en 3 comarcas agrarias de la provincia de Sevilla: La Vega, Las Marismas (23 en cada una de ellas) y La Campiña (17), así como en las comarcas de Condado Litoral, de Huelva, y La Loma, de Jaén (8 en cada una) y Campiña Alta, de Córdoba (5).

#### *Superficie: variable del modelo*

La superficie de los cultivos será la variable del modelo, como ya se describió en el capítulo de metodología. De esta manera, las variables serán las superficies de trigo, arroz, maíz, algodón, girasol, hortalizas, frutales, olivar y reserva. La reserva es una variable de escape, que participa cuando no se quiere tener regadío; esto es, sería la alternativa de secano. En la práctica está representada por una media ponderada de trigo y girasol de secano, que son los dos cultivos herbáceos de secano de mayor presencia.

#### *Precios*

Tabla 7. Precios medios anuales de los cultivos seleccionados (€/kg)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	PROMEDIO
Trigo	0,15	0,15	0,15	0,19	0,25	0,20	0,18
Arroz	0,20	0,20	0,19	0,24	0,36	0,28	0,25
Maíz	0,14	0,14	0,15	0,21	0,17	0,16	0,16
Algodón	0,89	0,88	0,28	0,33	0,36	0,28	0,31
Girasol	0,28	0,29	0,25	0,40	0,27	0,25	0,29
Hortalizas	0,43	0,14	0,25	0,25	0,22	0,25	0,26
Frutales	0,27	0,23	0,20	0,18	0,17	0,26	0,22
Olivar	0,48	0,59	0,46	0,50	0,41	0,39	0,47
Reserva	0,17	0,18	0,16	0,23	0,26	0,21	0,20

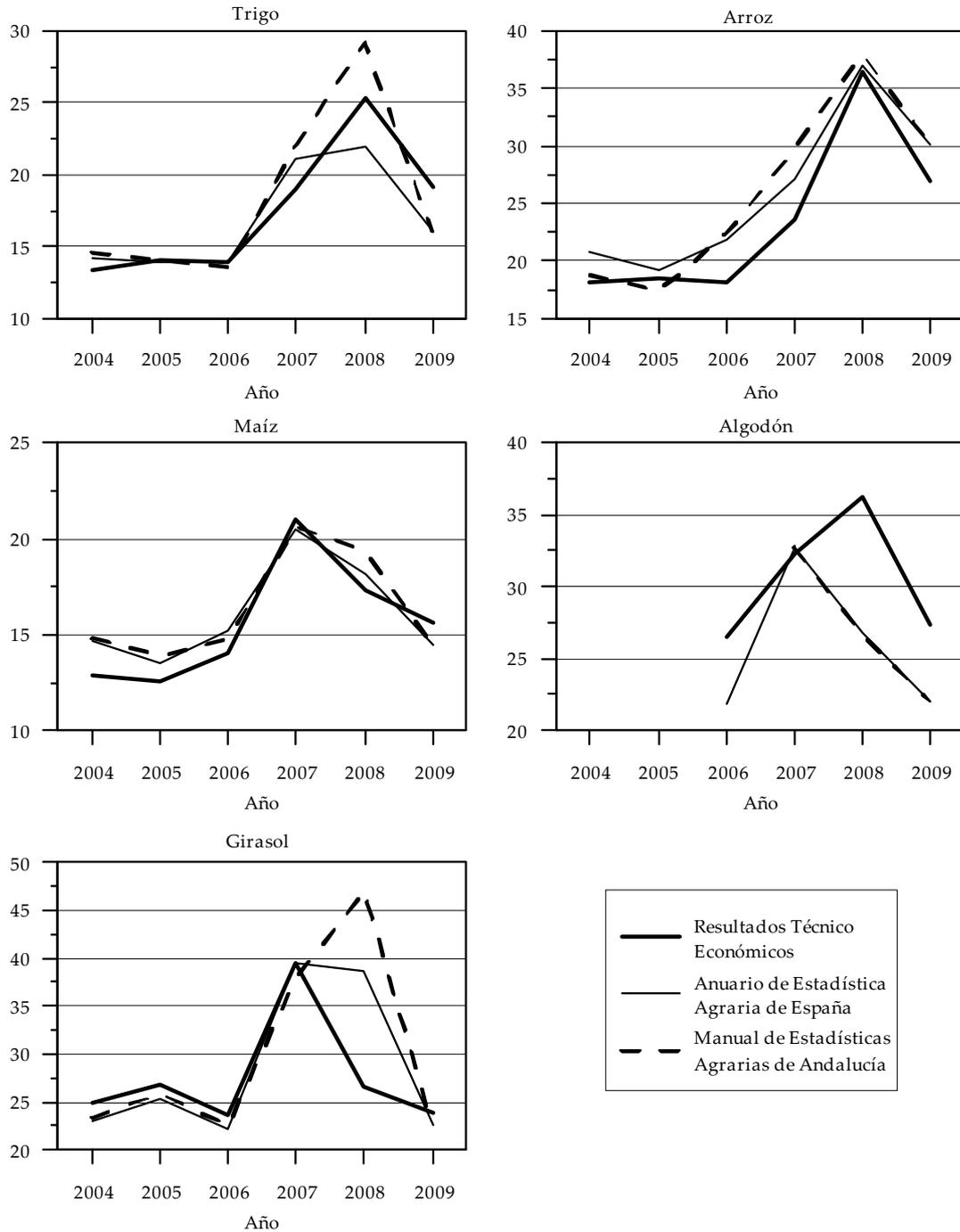
Fuente: *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas* en Andalucía (MAGRAMA)

Los precios están deflactados con base 2008=100 con el deflactor de PIB, que cómo ya ha sido explicado en la nota de pie de la sección 3.1.1 es un índice más adecuado que el IPC. La elección del año 2008 como base es totalmente arbitraria y sólo se basa en el uso de

la misma en muchas de las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, como por ejemplo el deflactor del PIB aquí utilizado. Los datos de hortalizas en los años 2006 y 2007 en precios se corresponden con el promedio antes de deflactor. El promedio para el algodón solo se toma de los últimos cuatro años, debido a que los precios anteriores están incrementados con la subvención, que se aplicaba a través del precio.

En la Figura 13 se muestra los precios corrientes según las distintas fuentes disponibles. Los Resultados técnico-económico, como ya se ha comentado, es una encuesta realizada en Andalucía. Los datos del *Anuario de estadística agraria de España* son datos para todo el país, donde se supone que los precios son aproximadamente similares. El *Manual de estadísticas agrarias de Andalucía*, por su parte, también recoge sólo datos de Andalucía, pero en base a un mayor muestreo. Todos los precios son corrientes. Finalmente se decidió utilizar los datos de los *Resultados técnico-económicos* para tener coherencia con el resto de resultados, aunque bien podrían haberse usado los del *Anuario de estadística agraria de España*, siempre más bajos, o los del *Manual de estadísticas agrarias de Andalucía*, siempre más altos.

Figura 13. Precios de los cultivos según distintas fuentes (€/100kg)



Fuente: Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas (MAGRAMA), Anuario de estadística agraria de España (MAGRAMA) y Manual de estadísticas agrarias de Andalucía (Consejería de Agricultura de Andalucía).

*Rendimientos*

Tabla 8. Rendimientos medios anuales de los cultivos seleccionados (kg)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	PROMEDIO
Trigo	4.303	3.809	5.282	4.370	4.433	4.623	4.470
Arroz	9.375	8.197	7.664	7.844	6.065	8.581	7.954
Maíz	11.595	11.233	9.824	9.601	11.787	13.992	11.339
Girasol	1.954	1.661	2.057	2.061	2.301	2.094	2.021
Algodón	4.166	4.292	2.627	1.955	1.506	1.650	2.699
Hortalizas	30.460	26.243	28.495	28.495	23.628	33.648	28.495
Frutales	29.753	25.300	34.378	31.701	34.196	33.106	31.406
Olivar	3.013	4.538	4.167	3.248	5.087	5.612	4.278
Reserva	2.096	1.606	2.394	1.682	1.373	2.416	1.928

Fuente: *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas en Andalucía y Anuario de estadística agraria de España* (MAGRAMA)

Al igual que para los precios, los datos de rendimientos de las hortalizas en 2006 y 2007 se han completado con la media. A pesar de estos dos ajustes (en precios y rendimientos), las hortalizas siguen presentando la mayor variabilidad, como podrá comprobarse más adelante. Además de las fuentes citadas para los precios, también existe la *Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos de España* (ESYRCE), que proviene de una encuesta bastante detallada. Por homogeneidad seguiremos utilizando los datos de los *Resultados técnico-económicos*, aunque los datos para trigo y girasol de regadío provienen del *Anuario de estadística agraria de España*.

*Costes*

Para el cálculo de los costes solo se han tenido en cuenta los costes variables, que son los que afectan a la decisión de plantar uno u otro cultivo, dado que los costes fijos no deberían afectar, siempre y cuando el margen bruto medio final sea positivo. Fundamentalmente hay dos fuentes de información pública para los costes de los cultivos. Una es la Red Contable Agraria Nacional (RECAN), publicada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y la otra son los *Resultados técnico-económicos* ya comentados.

La RECAN tiene periodicidad anual con informes trimestrales. Los datos de la RECAN no son representativos del conjunto de explotaciones agrarias, dado que no recogen a todas las explotaciones censadas, y además todas las que figuran son superiores a una

dimensión empresarial dada (solo recoge las explotaciones superiores a 2 Unidades de dimensión económica), que depende del año del que estemos considerando los datos. Aún así, sí es cierto que aportan un porcentaje muy elevado del Margen Bruto Total de las explotaciones censadas, lo que les confiere por tanto gran importancia en el sector agrario. Así pues, puede afirmarse que en la actualidad supone la más fiable aproximación a la realidad empresarial agraria.

Todos los datos se encuentran agregados por Comunidad Autónoma y por OTE (Orientación Técnico-Económica), por lo que no se puede hacer desglose por cultivos, aunque algunas de las OTEs coinciden con los grupos de cultivos estándar. No siempre es evidente la diferenciación entre regadío y secano, y es posible que en algunos grupos estén combinados.

La información proviene de unas 8.300 explotaciones adscritas al programa de la RECAN con distintas orientaciones productivas y tamaños.

El análisis de resultados se realiza para el conjunto de España según las principales orientaciones productivas y estratos de tamaño, que se complementa con otras salidas por Comunidades Autónomas para sus orientaciones productivas más importantes.

Dicho análisis comprende el cálculo del valor de la producción, de las subvenciones, de los costes y de los resultados de la explotación. Se estudia además la estructura productiva de las explotaciones por medio del trabajo aportado, la superficie de cultivos y del ganado.

Esta fuente de información no se ha utilizado porque ciertos cultivos, como el maíz y el trigo, no vienen desglosados, lo cual es clave para nuestro estudio.

Los costes que se han tenido en cuenta para el estudio han sido:

- Costes directos
  - Semillas y plantas
  - Fertilizantes
  - Productos fitosanitarios
  - Otros suministros (incluido riego)
- Maquinaria
  - Trabajos contratados
  - Carburantes y lubricantes
  - Reparaciones y repuestos

- Mano de obra
  - Mano de obra asalariada
  - Mano de obra familiar
  - Cargas sociales

La Tabla 9 muestra los costes variables de los cultivos en euros por hectárea cultivada. Para el cálculo de los costes de trigo y girasol de regadío se han utilizado los rendimientos de los cultivos del *Anuario de estadística agraria de España*.

Tabla 9. Coste variable de los cultivos (€/ha)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Trigo	686,3	1.115,7	560,1	456,8	692,0	754,0	710,8
Arroz	1.832,8	1.857,6	1.776,7	1.640,3	1.694,7	1.405,2	1.701,2
Maíz	1.652,5	1.760,5	1.733,0	1.261,8	1.840,7	1.827,4	1.679,3
Algodón	2.053,0	2.196,1	1.659,0	1.199,4	1.657,9	1.578,8	1.724,0
Girasol	333,1	289,6	453,4	399,4	317,1	348,5	356,9
Hortalizas	4.414,8	4.767,5			5.049,0	6.399,4	5.157,7
Frutales	3.871,8	3.458,1	4.131,6	3.575,3	4.038,4	4.180,9	3.876,0
Olivar		1.616,7	1.262,3	1.132,3	1.905,8	1.788,6	1.541,2
Reserva	498,5	426,7	389,5	336,2	417,9	475,5	424,0

Fuente: elaboración propia a partir de *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas* y *Anuario de estadística agraria de España* (MAGRAMA).

### Subvenciones y ayudas

Pese a que las ayudas directas a la producción han sido totalmente desacopladas y desvinculadas, todavía queda una serie de ayudas a las que pueden acogerse los agricultores y que incide sobre la rentabilidad de los cultivos. El gran paquete de ayudas, el Pago Único, se ha sacado del modelo, dado que es un ingreso fijo no dependiente de la decisión de cultivo. Hasta el año 2006 las ayudas seguían vinculadas a la superficie cultivada de cada cultivo, pero después de 2006 quedaron desvinculadas, en aplicación de la reforma intermedia de la PAC de 2003. Así, solo se podría tomar la referencia de los tres últimos años. Los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas* muestran las ayudas asociadas a los cultivos, las cuales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Ayudas a la agricultura (€/ha)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Trigo	459,63	400,43	222,27	95,08	156,36	155,14	135,53
Arroz	1031,14	1504,18	883,15	457,47	453,87	454,81	455,38
Maíz	465,33	579	563,87	122,34	148,52	148,52	139,79
Algodón	-	-	-	-	-	-	-
Girasol	202,1	237,89	316,94	12,68	48,97	52,04	37,90
Hortalizas	-	-	-	-	-	-	-
Frutales	80,32	204,73	222,79	-	-	-	-
Olivar	788,86	736,79	640,29	55,03	66,02	72,81	64,62
Reserva	n/d	n/d	n/d	59,80	110,38	110,99	93,72

Fuente: *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas en Andalucía (MAGRAMA)*

#### Matriz de varianzas y covarianzas

Para medir el riesgo asociado a una decisión de cultivo se ha determinado que se usa la desviación típica del margen bruto variable. La ecuación que utilizamos es:

$$\sigma(x) = (x^T \cdot VCV \cdot x)^{1/2}$$

donde VCV es la matriz de varianzas y covarianzas del margen bruto. La diagonal mide la varianza de un cultivo mientras que el resto de elementos miden las covarianzas entre cultivos. La Tabla 11 muestra la matriz de varianzas y covarianzas del estudio.

Tabla 11. Matriz de varianzas y covarianzas del margen bruto variable de los cultivos seleccionados

	Trigo	Arroz	Maíz	Algodón	Girasol	Hortalizas	Frutales	Olivar	Reserva
Trigo	<b>48.961</b>	14.978	61.059	-199.812	13.001	-357.941	-127.427	-2.237	10.987
Arroz	14.978	<b>146.791</b>	82.508	-132.463	5.886	318.872	153.306	-89.775	3.945
Maíz	61.059	82.508	<b>192.411</b>	-418.163	14.842	-352.832	-3.022	-26.480	27.725
Algodón	-199.812	-132.463	-418.163	<b>1.577.011</b>	-56.238	943.222	277.292	74.817	-81.193
Girasol	13.001	5.886	14.842	-56.238	<b>15.938</b>	-73.847	-68.039	-6.759	2.558
Hortalizas	-357.941	318.872	-352.832	943.222	-73.847	<b>11.800.833</b>	2.116.507	-856.118	-104.057
Frutales	-127.427	153.306	-3.022	277.292	-68.039	2.116.507	<b>1.200.006</b>	-131.723	-10.088
Olivar	-2.237	-89.775	-26.480	74.817	-6.759	-856.118	-131.723	<b>159.916</b>	5.519
Reserva	10.987	3.945	27.725	-81.193	2.558	-104.057	-10.088	5.519	<b>7.655</b>

## Agua

Como ya se comentó anteriormente, la Cuenca del Guadalquivir es deficitaria. El agua aportada a los cultivos es inferior, en la mayoría de los casos, a la evapotranspiración potencial máxima que pueden realizar, de manera que no es posible alcanzar la máxima producción vegetal. Una forma de adaptarse a esta situación estructural de escasez es mediante el riego deficitario controlado, que es una técnica de ahorro de agua que consiste en aportar menos cantidad de agua en los momentos menos críticos para los cultivos, y aportarle la máxima cantidad en las fases más críticas, como durante la nascencia y floración, pudiendo llegar a producciones y calidades similares a una aplicación normal del riego. Esta técnica es más habitual en frutales (p.ej. González-Altozano y Castel, 2003; Ballester et al., 2011; Marsal y Stöckle, 2011), incluso desarrollando modelos de desarrollo del frutal para aplicar técnicas de riego deficitario controlado (Marsal and Stöckle, 2011). En herbáceos, sin embargo, estas técnicas son menos habituales, ya que la respuesta al uso del agua es bastante lineal, de manera que cualquier disminución en el aporte de agua produce una pérdida de producción proporcional, aunque también se pueden encontrar trabajos al respecto (p.ej. Domínguez et al., 2012).

Muchas veces, en el caso de los cultivos mediterráneos habituales de secano o adoptados como trigo o girasol, se suele aportar riego en momento críticos (nascencia y maduración) en aquellos años en los que las condiciones climáticas lo aconseje.

Tabla 12. Dosis de riego por tipología a la entrada de la explotación (m<sup>3</sup>/ha)

	<b>Tipología 1</b>	<b>Tipología 2</b>	<b>Tipología 3</b>	<b>Tipología 4</b>	<b>Tipología 5</b>
Trigo	4.000	3.500	1.500	1.700	1.500
Arroz	-	-	-	-	12.200
Maíz	7.000	6.000	5.000	6.000	5.000
Algodón	6.500	5.000	4.500	4.500	4.500
Girasol	3.500	3.000	1.500	1.700	1.500
Hortalizas	6.500	6.500	4.500	6.000	4.500
Frutales	6.500	6.000	5.000	5.500	5.000
Olivar	2.500	3.000	1.500	2.000	1.500
Reserva	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de Consejería de Agricultura y Pesca (2011) y Berbel et al. (2011)

Por tanto, la dosis de riego no puede basarse en una fórmula teórica de maximización de la evapotranspiración como la de Penman (1948), sino que tiene que basarse en la observación de la realidad, entendida como la práctica habitual de los

regantes. En la presente tesis nos basamos en el trabajo de Berbel et al. (2011), cuyos datos se mostraron en la Tabla 3 y en el Inventario de Regadíos de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, 2011). Las dosis varían de una tipología a otra dependiendo de su grado de modernización, y están referidas al agua a la entrada de la explotación, sin tener en cuenta la eficiencia de aplicación del riego.

### *Eficiencia de riego*

La eficiencia de riego que se usa en el modelo es la eficiencia de aplicación del riego, dependiente del sistema de riego que se utilice. Esta eficiencia ha ido mejorando con los planes de modernización de regadíos, sustituyendo sistemas de aplicación de riego menos eficientes por otros más eficientes. Asignando una eficiencia media del 60% para el riego por gravedad, 75% para la aspersión y 90% para el riego localizado, podemos asignar una eficiencia para cada tipología según la superficie regada con cada uno de los sistemas.

En términos generales existen otras dos eficiencias relacionadas con el uso del agua que no se utilizan en la presente tesis. Una de ellas es la eficiencia de distribución, que se refiere a las pérdidas de agua desde la entrada de agua en la comunidad de regantes hasta su llegada a la explotación. La otra eficiencia es la de transporte, referida a las pérdidas sufridas desde el punto de captación de agua hasta la entrada a la comunidad de regantes. El producto de las eficiencias de transporte, distribución y aplicación nos proporcionaría la eficiencia global del uso del agua.

Tabla 13. Eficiencia de aplicación de riego por tipología

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
% de superficie regada por superficie	61,3	7,2	5	75	96,1
% de superficie regada por aspersión	15,9	48,1	3,1	3,8	3,5
% de superficie regada por riego localizado	22,8	44,7	91,9	21,2	0,4
Eficiencia media (%)	69,23	80,63	88,04	66,93	60,65

Fuente: Inventario de regadíos de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, 2011)

### *Mano de obra*

La mano de obra también se obtiene de los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrarias* (MAGRAMA), donde se distingue entre la mano de obra contratada y la mano de obra familiar, además de las cargas sociales. A partir de los costes y conociendo el coste del jornal, podremos deducir el número de jornales que se emplean por cultivo.

Tabla 14. Mano de obra por hectárea y cultivo (jornales)

	Asalariada	Familiar
Trigo	2,3	0,9
Arroz	6,0	5,0
Maíz	5,8	5,9
Algodón	8,3	8,2
Girasol	2,8	1,2
Hortalizas	16,5	35,9
Frutales	38,3	28,0
Olivar	15,5	3,5
Reserva	2,3	0,9

Fuente: *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrarias en Andalucía (MAGRAMA)*

### 5.3. La Zona Regable de Genil-Cabra

La Zona Regable Genil-Cabra se encuentra en la cuenca del afluente más extenso del Guadalquivir, el Genil, que tiene una superficie de 8 278 km<sup>2</sup>, una longitud de más de 300 km y se desarrolla a través de las provincias de Granada, Jaén, Málaga, Córdoba y Sevilla.

La Zona Regable Genil-Cabra se desarrolló a partir del decreto 462/74 de 25 de enero que declaró la zona de interés nacional para su transformación en regadío. Comprende una extensión de 40.085 ha de las cuales 37.010 ha son útiles para riego. Está situada entre las provincias de Córdoba y Sevilla, y forma parte de los siguientes municipios con la siguiente distribución de superficie:

Aguilar de la Frontera.....	568 ha
La Carlota .....	1.824 ha
Fuente Palmera .....	15 ha
Montalbán.....	1.038 ha
Montilla.....	500 ha
Puente Genil .....	2.614 ha
La Rambla.....	802 ha
Santaella.....	17.606 ha
Ecija.....	11.105 ha
Estepa .....	938 ha
TOTAL .....	37.010 ha

La Zona Regable Genil-Cabra está constituida por cuatro colectividades: Puente Genil, Santaella, Écija y La Carlota, aunque el tipo de agricultura llevada a cabo en las cuatro colectividades es muy similar.

La transformación a regadío de la zona consta de dos fases:

1ª Fase (Sectores I al VII):	8.780 ha
2ª Fase (Sectores VIII al XVIII):	28.230 ha

De las 37.010 ha se encuentran transformadas en la actualidad y puestas en regadío 15.068 ha, pertenecientes a la primera fase, sectores I al VII e inicio de la segunda fase, sectores VIII al XI.

El agua para riego procede del río Genil, regulado por el Embalse del Iznájar, de 981 hm<sup>3</sup> de capacidad, el cual dedica a esta transformación 212 hm<sup>3</sup> de los 346 hm<sup>3</sup> en los que se estima un desembalse asegurado. La elevación de agua al canal principal se lleva a cabo en el Embalse de Cordobilla, siendo la cota de elevación del embalse a la cabecera del canal de 24 m. La estación de bombeo principal de Cordobilla consta de 6 grupos motobomba de 1.250 cv (uno de reserva), y dos de 3.400 cv con una capacidad de elevación de 2 m<sup>3</sup>/s y 6 m<sup>3</sup>/s de agua respectivamente, lo que hace un total de 22 m<sup>3</sup>/s de agua elevada. El canal principal, con un recorrido de 22 km, atraviesa la zona de Sur a Norte, distribuyendo el agua a los distintos Sectores a través de las estaciones sectoriales de bombeo que dan presión al agua de riego. Existen cinco estaciones de bombeo: Sector 0, Amarguilla, Fuente del Lobo, Patamulo y San José en este orden partiendo del embalse de Cordobilla.

A partir de la estación de bombeo el agua es conducida a las distintas agrupaciones a través de la red de distribución primaria, la red secundaria de distribución llega a la toma a pie de cada parcela. Dentro de la parcela, cada agricultor distribuye el agua a los diferentes cultivos mediante una red de tuberías privadas de la cual el agricultor es responsable de su instalación y mantenimiento.

El riego es la demanda, pudiendo el agricultor hacer uso del agua durante todo el año de forma continuada. Cada colectividad posee un caudalímetro de ultrasonido y un medidor instantáneo de la presión de agua, cuyas lecturas se registran en el ordenador de la estación de bombeo principal. Cuando uno de los agricultores abre la válvula de riego de su parcela, disminuye la presión de la red de distribución de agua. Esta disminución de presión es detectada automáticamente en la estación de bombeo de la colectividad. Si el caudal es bajo, un calderín de presión en la estación de bombeo restablece la presión en la

red, si por el contrario son más las parcelas que se encuentran regando y la extracción de agua es mayor, se activan automáticamente las bombas necesarias de la estación de carga de la colectividad, bombeando agua del canal principal y restableciendo la presión en la red de tuberías.

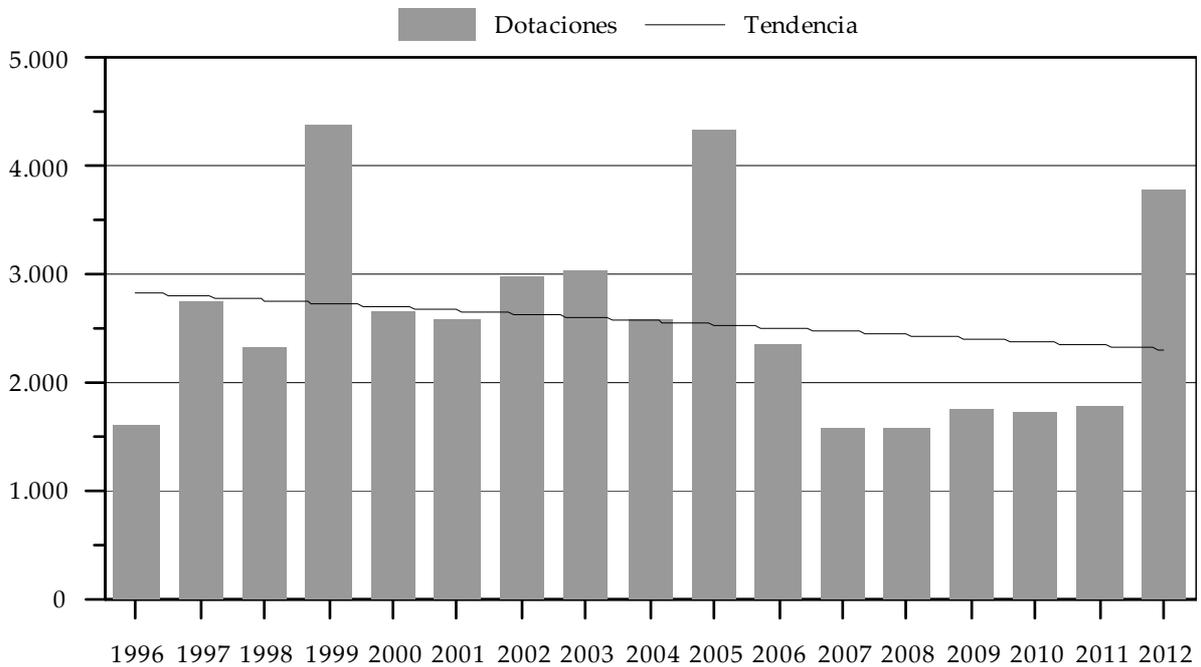
Cada parcela cuenta con un contador de paso independiente con marcador visual, que es inspeccionado por el personal de la colectividad, que recoge las lecturas de dichos contadores. De esta forma, la facturación del agua se puede realizar a cada agricultor individualmente según el volumen consumido.

Esta comunidad de regantes presenta una típica combinación de cultivos anuales y permanentes, incluyendo trigo con el 30% de la superficie, olivar (29%), girasol (16%), algodón y ajo (8% cada uno) y otros cultivos. Esta zona estaría dentro de la tipología vega modernizada.

Los derechos sobre el uso del agua es a través de una concesión de 5.000 m<sup>3</sup>/ha, pero debido a la escasez de agua estructural la cantidad de agua recibida cada año es inferior a esta y el agua efectivamente recibida se encuentra habitualmente en el rango de 2.000 a 3.000 m<sup>3</sup>/ha.

Estos derechos del uso del agua son concedidos por la autoridad de cuenca, que cuenta con una serie de reglas predeterminadas para decidir la cantidad de agua que se asigna al inicio de la campaña, aunque muchas veces no se tiene la información hasta después, una vez establecidos los cultivos en el campo.

Los derechos del agua están ligados a la posesión de la tierra y están definidos como una cantidad de agua por hectárea. En esta zona de estudio toda el agua usada es de origen superficial y está totalmente bajo el control de las autoridades del agua, no presentando problemas asociados a la extracción ilegal del agua.

Figura 14. Dotación anual y tendencia en la Zona Regable Genil-Cabra (m<sup>3</sup>/ha)

Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Los beneficios obtenidos por el agricultor han sido calculados a partir de la media de una serie temporal de seis años, entre 2003 y 2008. Las decisiones en esta serie de años se han visto afectadas por la Política Agrícola Común. A mitad del periodo considerado, esta política ha cambiado desde incentivos ligados a la producción (ayudas directas vinculadas a la superficie de cultivos concretos) a un nuevo sistema tras la reforma intermedia de la PAC de 2003, aunque no se aplicó hasta 2006, donde se recibe un pago único totalmente desacoplado, sea cual sea la producción. Este cambio en la política agraria significa que los agricultores pueden decidir libremente sobre su plan de cultivos, excepto en los casos en los que existen cuotas de producción o máximos de superficie para algún cultivo específico. Para este trabajo habría sido deseable haber tenido un largo periodo para observar cómo los agricultores se adaptan a la nueva política agraria pero esto sólo será posible dentro de unos años. La alternativa al regadío es la agricultura de secano, para la cual también se han recogido datos.

### 5.3.1. Datos de partida

*Superficie: variable del modelo*

Al igual que para el caso anterior, la superficie de los cultivos será la variable del modelo, como ya se describió en el capítulo de metodología, pero en este caso serán las superficies de trigo, maíz, haba seca, patata, algodón, girasol, alfalfa, espárrago, melón, ajo, cebolla, viñedo, olivar y secano. En el año 2008, para el cual se realiza la calibración, las superficies de los cultivos son las mostradas en la Tabla 15.

Tabla 15. Superficies observadas 2008 Genil-Cabra

Cultivo	Superficie (ha)	Cultivo	Superficie (ha)
Trigo	4.604,0	Espárrago	73,7
Maíz	89,7	Melón	181,7
Haba seca	125,6	Ajo	1.222,7
Patata	271,1	Cebolla	206,3
Algodón	1.328,0	Viñedo	179,0
Girasol	2.416,3	Olivar	4.400,0
Alfalfa	250,8	Otros	1.377,9
		Total	16.416,4

Fuente: Memorias de Riego Z.R. Genil-Cabra 2008 (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir)

*Precios*

Para este caso se ha optado por tomar los precios nacionales del *Anuario de estadística agraria de España*, ya que los *Resultados técnico-económicos* no tenían información completa para todos los cultivos, que se han tenido que adaptar de otras zonas para calcular los costes. Los precios están deflactados con base 2008=100 con el deflactor de PIB.

Tabla 16. Precios medios anuales de los cultivos seleccionados (€/kg)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	PROMEDIO
Trigo	0,15	0,16	0,15	0,16	0,22	0,22	0,18
Maíz	0,17	0,16	0,14	0,17	0,21	0,18	0,17
Haba seca	0,22	0,24	0,24	0,23	0,26	0,31	0,25
Patata	0,24	0,25	0,18	0,30	0,25	0,23	0,24
Algodón	0,37	0,26	0,08	0,25	0,34	0,27	0,26
Girasol	0,24	0,26	0,27	0,25	0,41	0,39	0,30
Alfalfa	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,17	0,14
Espárrago	1,94	1,84	1,79	1,81	1,63	1,74	1,79
Melón	0,35	0,26	0,24	0,30	0,30	0,40	0,31
Ajo	0,89	0,96	1,10	1,57	1,36	1,26	1,19
Cebolla	0,19	0,18	0,17	0,21	0,25	0,16	0,19
Viñedo	0,48	0,46	0,54	0,57	0,56	0,53	0,52
Olivar	0,65	0,67	0,77	0,81	0,51	0,50	0,65

Fuente: *Anuario de estadística agraria de España* (MAGRAMA)

#### Rendimientos

Los datos de rendimientos fueron tomados de las Memorias de Riego para la Zona Regable del Genil-Cabra, elaboradas por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. La elección de esta fuente obedece a su mayor cercanía a la realidad de la zona.

Tabla 17. Rendimientos medios anuales de los cultivos seleccionados (kg)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	PROMEDIO
Trigo	4.000	4.000	2.000	3.500	4.000	4.000	3.583
Maíz	12.900	13.500	13.500	13.500	14.000	14.000	13.567
Haba seca	3.500	4.200	2.500	2.500	2.500	2.500	2.950
Patata	40.000	32.000	35.000	35.000	15.000	15.000	28.667
Algodón	3.957	4.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.993
Girasol	1.370	1.500	1.500	1.500	2.000	2.000	1.645
Alfalfa	12.000	12.000	13.000	13.000	18.000	18.000	14.333
Espárrago	4.036	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.006
Melón	50.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	37.500
Ajo	10.000	12.000	12.500	13.000	12.500	12.500	12.083
Cebolla	50.000	46.000	48.000	50.000	48.000	48.000	48.333
Viñedo		13.053	12.000	12.000	12.000	12.000	12.211
Olivar	7.684	8.000	7.000	7.000	8.000	8.000	7.614

Fuente: Memorias de Riego Z.R. Genil-Cabra (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir)

## Costes

Tabla 18. Coste variable de los cultivos (€/ha)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Promedio
Trigo	942,6	943,6	937,5	931,5	882,1	690,0	887,9
Maíz	2.326,4	2.038,8	2.082,2	2.068,9	1.881,7	1.500,0	1.983,0
Haba seca	1.348,8	1.306,3	966,8	960,6	893,8	760,0	1.039,4
Patata	3.417,9	4.420,3	4.383,1	4.355,1	4.057,4	3.450,0	4.014,0
Algodón	2.983,0	3.171,6	3.238,0	2.602,6	1.411,3	900,0	2.384,4
Girasol	938,6	894,4	910,8	905,0	470,4	400,0	753,2
Alfalfa	1.671,4	1.572,4	1.509,3	1.499,7	1.411,3	1.200,0	1.477,3
Espárrago	8.169,9	7.447,4	7.433,3	7.385,8	6.703,6	5.700,0	7.140,0
Melón	3.045,2	3.543,7	3.619,0	3.595,9	3.251,8	2.765,0	3.303,4
Ajo	5.714,0	6.311,0	6.445,0	6.403,9	5.939,1	5.050,0	5.977,2
Cebolla	3.158,7	4.122,1	4.211,2	4.184,3	3.881,0	3.300,0	3.809,6
Viñedo		4.972,7	4.020,2	3.994,6	3.704,6	3.150,0	3.307,0
Olivar	2.893,8	2.906,8	2.967,4	2.948,4	2.940,2	2.500,0	2.859,4

Fuente: elaboración propia a partir de *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas y Anuario de estadística agraria de España* (MAGRAMA).

La fuente de datos para los costes es la misma que en el caso anterior: los *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas* en Andalucía. Como ya se ha dicho, solo se han tenido en cuenta los costes variables.

## Agua

Las dosis necesarias de riego han sido tomadas de las Memorias de riego de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Tabla 19. Dosis de riego en la CC.RR. de Genil-Cabra

	Promedio		Promedio
Trigo	1.321	Espárrago	2.641
Maíz	7.483	Melón	3.962
Haba seca	1.761	Ajo	3.742
Patata	2.157	Cebolla	3.742
Algodón	4.138	Viñedo	2.201
Girasol	1.387	Olivar	1.959
Alfalfa	6.603		

Fuente: Memorias de riego Z.R. Genil-Cabra (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir)

*Eficiencia de riego*

La eficiencia media de aplicación del agua ha sido estimada en el 70% en el escenario base y la mejora de la eficiencia resultante de la aplicación del plan de modernización puede incrementarla hasta el 88%, principalmente por la instalación de infraestructura de riego por goteo. Esta estimación se ha hecho a partir de la superficie regada por sistema de riego y a la eficiencia teórica de cada uno de estos sistemas. Se ha asignado al riego por gravedad una eficiencia del 70%, a la aspersión un 80% y al riego localizado un 92,5% (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, 2011), un poco más elevadas que las consideradas para el caso anterior, ya que se trata de una zona de por sí bastante modernizada antes de las actuaciones.

Finalmente, la Tabla 20 muestra el resumen de los datos necesarios para el desarrollo del modelo de revelación de preferencias.

Tabla 20. Datos de partida para la CC.RR. Genil-Cabra

Cultivo	Superficie (ha)	Precio (€/kg)	Rendimiento (kg/ha)	Subvención (€/ha)	Coste variable (€/ha)	Margen bruto variable (€/ha)	Riego (m <sup>3</sup> /ha)
Trigo	4.604,0	0,22	3.583	40	611,67	208,53	1.321
Maíz	89,7	0,20	13.566	0	1.660,17	1.002,90	7.483
Haba seca	125,6	0,25	2.950	55,57	453,23	338,16	1.761
Patata	271,1	0,24	28.666	0	2.862,42	4.062,12	2.157
Algodón	1.328,0	0,26	2.992	1.214,41	1.391,90	596,35	4.138
Girasol	2.416,3	0,40	1.645	0	318,88	333,48	1.387
Alfalfa	250,8	0,14	14.333	0	522,07	1.416,88	6.603
Espárrago	73,7	1,79	4.006	0	6.349,44	830,98	2.641
Melón	181,7	0,31	37.500	0	2.800,10	8.759,72	3.962
Ajo	1.222,7	1,19	12.083	0	4.531,80	9.852,02	3.742
Cebolla	206,3	0,19	48.333	0	1.611,06	7.760,57	3.742
Viñedo	179,0	0,52	12.210	0	1.771,32	4.638,43	2.201
Olivar	4.400,0	0,65	7.614	0	1.480,58	3.490,31	1.959
Secano	0	0,18	2.409	0	383,78	39,75	0

Fuente: Memorias de riego Z.R. Genil-Cabra (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas en Andalucía (MAGRAMA) y Anuario de estadística agraria de España (MAGRAMA)*

---

## Capítulo 6.

# Resultados. La volatilidad de los mercados agrarios

---

### 6.1. Introducción

En este capítulo se va a analizar el efecto que tendría la volatilidad de los precios de los cultivos sobre la decisión de cultivos del agricultor y sobre otros indicadores socio-económicos. Para ello se va a utilizar el modelo de revelación de preferencias sobre una serie de tipologías agronómicas en la Cuenca del Guadalquivir. Una vez calibrado, se realizará un estudio sobre las elasticidades demanda-precio de cada tipología para conocer la reacción del agricultor frente a aumentos en el precio de los productos. Finalmente se detallará un escenario de subida de precios mundiales, que afectará tanto al margen bruto esperado como a la desviación típica del mismo, y se analizará el efecto que tendría si esos precios mundiales llegaran a trasladarse al mercado local, hecho que en la actualidad no ocurre así, ya que el precio del mercado interno es inferior al del mercado mundial en estas subidas de precios. Este capítulo está en revisión como capítulo de libro con revisión por pares por la editorial *Science Publishers*, con el título *Price Volatility and Water Demand in*

*Agriculture. A Case Study of the Guadalquivir River Basin (Spain)* en el libro *Economics of Water Management in Agriculture*.

## 6.2. Metodología

### 6.2.1. Elasticidad demanda-precio de los productos

Antes de definir unos escenarios concretos, lo primero que se estudia es la elasticidad demanda-precio de cada uno de los cultivos para diferentes incrementos de precio.

Incrementando uno a uno los precios de los productos de manera independiente podremos conocer el efecto que tiene sobre la decisión de cultivo completa. El incremento de precio afecta tanto al margen bruto como a la varianza. La nueva varianza se calcula multiplicando la serie de precios históricos por un factor  $\lambda$  determinado, de manera que la matriz de varianzas y covarianzas reflejará una mayor variabilidad de los precios. En definitiva, el agricultor esperará un precio medio mayor, pero con una mayor fluctuación.

Se construirán matrices para cada incremento de precio. En la diagonal se podrá observar el efecto directo que tiene la subida del precio de un cultivo sobre la superficie que se cultiva del mismo. En principio cabría esperar que una subida de precios en un cultivo tenga el efecto de incrementar la superficie del mismo, mostrando un signo positivo. El resto de valores serán los efectos que tiene la subida de un determinado cultivo sobre los demás. Estos valores podrán tener signo positivo o negativo. Un signo positivo significaría que la subida del precio de un cultivo induce al aumento de la superficie cultivada de otro cultivo. En este caso se trataría de un cultivo complementario. La complementariedad se produce debido a las restricciones agronómicas del modelo. Así, por ejemplo, después de un cultivo esquilante de los nutrientes del suelo no podría ir otro, sino que tendría que ir un cultivo como el trigo. En este caso cabría esperar que, por ejemplo, el algodón fuera un cultivo complementario del trigo, y por tanto que al aumentar el precio del trigo, aumentase la superficie del algodón en proporción a la del trigo. Cabría esperar también que el efecto fuera a la inversa, que el algodón fuera complementario del trigo, pero la naturaleza de las relaciones de dependencia de las restricciones agronómicas no tienen por qué llevar a esa conclusión, aunque de forma general podría ser válida. Por el contrario, un signo negativo fuera de la diagonal de estas matrices significaría que el cultivo del que se trate es sustitutivo del que ve su precio aumentado, de manera que la superficie del cultivo con el precio aumentado ocupará parte del terreno destinado al otro cultivo.

Hay que hacer notar que los precios base (media 2004-2009) sobre los que se calculan los incrementos ya tienen de por sí un pequeño incremento incluido. En efecto, en la serie de precios de la Tabla 7 del Capítulo 5 se puede observar cómo los precios en general han aumentado en los últimos dos años. No obstante, los precios mundiales han crecido muy por encima de éstos. Esto significa que a pesar de la mayor apertura de la PAC, los precios mundiales no se trasladan al cien por cien al mercado local.

### 6.2.2. Definición de escenarios

Después de conocer los efectos individuales de incrementos de precios, estamos en disposición de crear unos escenarios definidos de subida de precios conjuntos.

En los escenarios que se plantean se proponen incrementos adicionales sobre los precios actuales, que con toda probabilidad requerirían que los precios internacionales se trasladan a los precios locales, lo cual depende de la PAC, que puede ser más o menos permisiva con su protección en frontera y su apoyo a los cultivos. Hay que entenderlo como el efecto de una mayor liberalización y globalización de los mercados, porque de otro modo sólo un pequeño porcentaje del precio se verá trasladado al agricultor.

Lo primero es definir qué cultivos son los que van a sufrir incrementos de precios. Estos tienen que ser cultivos sujetos a precios mundiales (*commodities*), y que además hayan experimentado en los últimos años un incremento en su volatilidad. Así, los cultivos sobre los que centraremos la atención serán trigo, arroz, maíz, algodón y girasol. Los cítricos tienen establecido un precio mundial, pero según datos del Banco Mundial no se observa incremento de la volatilidad; los precios, aunque fluctúan mucho, no han variado en su media. Respecto a los precios de hortalizas y olivar, estos no se ven arrastrados por los precios mundiales (World Bank, 2012).

Para definir los escenarios se ha tomado como dato de partida el precio medio de la serie observada y los precios máximos mundiales. Partiendo del precio base, se ha calculado en qué porcentaje ha crecido cada uno de los precios de los *commodities* estudiados. La siguiente tabla recoge el precio máximo y mínimo mensual de los precios mundiales en los últimos diez años y el precio medio observado en las encuestas de Andalucía para el periodo 2004-2009. Los datos mundiales para algodón y girasol han tenido que ser procesados ya que el primero estaba en euros por libra de peso y el segundo estaba referido a toneladas de aceite, transformándolo a través de un rendimiento graso del girasol del 44% sobre materia húmeda, que es como se recoge el producto (Guerrero, 1999).

Tabla 21. Precios máximos y mínimos mundiales y media observada en Andalucía (€/t)

	Trigo	Arroz	Maíz	Algodón	Girasol
MAX mundo	288,21	648,83	271,26	738,00	650,78
MIN mundo	108,89	160,38	71,30	162,00	200,81
MED Andalucía	182,04	246,05	162,31	502,58	288,69
% inc s/ media	158%	264%	167%	147%	225%

Fuente: Banco Mundial y *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrarias* (MAGRAMA)

El porcentaje que se muestra será el máximo incremento observado de los precios mundiales sobre la media andaluza. Este será nuestro escenario de máximo incremento para cada cultivo. Además, se definirá un punto intermedio entre el escenario base (media Andalucía) y el máximo mundial, así como un punto intermedio en cada tramo resultante. Finalmente, tendremos cinco series: el escenario base y cuatro incrementos de precios barriendo todo el rango desde el escenario base hasta el máximo mundial observado. Los coeficientes  $\lambda$  por los que multiplicaremos los precios para recalcular el margen bruto y la matriz de varianzas y covarianzas serán los siguientes para cada serie:

Tabla 22. Incrementos de precios para escenarios de volatilidad

	Trigo	Arroz	Maíz	Algodón	Girasol
Incremento 4	1,58	2,64	1,67	1,47	2,25
Incremento 3	1,44	2,23	1,50	1,35	1,94
Incremento 2	1,29	1,82	1,34	1,24	1,63
Incremento 1	1,15	1,41	1,17	1,12	1,31
Base	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

### 6.2.3. Curvas de costes marginales del agua

Además de los escenarios de precios a los costes actuales, para cada uno de ellos se va a construir unas curvas de respuesta de uso de agua frente a un hipotético incremento de los costes del agua, que podría provenir de distintas fuentes como una subida del canon, una nueva tarifa, mayores costes energéticos, nuevas fuentes de agua más costosas, entre otras. No se tratarían estrictamente de curvas de demanda ya que se trata del agua que estarían dispuestos a consumir a unos precios determinados de agua para satisfacer las necesidades reflejadas por su función de utilidad, de manera que estrictamente mayores niveles de precios del agua no tiene que suponer menores usos del agua, ya que otros criterios como el riesgo puede llevar a una combinación de cultivos más intensiva en el uso del agua.

### 6.3. Resultados

#### 6.3.1. Funciones de utilidad y validación del modelo

Al final del proceso de calibración del modelo se obtienen los exponentes  $\alpha$  que definen cada una de las funciones de utilidad. No más de tres atributos participan en cada función de utilidad, en el caso del olivar sólo dos y en el caso del arroz sólo un atributo.

$$U_1(\pi, \sigma, CI) = \pi^{0.61} \cdot (1,501.9 - \sigma)^{0.36} \cdot (73.8 - CI)^{0.03}$$

$$U_2(\pi, \sigma, CI) = \pi^{0.71} \cdot (1,033.2 - \sigma)^{0.26} \cdot (72.4 - CI)^{0.03}$$

$$U_3(\pi, \sigma) = \pi^{0.99} \cdot (332.7 - \sigma)^{0.01}$$

$$U_4(\pi, \sigma, TL) = \pi^{0.87} \cdot (1,314.1 - \sigma)^{0.10} \cdot (34.9 - TL)^{0.03}$$

$$U_5(\pi) = \pi$$

Donde recordemos que  $\pi$  es el margen bruto variable,  $\sigma$  su desviación típica, CI costes indirectos como proporción de los ingresos totales y TL mano de obra total.

Se han calculado una serie de errores que determinan la bondad del ajuste, así como el promedio de los errores, tal y como se describió en la metodología. La solución elegida es la que presentaba menor error promedio entre el error respecto a los atributos y la decisión de cultivos. A continuación se muestran los errores calculados.

Tabla 23. Errores medios cuadráticos sobre los valores observados en la realidad

	$\epsilon_a$	$\epsilon_d$	$\epsilon_m$
Tipología 1	0,76%	13,61%	6,8%
Tipología 2	1,17%	9,05%	4,6%
Tipología 3	0,28%	0,93%	0,5%
Tipología 4	1,13%	2,13%	1,2%
Tipología 5	27,93%	1,00%	14,0%

#### 6.3.2. Elasticidades

Se han obtenido matrices de elasticidades para cada tipología, así como para el agregado de la cuenca. Las matrices de la Tabla 24 están referidas al total de la cuenca y los incrementos de precio han sido del 1%, 10%, 30% y 90%, aunque en el Anexo II podrán

encontrarse tablas más completas para incrementos del 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 60%, 90%, 120% y 150%.

Tabla 24. Elasticidad demanda-precio para algunos niveles de precio agregado cuenca

1%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res	10%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	8,25	-1,53	0,41	-7,13	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Tri</b>	1,69	-0,30	0,09	-1,34	-0,05	0,00	-0,09	0,00
<b>Mai</b>	-3,97	1,38	-0,79	3,54	-0,16	0,00	0,00	0,00	<b>Mai</b>	-0,85	0,75	-0,61	0,83	-0,13	0,00	0,00	0,00
<b>Alg</b>	0,12	-0,03	0,05	-0,11	-0,04	0,00	0,00	0,00	<b>Alg</b>	0,10	-0,01	0,03	-0,09	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-5,77	1,13	-0,30	4,99	-0,06	0,00	0,00	0,00	<b>Gir</b>	-0,99	0,22	-0,10	0,86	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,07	0,00	-0,29	0,06	0,30	0,00	0,00	0,00	<b>Hor</b>	-0,09	0,07	-0,25	0,09	0,18	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00	<b>Fru</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00	<b>Oli</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

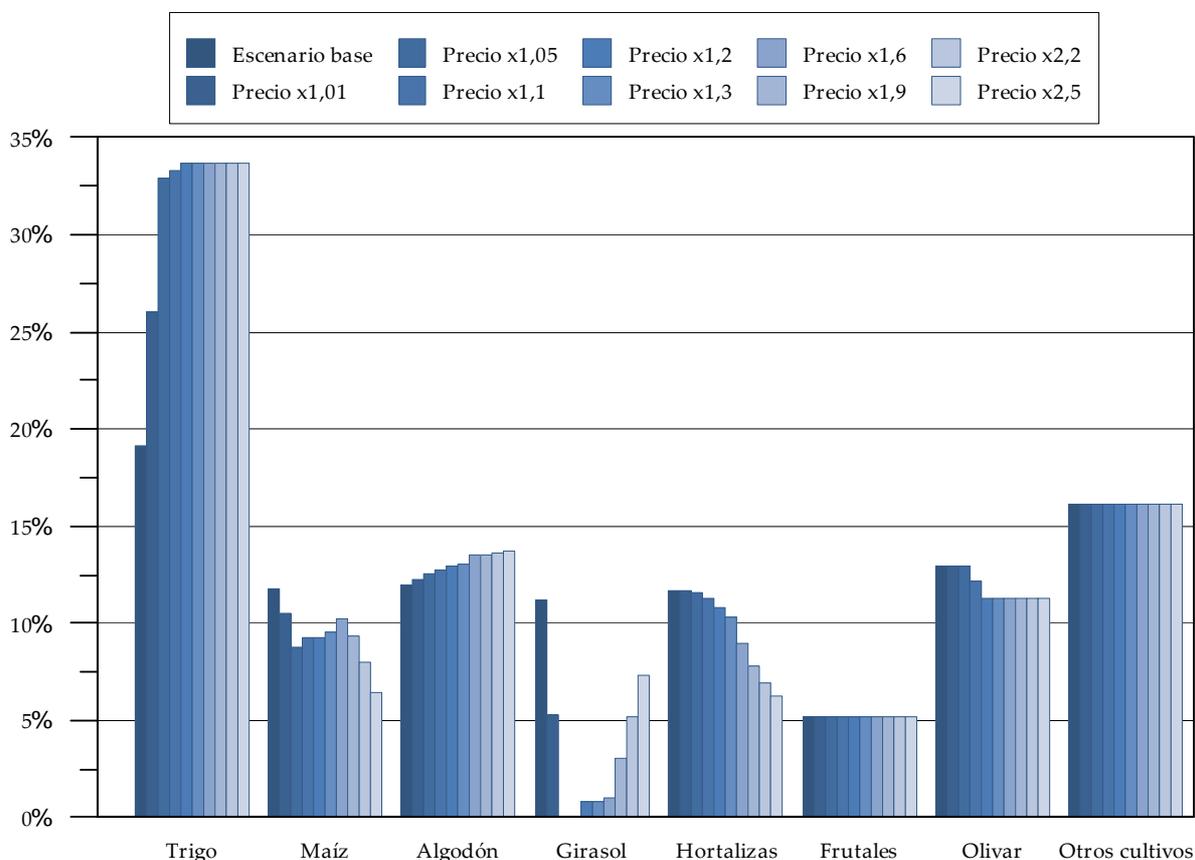
  

30%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res	90%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,58	-0,09	0,04	-0,41	-0,06	0,00	-0,07	0,00	<b>Tri</b>	0,19	-0,03	0,02	-0,11	-0,05	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,47	0,74	-0,36	-0,06	-0,12	0,00	0,00	0,26	<b>Mai</b>	-0,12	0,30	-0,12	-0,06	-0,07	0,00	-0,03	0,12
<b>Alg</b>	0,07	0,02	0,00	-0,05	-0,03	0,00	0,00	0,00	<b>Alg</b>	0,03	0,04	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,33	-0,36	-0,18	0,86	0,01	0,00	0,00	0,00	<b>Gir</b>	-0,05	-0,14	-0,06	0,30	-0,03	0,00	-0,03	0,00
<b>Hor</b>	0,27	-0,08	-0,19	-0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	<b>Hor</b>	0,18	-0,11	-0,11	0,05	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,19	0,12	-0,02	0,18	-0,08	0,00	0,00	0,00	<b>Fru</b>	-0,04	0,06	-0,02	0,07	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,19	0,12	-0,02	0,18	-0,08	0,00	0,00	0,00	<b>Oli</b>	-0,04	0,06	-0,02	0,07	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Res</b>	-0,25	-0,16	-0,03	-0,05	-0,02	0,00	-0,03	0,53

Durante la elaboración de estas matrices se han podido observar varios hechos relevantes:

(a) En cultivos como trigo, una vez alcanzado el máximo de superficie que puede alcanzar (que será la mitad de la superficie destinada a cultivos herbáceos para poder seguir una rotación), mayores incrementos de precio del trigo hacen variar la superficie del resto de cultivos (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**). Esto se debe a que el modelo sigue tratando de calcular la máxima utilidad, y para encontrar el equilibrio del agricultor entre beneficio y riesgo, cuando se incrementa el precio del trigo, y por tanto se incrementan estos dos criterios, tiene que acomodar el resto de superficies para disminuir el riesgo asumido. Así, por ejemplo, se puede observar la evolución del girasol, que en una primera etapa de crecimiento del trigo llega a desaparecer, pare reaparecer después para amortiguar el riesgo con la bajada de maíz y hortalizas.

Figura 15. Decisión de cultivo para incrementos de margen bruto y riesgo en trigo tipología 1

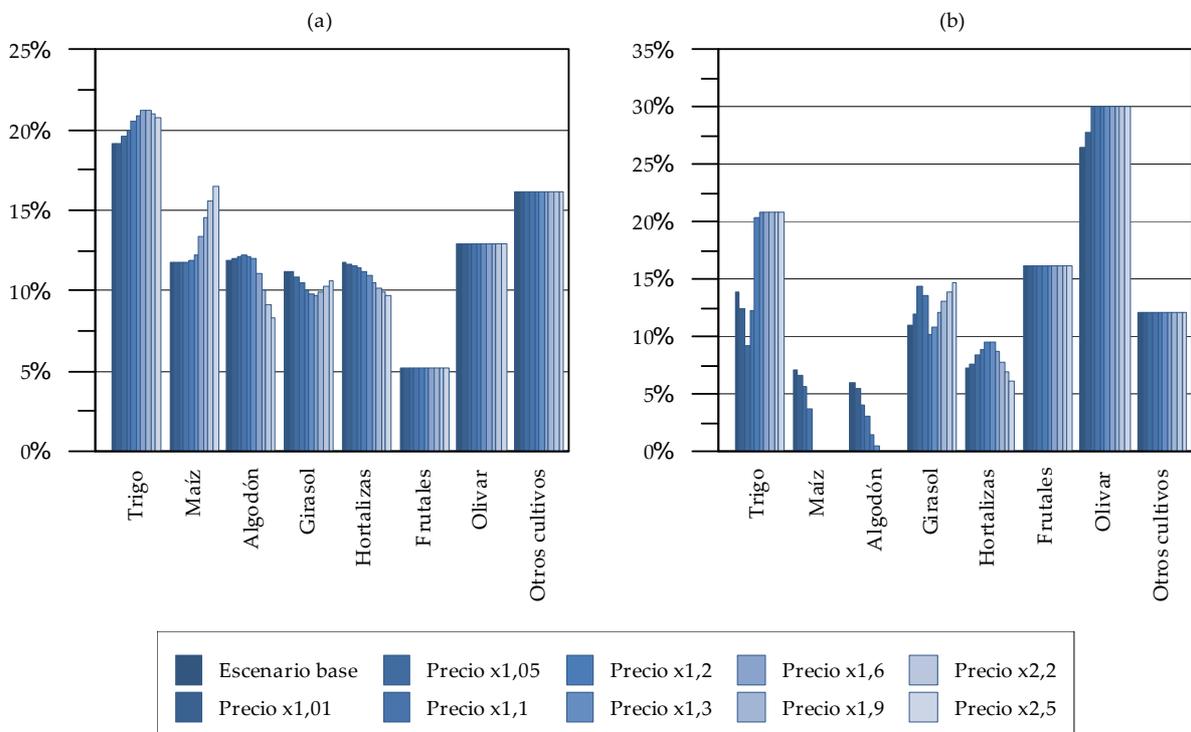


(b) En cultivos con mucha variabilidad per sé, como el caso del algodón (Figura 16) o las hortalizas, llegado cierto nivel de precios, no sólo no sigue aumentando la superficie de algodón, sino que esta disminuye. En esta situación lo que sucede es que el agricultor no se siente cómodo con el riesgo que asume con el algodón, de manera que disminuye su superficie y redistribuye la superficie del resto de cultivos.

(c) Otro hecho relevante surge al incrementar el precio del olivar en la tipología 3, donde la función de utilidad del agricultor estaba formada prácticamente por la maximización del margen bruto, pero aún había un margen para el riesgo, que es el que lo impulsaba a tener algo de herbáceos. Pues bien, el incremento de riesgo proveniente de la mayor variabilidad de los precios en el olivar no puede ser acomodado por la escasa superficie de cultivos herbáceos, no encontrándose una solución factible. Llegados a este punto caben dos posibilidades: o se arranca parte de los olivares para tener más cultivos con menor riesgo, o cambian las preferencias del agricultor para adaptarse a esta nueva

situación de mayor riesgo. Este último hecho va en contra de las asunciones sobre las que se asienta la simulación de escenarios, ya que se presupone que las preferencias permanecen constantes, aunque esto no es nuevo en la literatura. Por ejemplo, Collins et al. (1991) comentan que la utilidad esperada se ve modificada constantemente por los últimos resultados de las decisiones arriesgadas tomadas por el decisor. Así por ejemplo, tras una pérdida, el decisor suele volverse más arriesgado intentando recuperar lo perdido (Kahneman y Tversky, 1979).

Figura 16. Decisión de cultivo para incrementos de margen bruto y riesgo en (a) algodón tipología 1 y (b) hortalizas tipología 2



En el Anexo I pueden encontrarse todas las gráficas con la decisión de cultivos para cada incremento de precio en las cinco tipologías.

En general, las elasticidades son bajas ya que se trata del total de la cuenca, y todos los efectos se ven amortiguados por el olivar, que ocupa más del 50%. Al tratarse de un árbol leñoso, y por tanto no poder tomar decisiones sobre plantaciones en el corto plazo, sólo se ha permitido variar la superficie en un 10% (máximo histórico de variación observado entre dos años consecutivos), tanto por arriba como por abajo, al igual que con

los frutales. Esto hace que picos de crecimiento de cereales en tipologías de herbáceos tengan poco efecto a nivel de cuenca. Para ello también nos vamos a detener algo más en la tipología de vega modernizada (tipología 2), que muestra las siguientes matrices:

Tabla 25. Elasticidad demanda-precio para algunos niveles de precio en la tipología 2

1%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res	10%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	3,84	-0,04	0,61	-2,09	-0,17	0,00	-2,15	0,00	<b>Tri</b>	1,03	-0,31	0,05	-0,53	-0,03	0,00	-0,22	0,00
<b>Mai</b>	0,82	1,11	0,02	-1,13	-0,09	0,00	-0,73	0,00	<b>Mai</b>	-0,29	0,44	-0,34	-0,10	-0,04	0,00	0,33	0,00
<b>Alg</b>	0,56	0,17	0,21	-0,38	-0,05	0,00	-0,51	0,00	<b>Alg</b>	0,25	0,05	0,10	-0,14	-0,03	0,00	-0,22	0,00
<b>Gir</b>	-1,59	-0,85	-0,60	1,46	0,10	0,00	1,49	0,00	<b>Gir</b>	-0,44	-0,66	-0,32	0,98	0,04	0,00	0,41	0,00
<b>Hor</b>	-1,70	-0,49	-0,61	1,10	0,31	0,00	1,39	0,00	<b>Hor</b>	-0,18	-0,38	-0,33	0,29	0,19	0,00	0,41	0,00
<b>Fru</b>	0,31	-0,13	-0,04	0,17	-0,15	0,00	-0,17	0,00	<b>Fru</b>	0,30	-0,15	-0,04	0,19	-0,14	0,00	-0,16	0,00
<b>Oli</b>	-4,28	-1,25	-1,26	2,51	0,20	0,00	4,07	0,00	<b>Oli</b>	-0,40	-0,20	-0,21	0,41	-0,01	0,00	0,41	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

30%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res	90%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,34	-0,13	0,02	-0,14	-0,02	0,00	-0,07	0,00	<b>Tri</b>	0,11	-0,07	0,01	-0,01	-0,02	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,14	0,35	-0,23	-0,12	-0,06	0,00	0,12	0,07	<b>Mai</b>	-0,02	0,21	-0,08	-0,13	-0,04	0,00	-0,02	0,09
<b>Alg</b>	0,09	0,02	0,04	-0,06	-0,02	0,00	-0,07	0,00	<b>Alg</b>	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Gir</b>	-0,07	-0,27	-0,14	0,41	0,00	0,00	0,07	0,00	<b>Gir</b>	0,03	-0,09	-0,07	0,16	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	0,26	-0,27	-0,21	-0,01	0,09	0,00	0,14	0,00	<b>Hor</b>	0,09	-0,09	-0,08	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00
<b>Fru</b>	0,29	-0,25	-0,06	0,21	-0,12	0,00	-0,07	0,00	<b>Fru</b>	0,11	-0,09	-0,05	0,14	-0,08	0,00	-0,02	0,00
<b>Oli</b>	-0,12	-0,13	-0,14	0,26	-0,02	0,00	0,14	0,00	<b>Oli</b>	0,00	-0,09	-0,08	0,12	-0,01	0,00	0,05	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Res</b>	-0,18	-0,09	-0,02	0,03	-0,01	0,00	-0,02	0,28

El resto de elasticidades se pueden encontrar en el Anexo II.

De la observación de las elasticidades del agregado y de la tipología 2 se pueden extraer varias conclusiones: (1) Las elasticidades de la diagonal son siempre positivas salvo para algodón y las hortalizas, que a partir de ciertos incrementos de precio decrece, como ya comentamos antes. (2) Las elasticidades de la diagonal para la tipología 2 son bastante más altas que las correspondientes para el total de la cuenca, debido a que hay más porcentaje de terreno donde poder incrementar las superficies de los herbáceos, ya que si más del 50% fuera olivar como en el caso de la cuenca, los impactos sobre las superficies de los cultivos serían menores. (3) También puede observarse, tanto en las matrices de cuenca como de la tipología 2, como a medida que se incrementa el precio, la superficie aumenta proporcionalmente menos. Esto no se debe a que mayores precios produzcan menores incrementos de superficie, sino que mayores incrementos no pueden aumentar la superficie, ya que tienen un límite agronómico que no es conveniente superar, de manera que llegados

a un cierto incremento de precio, mayores subidas no repercuten en incrementos de superficie, por lo que la elasticidad demanda-precio cada vez es menor. (4) Como cabía esperar, hay elasticidades cruzadas tanto con signo positivo como negativo. La mayoría de los cultivos son sustitutivos, pero encontramos algunos que son complementarios. Así, se observa que cuando aumenta el precio del trigo, se incrementa la superficie de algodón y viceversa, como ya se pronosticó; cuando aumenta el precio de los frutales, se incrementa la superficie de trigo, aunque al contrario nunca ocurre porque la superficie de leñosos está limitada. En general la consistencia de estos signos es muy alta, esto es, si la elasticidad demanda-precio trigo-maíz es negativa, también lo es la elasticidad maíz-trigo. Sólo se observan algunas anomalías para el incremento de un 1%, pero los valores están muy próximos a cero por lo que podrían ser despreciables.

### **6.3.3. Resultados de los escenarios**

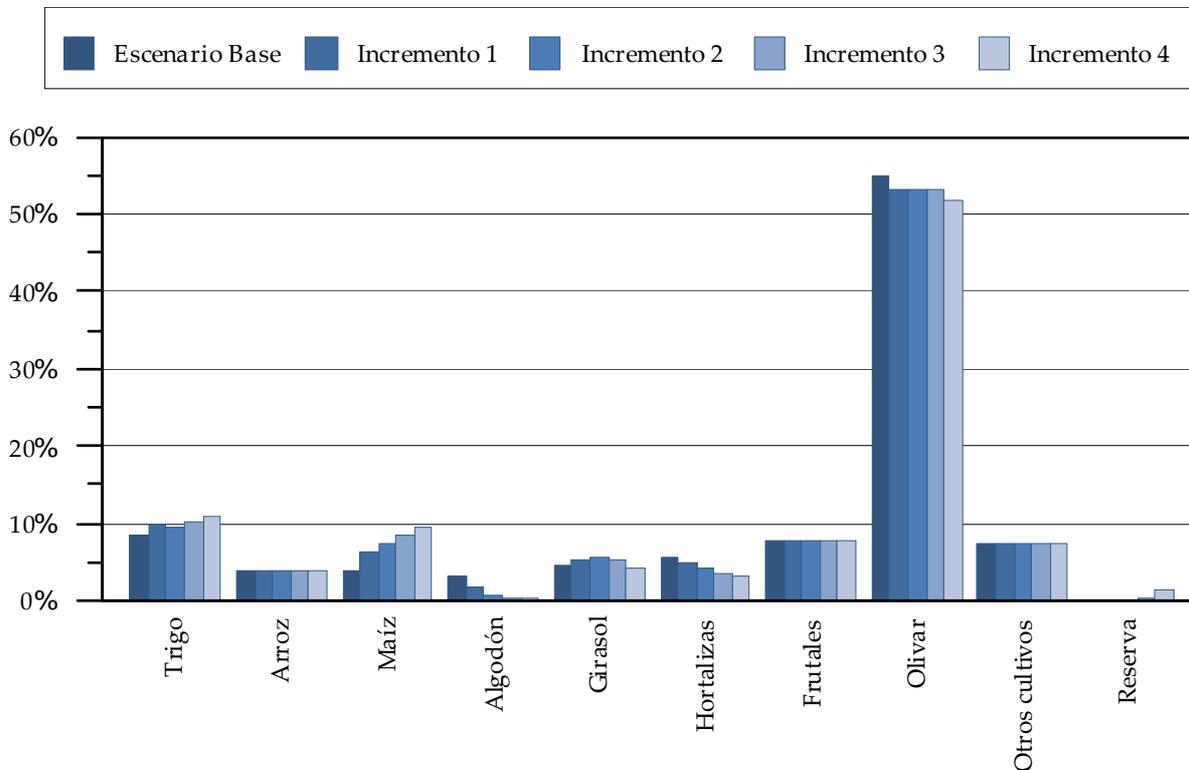
Una vez exploradas las elasticidades, aplicamos los escenarios de incrementos de precios antes descritos a cada una de las tipologías, para luego obtener el agregado de cuenca.

La Tabla 26 muestra los resultados por tipología y escenario. Si nos centramos primero en la superficie que se riega, 840.234 ha, podemos observar que incrementos en la volatilidad sólo afectan ligeramente a la superficie regada y sólo para incrementos muy altos. La aparición de superficie de reserva ocurre en la tipología 3 (Figura 18c), de olivar, donde disminuye la superficie que se riega, pasando parte de los cultivos herbáceos extensivos de regadío a secano. También ocurre en la tipología 4 (Figura 18e), donde el modelo no es capaz de dar una solución factible y se decanta por la de menor riesgo, que incluye la mayor superficie posible de reserva.

Tabla 26. Resultados de las variables analizadas en los distintas tipologías y escenarios

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 5	Cuenca
<b>Superficie Regada (ha)</b>						
Escenario Base	38.593	309.736	406.183	50.922	34.800	840.234
Incremento 1	38.593	309.736	406.183	50.922	34.207	839.642
Incremento 2	38.593	309.736	406.183	50.922	34.207	839.642
Incremento 3	38.593	309.736	404.787	50.922	34.207	838.245
Incremento 4	38.593	309.736	393.026	50.922	34.207	826.484
<b>Agua Total (hm<sup>3</sup>)</b>						
Escenario Base	192,3	1331,5	688,4	184,0	417,1	2813,2
Incremento 1	192,3	1342,2	688,4	184,0	414,4	2821,3
Incremento 2	192,3	1342,2	688,4	184,0	414,4	2821,3
Incremento 3	192,3	1342,2	688,4	184,0	414,4	2821,3
Incremento 4	192,3	1342,2	688,4	184,0	414,4	2821,3
<b>Agua / hectárea (m<sup>3</sup>/ha)</b>						
Escenario Base	4.983	4.299	1.695	3.613	11.985	3.301
Incremento 1	4.983	4.333	1.695	3.613	12.114	3.313
Incremento 2	4.983	4.333	1.695	3.613	12.114	3.313
Incremento 3	4.983	4.333	1.701	3.613	12.114	3.319
Incremento 4	4.983	4.333	1.752	3.613	12.114	3.368
<b>Margen Bruto Variable (euros)</b>						
Escenario Base	861	1.053	552	1.237	732	786
Incremento 1	914	1.101	561	1.243	1.484	843
Incremento 2	1.013	1.174	573	1.264	2.265	914
Incremento 3	1.143	1.258	586	1.293	3.046	991
Incremento 4	1.288	1.349	599	1.333	3.827	1.071
<b>Mano de obra total (jornales)</b>						
Escenario Base	383	4.586	6.199	793	213	12.174
Incremento 1	361	4.410	6.108	753	206	11.839
Incremento 2	330	4.350	6.098	738	206	11.723
Incremento 3	323	4.313	6.082	714	206	11.637
Incremento 4	318	4.286	5.942	680	206	11.433
<b>Mano de obra asalariada (jornales)</b>						
Escenario Base	373	3.257	1.873	769	189	6.461
Incremento 1	323	3.058	1.856	731	171	6.140
Incremento 2	279	2.927	1.847	678	171	5.902
Incremento 3	259	2.835	1.846	612	171	5.724
Incremento 4	248	2.764	1.839	521	171	5.544
<b>Productividad aparente del agua (euros/m<sup>3</sup>)</b>						
Escenario Base	0,17	0,24	0,33	0,34	0,06	0,24
Incremento 1	0,18	0,25	0,33	0,34	0,12	0,25
Incremento 2	0,20	0,27	0,34	0,35	0,19	0,28
Incremento 3	0,23	0,29	0,34	0,36	0,25	0,30
Incremento 4	0,26	0,31	0,34	0,37	0,32	0,32

Figura 17. Distribución de cultivos en la cuenca para cada uno de los escenarios de precios



En lo que respecta a la distribución de cultivos agregada de la cuenca, podemos observar que, en general, cuando aumenta el margen bruto y el riesgo, aumenta la superficie de trigo, maíz y girasol en una primera fase. Esto parece lógico ya que un incremento en estas superficies no supone un alto incremento del riesgo.

Las superficies dedicadas a algodón y hortalizas disminuyen su superficie, junto a la del olivar. El motivo es el antes apuntado para el cálculo de las elasticidades cuando se incrementaba el precio de un cultivo con alto riesgo inicial. La alta volatilidad hace que el riesgo suba en general, y para estabilizar el nivel de riesgo alcanzado, es necesario disminuir la superficie de aquellos cultivos con mayor variabilidad, como algodón y hortalizas.

En el caso del olivar esto es opuesto a la evolución observada en la cuenca y también es opuesto a la predicción de López-Baldovin et al. (2005), cuyo modelo predice un incremento de la superficie de olivar de regadío en la cuenca bajo un escenario de precios estabilizados previo a los eventos de volatilidad. La explicación de esta contradicción es el

actual escenario de precios bajos del aceite de oliva, que disminuyen la rentabilidad, a la par que han aumentado la variabilidad de la misma.

Esto es, los cultivos con menor riesgo inicial (ver Tabla 11), pese a tener menores márgenes, ven aumentada su superficie, mientras que disminuye la superficie de los que más riesgo inicial conllevan, para gestionar mejor el riesgo y que siga en la misma proporción respecto al margen bruto, proporción que fue revelada mediante la función de utilidad.

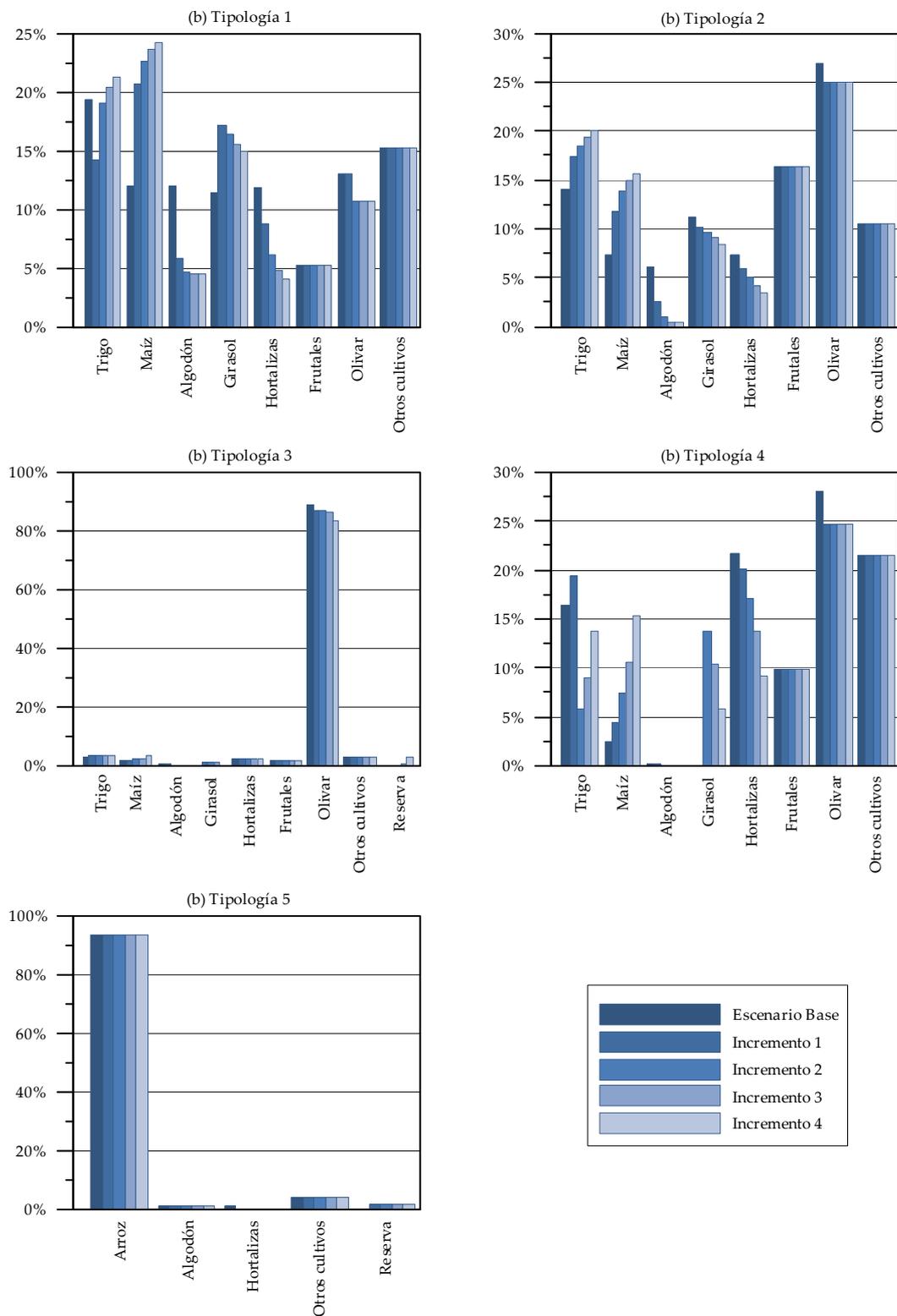
Lo mismo que se ha indicado para el agregado se podría decir para las tipologías de herbáceos tradicionales de vega (tipología 1) y vega modernizada (tipología 2). En ambas, en general, sube la superficie de trigo y maíz, y de girasol en un primer incremento de precios en la tipología 2, mientras que disminuyen las superficies de algodón, hortalizas y olivar.

En la tipología 3, donde la mayor parte de la superficie es olivar, lo único destacable es la disminución de la superficie de olivar cuanto más se incrementa el precio de los demás, que se hacen más rentables.

En la tipología de hortalizas tradicional llama la atención el proceso que sigue el trigo, que en un primer momento sube, para luego llegar a niveles muy bajos y volver a subir en los últimos incrementos de precios. El trigo, junto al girasol, son los amortiguadores del resto de cultivos. Hay un 20% de superficie que desde el primer incremento de precio, se lo reparten entre los dos, haciendo de colchón de riesgo para el resto de los cultivos.

La tipología arrocerera (tipología 5) permanece inalterada con los incrementos de precios debido a la rigidez de tener el 97% de la superficie dedicada a arroz.

Figura 18. Distribución de cultivos en cada tipología para cada uno de los escenarios de precios



Volviendo al resumen de datos de la Tabla 26, tampoco se observa variación en el uso del agua al coste actual de los servicios del agua, que ronda los 2.813 hm<sup>3</sup> en el escenario base y apenas aumenta 8 hm<sup>3</sup> en el resto de escenarios. Así, el agua total utilizada permanece prácticamente constante a lo largo de los escenarios, y la pequeña aparición de superficie de secano se ve compensada por un uso más intensivo del agua por unidad de superficie en otros cultivos, que ronda los 3.300 m<sup>3</sup>/ha en el escenario base y llega a los 3.368 m<sup>3</sup>/ha para el último escenario, de manera que el total permanece prácticamente constante.

Es destacable el hecho de que la tipología de olivar, la más extensa con el 48% de la superficie, sólo utiliza el 24% del agua disponible, dada su baja dotación, en muchos casos de solo riego de apoyo. La segunda zona de más extensión, la vega modernizada, con el 37% de la superficie, utiliza el 47% del agua, dado el mayor nivel de intensidad de sus cultivos. Finalmente, también cabe destacar que la pequeña superficie de arroz, que ocupa tan sólo el 4% de la superficie, utiliza el 15% del agua. A este respecto habría que aclarar que esta zona está cerca de la desembocadura del Guadalquivir, con aguas muy salinas que no serían apropiadas para otros usos, y que la mayor parte de este agua vuelve al medio en forma de escorrentía e infiltración, ya que prácticamente es un flujo continuo de agua (Arteaga, 2005).

A pesar de que los parámetros físicos de superficie y agua utilizada apenas varían, sí que lo hacen los indicadores socioeconómicos. Así, podemos ver cómo el margen bruto variable crece un 36% de media en la cuenca, pasando de 786 €/ha a 1.071 €/ha. Hay tipologías que de forma relativa mejoran más que otras. Así, las tipologías 3 y 4 (olivar y hortícola tradicional), sólo ven incrementado su margen bruto entre un 8 y un 9%, hecho normal ya que ni el precio del olivar ni de las hortalizas se ha visto incrementado. En el otro extremo está el arroz, cuyo margen crece un 423%, pasando de 732 €/ha a 3.827 €/ha. Entre medias quedan las tipologías 1 y 2 de vega tradicional y modernizada con niveles de mejora del 50% y el 28% respectivamente.

Respecto a la mano de obra, ésta disminuye en general para toda la cuenca, concretamente un 6% la asalariada y un 14% la familiar. La caída de la mano de obra asalariada puede ser una buena noticia para los agricultores, dado el ahorro de coste y menor complejidad de gestión, aunque sería negativo para el sector dada la pérdida de empleos. La disminución de la mano de obra familiar también disminuye, lo que significa un incremento en la productividad del trabajo. Las mayores caídas de contratación de mano de obra asalariada y de uso de mano de obra familiar se producen en las tipologías 1 y 4, que son las más tradicionales (vega tradicional y hortícola tradicional), donde las hortalizas y

algodón se ven sustituidos por otros cultivos con menor riesgo. La tipología de olivar es la que contrata a más del 50% de los asalariados, pero fuertemente estacional, ya que esta contratación se produce fundamentalmente con la recogida de la aceituna. De hecho, es la única tipología donde aumenta la mano de obra.

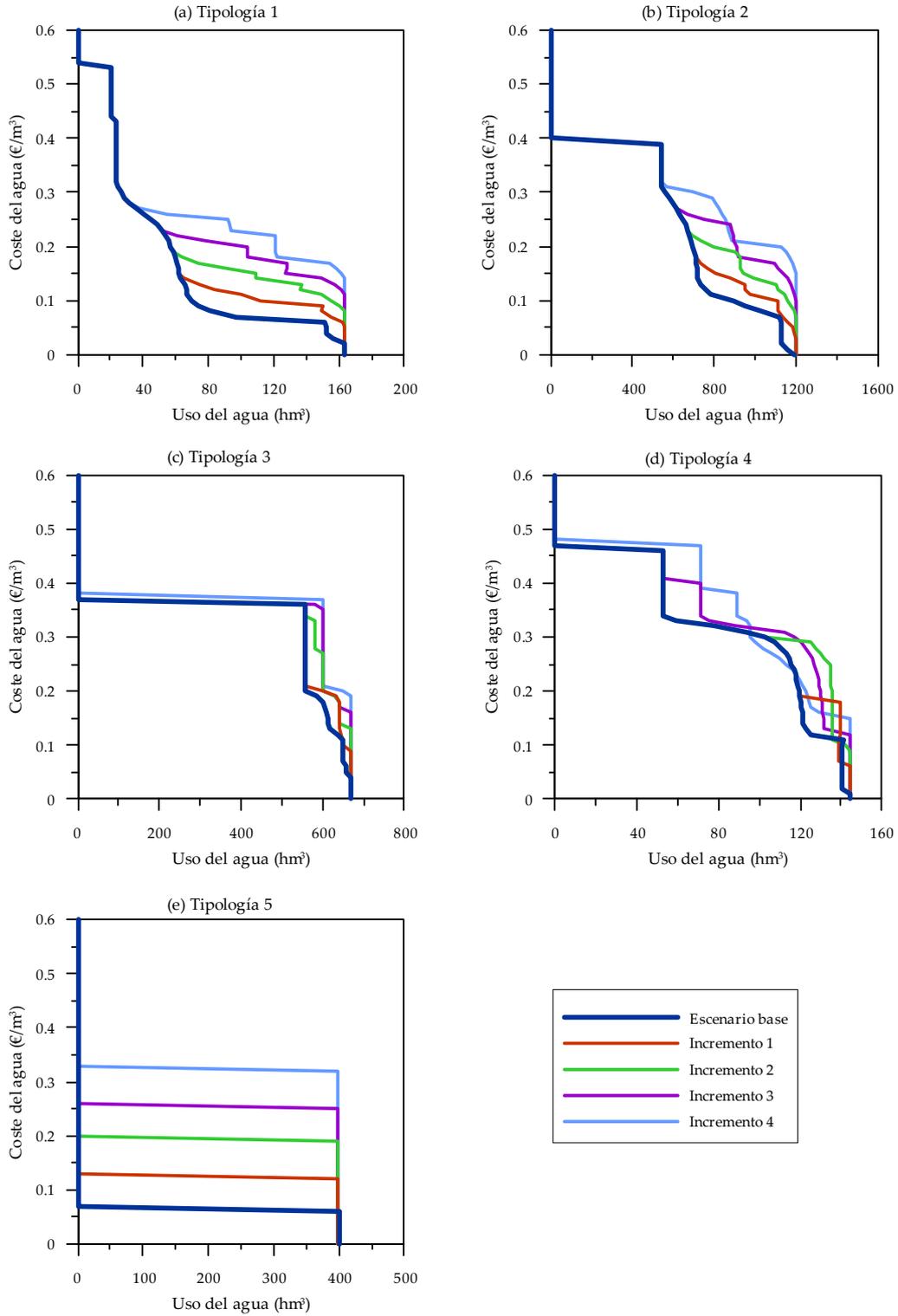
Por último, también se ha analizado la productividad media del agua como el cociente entre el margen bruto variable y el uso del agua por hectárea. Cabe destacar cómo de partida la tipología con mayor productividad son las hortalizas tradicional, seguido del olivar, la vega modernizada, la vega tradicional y por último el arroz. Podemos observar cómo de media la productividad aparente del agua se incrementa un 34%, aunque realmente esto no es debido a que el agua se haya aprovechado más adecuadamente en aquellos cultivos más eficientes, sino que se debe a la subida de los márgenes brutos, que al permanecer constante el agua utilizada por hectárea, hace que aumente la productividad. Por ello, la productividad crece en la misma proporción que lo hace el margen bruto variable. Sin embargo, lo que sí ha cambiado ha sido el orden de productividad de las tipologías, que como se dijo antes era 4, 3, 2, 1, 5, pasando ahora a 4, 3, 5, 2 y 1, debido a que el arroz aumenta muchísimo su productividad por el gran aumento del margen bruto.

#### **6.3.4. *Curvas de costes marginales del agua***

En esta sección se analiza el efecto que tendría el incremento de los costes del agua sobre los indicadores analizados. En todos los casos se parte del coste actual de los servicios del agua, de manera que los costes que se muestran son incrementos sobre los costes actuales. Primero vamos a analizar el efecto del incremento de los costes del agua sobre cada una de las tipologías, para poder entender mejor el efecto conjunto a nivel de cuenca.

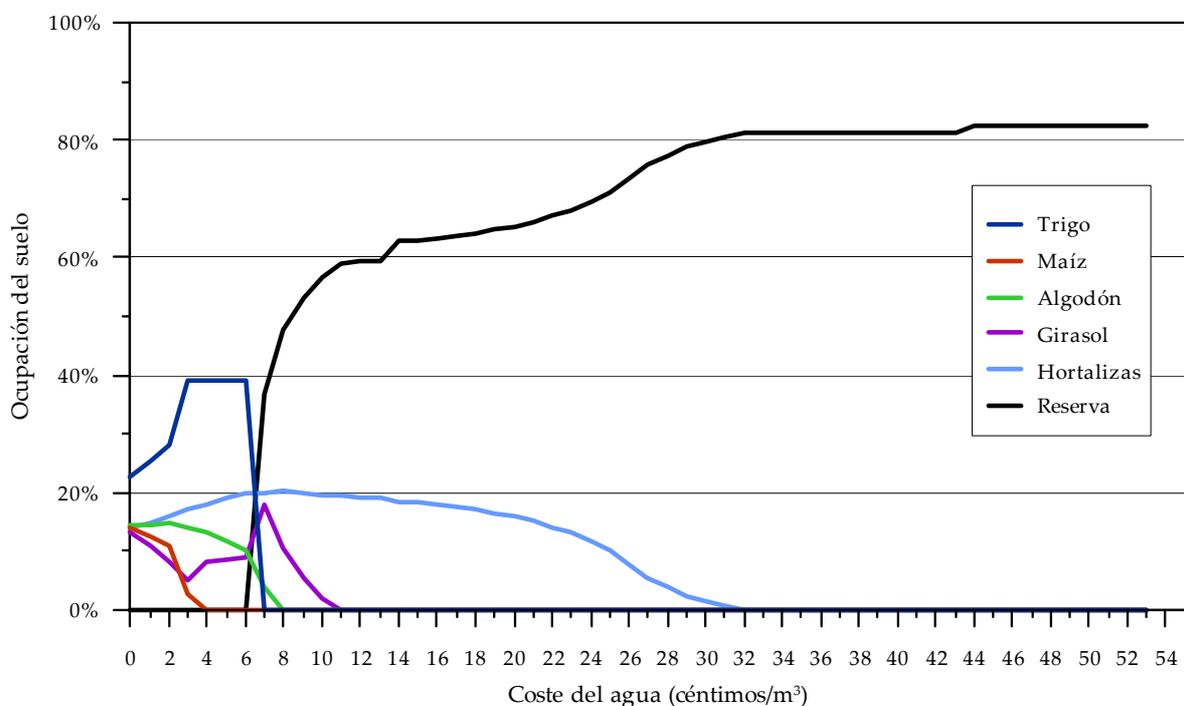
La Figura 19 nos muestra la cantidad de agua que están dispuestos a utilizar los agricultores dado un nivel de costes del agua en cada tipología y para todos los escenarios. El agregado de cuenca del escenario base puede verse en la Figura 21 y los resultados de los escenarios de volatilidad para el agregado de cuenca en la Figura 22.

Figura 19. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua por tipología en todos los escenarios



En las gráficas de cada tipología podemos ver en detalle en qué puntos se producen los grandes cambios que afectan a la curva agregada. En la tipología 1 de vega tradicional (Figura 19a), el primer tramo, aunque corto, es inelástico. Este comportamiento inelástico inicial es habitual y aparece en otros trabajos como Berbel y Gómez-Limón (2000) o Gómez-Limón y Berbel (2000), de manera que para los primeros incrementos en el coste del agua, no hay respuesta en la demanda de la misma. Las primeras disminuciones de uso del agua son por la sustitución de maíz y girasol por trigo y hortalizas (Figura 20). Poco después, justo antes de desaparecer el maíz, el girasol vuelve a crecer junto con las hortalizas, permaneciendo constante el trigo y disminuyendo el algodón. Llegados los 7 cent/m<sup>3</sup>, desaparece el trigo (39% de la superficie en ese momento) para ser sustituido por algo de girasol y secano. A partir de ahí las pérdidas son menos acusadas mientras va desapareciendo el girasol y las hortalizas. Al igual que ocurre en el resto de tipologías, las curvas de los escenarios de volatilidad son más inelásticas al principio cuanto mayor es el incremento de precio de los cultivos, para luego disminuir escalonadamente pero en un intervalo de precios más pequeño, hasta unirse a la curva del escenario base al alcanzar los 27 cent/m<sup>3</sup>. Los cultivos leñosos resistirán hasta que llegados los 54 cent/m<sup>3</sup>, cuando desaparecen los cultivos de regadío en estas zonas de la tipología 1.

Figura 20. Variación de la superficie de los cultivos en el escenario base de la tipología 1 (vega tradicional) en función del coste del agua



En la tipología 2 de vega modernizada (Figura 19b) ocurre algo muy similar. Primero se produce una disminución de maíz y de algodón, luego de trigo y más tarde de girasol. Y de nuevo los escenarios de incrementos de volatilidad de los precios de los productos hacen que las primeras subidas de coste del agua no afecten al uso del agua.

La tipología de olivar (tipo 3, Figura 19c) es mucho más inelástica que las demás, disminuyendo sólo en una pequeña cantidad el agua cuando van desapareciendo los cultivos herbáceos y sólo queda el olivar.

La tipología tradicional de hortalizas (tipo 4, Figura 19d), es la que presenta el mayor primer tramo inelástico en el escenario inicial, y no se ve aumentado en exceso en los escenarios de volatilidad. La primera caída importante del uso del agua ocurre cuando el trigo es sustituido por secano. Después de esto, primero de manera suave y cada vez de forma más intensa, van siendo sustituidas también las hortalizas por cultivos de secano. Finalmente sólo quedan los leñosos, que llegados los 48 cent/m<sup>3</sup> también se dejan de regar.

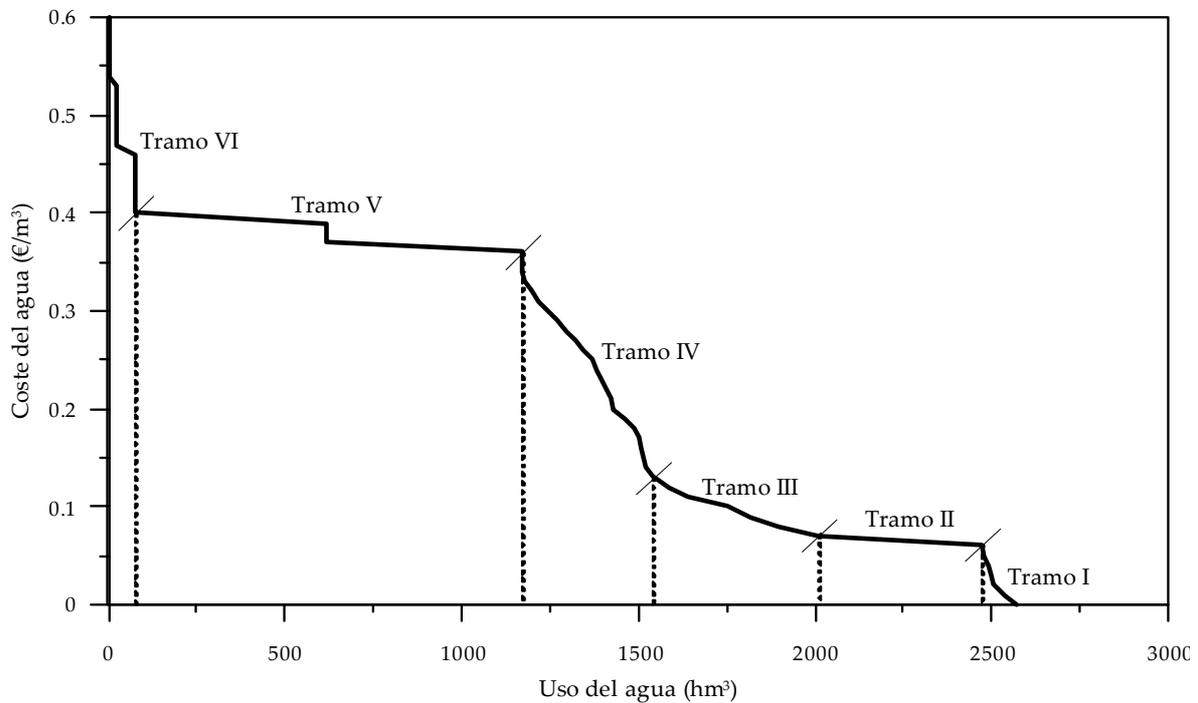
La tipología arrocera es mucho más simple: si el coste del agua supera los márgenes brutos, se deja de regar. Así, cuanto más sube el precio del arroz en los distintos escenarios de volatilidad, mayor será el coste del agua al que se deje de regar.

Si nos centramos en el agregado de cuenca (Figura 21), el primer tramo (tramo I) es bastante inelástico. Las pequeñas disminuciones de agua son producto de la sustitución del maíz en las tipologías 1 y 2, ya que las demás muestran un comportamiento más inelástico.

Para el escenario base la primera reducción fuerte de uso de agua se produce al pasar de los 6 a los 7 cent/m<sup>3</sup>, en el tramo II. En este punto ocurren dos hechos destacables evidenciados en las gráficas de las tipologías: por una parte, el trigo desaparece de la tipología 1 (Figura 19a), que es sustituida por cultivos de secano de la opción “reserva”, mientras que en la tipología 5 (arroz) ya no es posible continuar con la actividad de regadío (Figura 19e). Esto resulta en que en el tramo II, de tan sólo 1 céntimo de subida, se produciría un descenso en el uso del agua de 463 hm<sup>3</sup>.

Pasada esa fase entramos en el tramo III, también caracterizado por un fuerte descenso en el uso del agua, aunque algo menos acusado que en el tramo anterior. En este tramo desaparece el girasol de la tipología 1 y 2, acaba de desaparecer el algodón de la tipología 2, que venía reduciéndose desde el principio y también desaparece el trigo de la tipología 4 (ver Figura 19). Todo ello hace que entre los 7 y los 12 cent/m<sup>3</sup> se dejen de usar otros 427 hm<sup>3</sup>.

Figura 21. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua en el escenario base

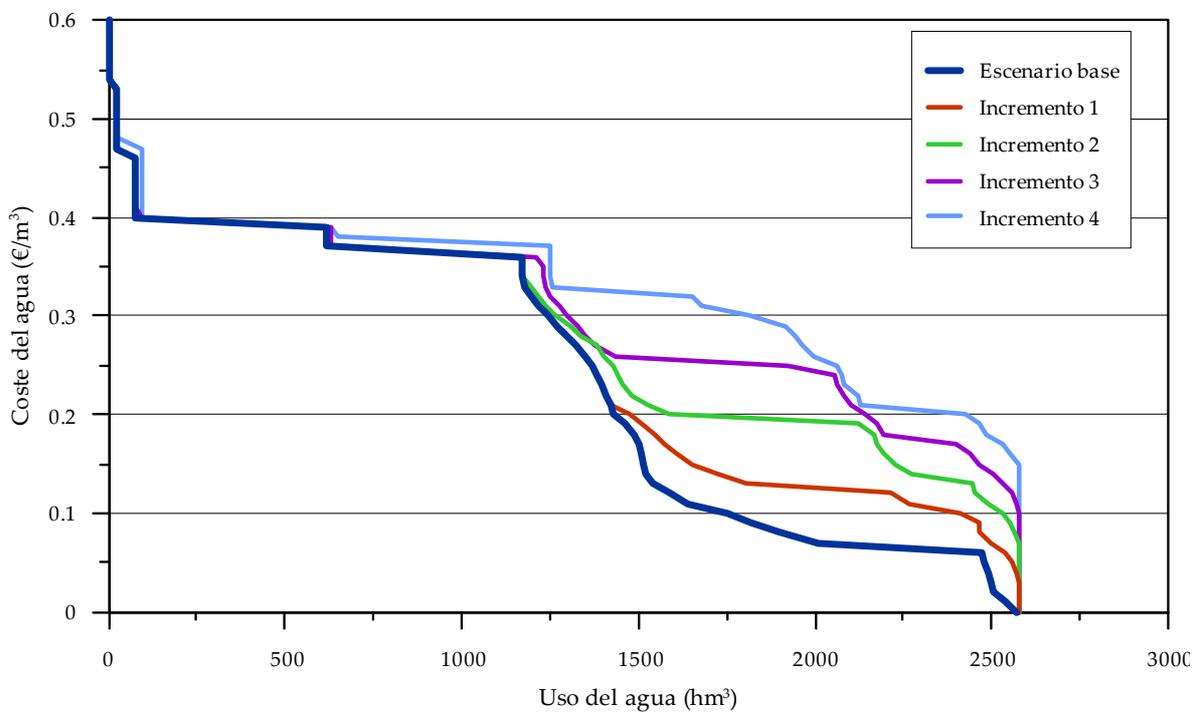


A partir de aquí, en el tramo IV, la reducción de uso de agua es mucho más ligera, siendo la elasticidad mayor. Este tramo está caracterizado por la paulatina desaparición de las hortalizas, que como en todos los casos, se ve sustituida por cultivos de secano. En el tramo IV se disminuye el uso de agua en 411 hm<sup>3</sup>, entre los 12 a los 36 cent/m<sup>3</sup>.

En este punto ocurren otros dos hechos singulares en el tramo V, que son la imposibilidad de la continuidad del olivar de regadío (Figura 19c) y la desaparición de la agricultura de regadío en la tipología modernizada (Figura 19b), quedando algunos cultivos testimoniales de la tipología 1 y 4 en el tramo VI hasta su total desaparición.

Si pasamos a centrarnos en los agregados de cuenca de los escenarios de volatilidad (Figura 22), podemos observar cómo el primer tramo inelástico del escenario base se extiende en cada uno de los escenarios a niveles superiores de coste del agua, presentando una inelasticidad total, que puede alcanzar hasta los 14 cent/m<sup>3</sup> en el escenario del incremento 4 de precios de los cultivos.

Figura 22. Curva de uso del agua frente a costes marginales del agua a nivel de cuenca en todos los escenarios



Después de este tramo viene una meseta más o menos evidente dependiendo del escenario, producto principalmente de la desaparición del arroz. Luego la disminución de agua vuelve a hacerse más suave y de nuevo podemos encontrarnos con una nueva meseta, donde con muy poca variación del precio se reduce mucho la cantidad de agua. Pero al igual que en el escenario base, alcanzados los 37-40 cent/m<sup>3</sup>, prácticamente se abandona el regadío.

La Figura 23 muestra la evolución que tomarían los indicadores socioeconómicos expuestos en el caso de incrementos en el coste del agua tal y como se expuso en el apartado 6.2.3.

El primero de ellos muestra el efecto que tiene la subida de los costes del agua sobre el margen bruto variable. La respuesta es muy lineal, ya que la agricultura del Guadalquivir no tiene más margen de maniobra cuando sube los precios de los cultivos, de manera que un incremento en el coste del agua no se puede compensar con una redistribución hacia cultivos con más margen bruto, y consecuentemente disminuyen los beneficios en la misma cuantía que cuesta el agua.

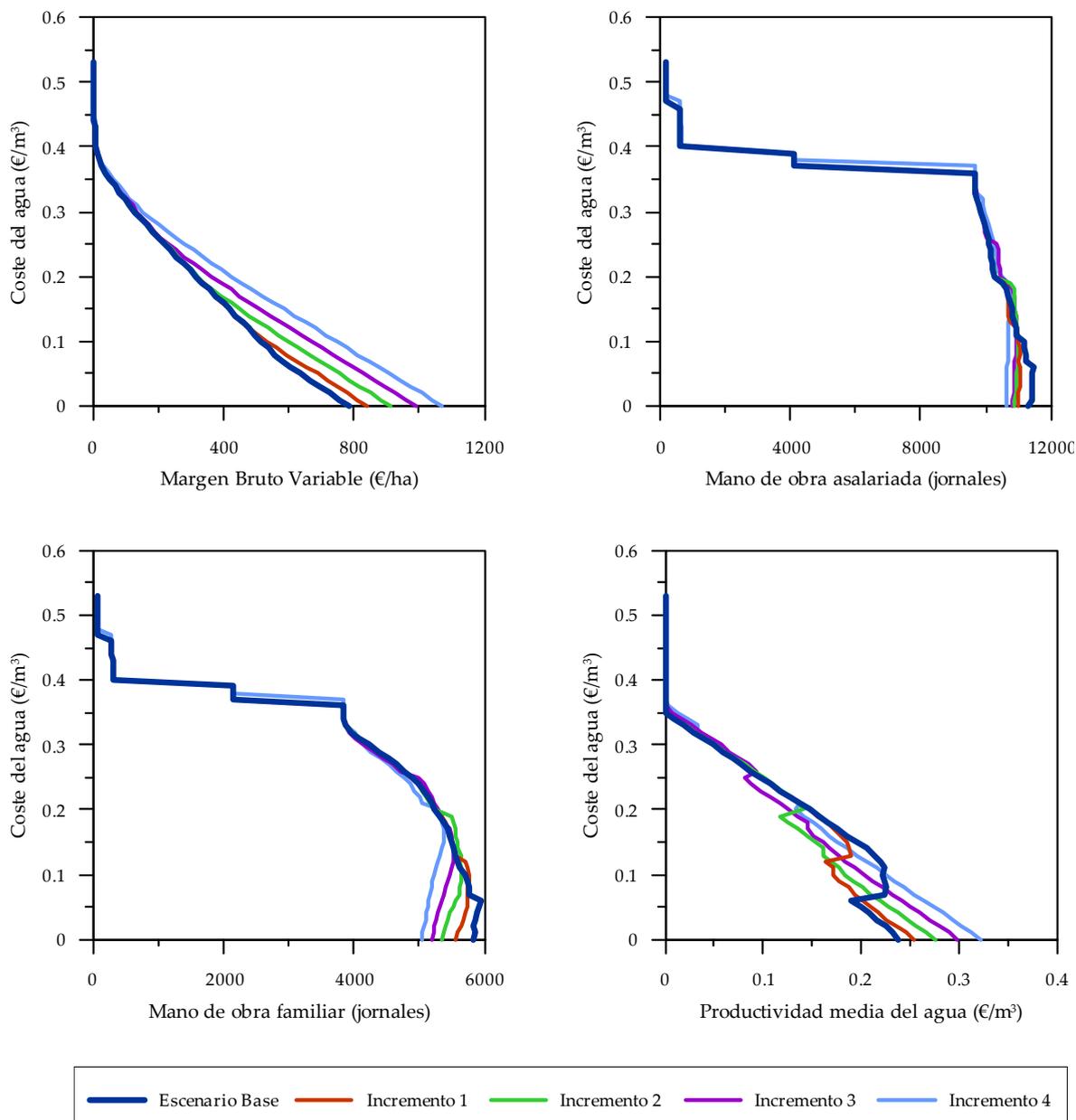
La mano de obra contratada en todos los escenarios se ve poco afectada por el incremento de coste del agua debido a que la mano de obra necesaria en los cultivos más predominantes es similar. Como podemos extraer de la Tabla 14, trigo y girasol tienen una mano de obra similar, y muy próxima a la de la reserva, de manera que cuando sustituimos estos cultivos por secano, la mano de obra no varía en exceso. Además, el empleo es más estable frente a aumentos del coste del agua cuanto mayor es la volatilidad, debido a la inelasticidad del primer tramo de la “curva de demanda” que comentábamos antes.

La mano de obra familiar sí tiene un mayor grado de respuesta que la asalariada, pero aún así la respuesta es bastante inelástica. En el escenario base se puede apreciar una paulatina disminución del empleo familiar, aunque en los escenarios de volatilidad ocurre que, partiendo de una menor cantidad de empleo familiar, ésta va creciendo conforme sube el coste del agua hasta aproximarse a la curva del escenario base, momento en el que sigue su misma tendencia decreciente.

En lo que respecta al cociente de margen bruto variable entre uso del agua, en todos los casos se observa una primera fase de retroceso, dado que para los primeros incrementos de coste del agua y su consiguiente pérdida de margen bruto, no varía la distribución de cultivos. Luego viene una fase en la que se incrementa la productividad por la sustitución hacia cultivos que aprovechan más el agua (mejora el margen bruto pero se mantiene constante el uso de agua), hasta llegar a un punto en el que no se hacen más sustituciones de cultivos de regadío, a partir del cual, si se mantiene el mismo nivel de uso del agua y disminuye el margen, disminuye la productividad relativa del agua. El primer tramo de descenso de la productividad es más acusado cuando mayor es la volatilidad, y se justifica por el tramo inelástico ya comentado.

En general, podemos afirmar que un mayor margen bruto de los cultivos y una mayor variabilidad del mismo hace que la distribución de cultivos se haga más “tradicional”, premiando cultivos que de base tienen menor variabilidad del margen bruto, como trigo, maíz o girasol frente a algodón u hortalizas; mejora la renta de los agricultores; y hace que la distribución de cultivos permanezca invariable frente a incrementos en el coste del agua.

Figura 23. Evolución de los distintos indicadores socioeconómicos frente a incrementos del coste del agua



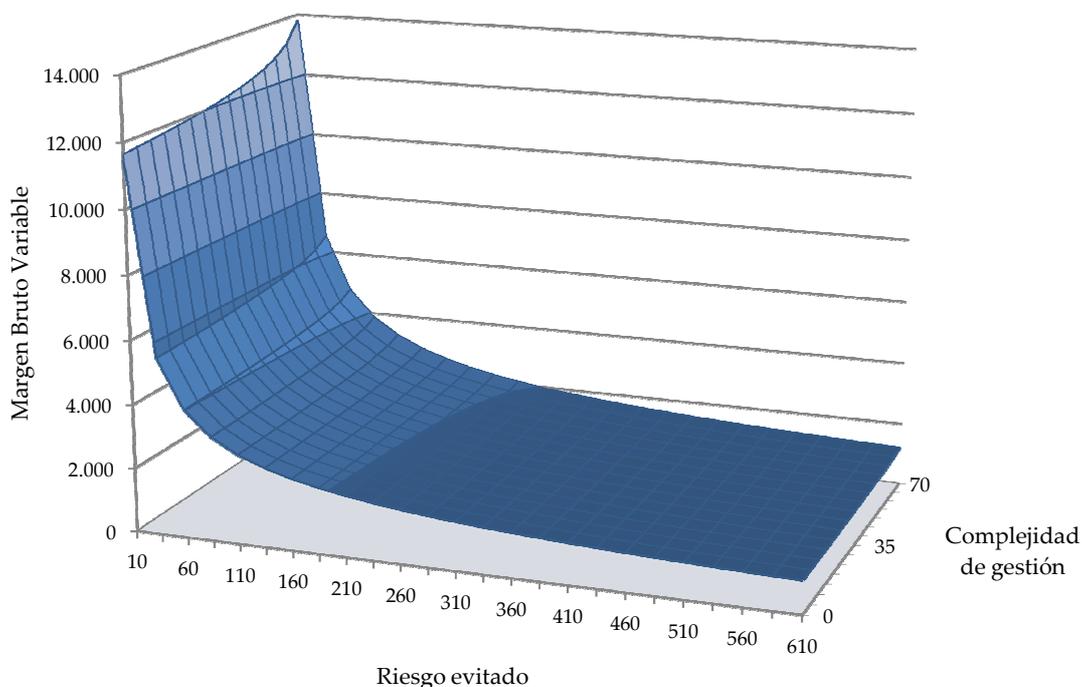
### 6.3.5. Curvas de indiferencia y función de respuesta

Podemos representar las curvas de indiferencia del agricultor de cada tipología, ya que conocemos su función de utilidad y el óptimo en cada escenario, que nos dará la

utilidad esperada. A partir de aquí, podemos definir un atributo en función de los otros y representar esa función gráficamente. Al tener tres atributos en cada función, resultará en una gráfica tridimensional para cada tipología. En la Figura 24 se puede observar la representación en tres dimensiones para la tipología 1 (tradicional).

Si realizásemos cortes transversales para los valores del eje z (complejidad de gestión) en los valores concretos de complejidad de gestión optimizada de cada escenario de precios, obtendríamos la representación en dos dimensiones Margen Bruto Variable vs Riesgo Evitado para cada incremento de precio que muestra la Figura 25.

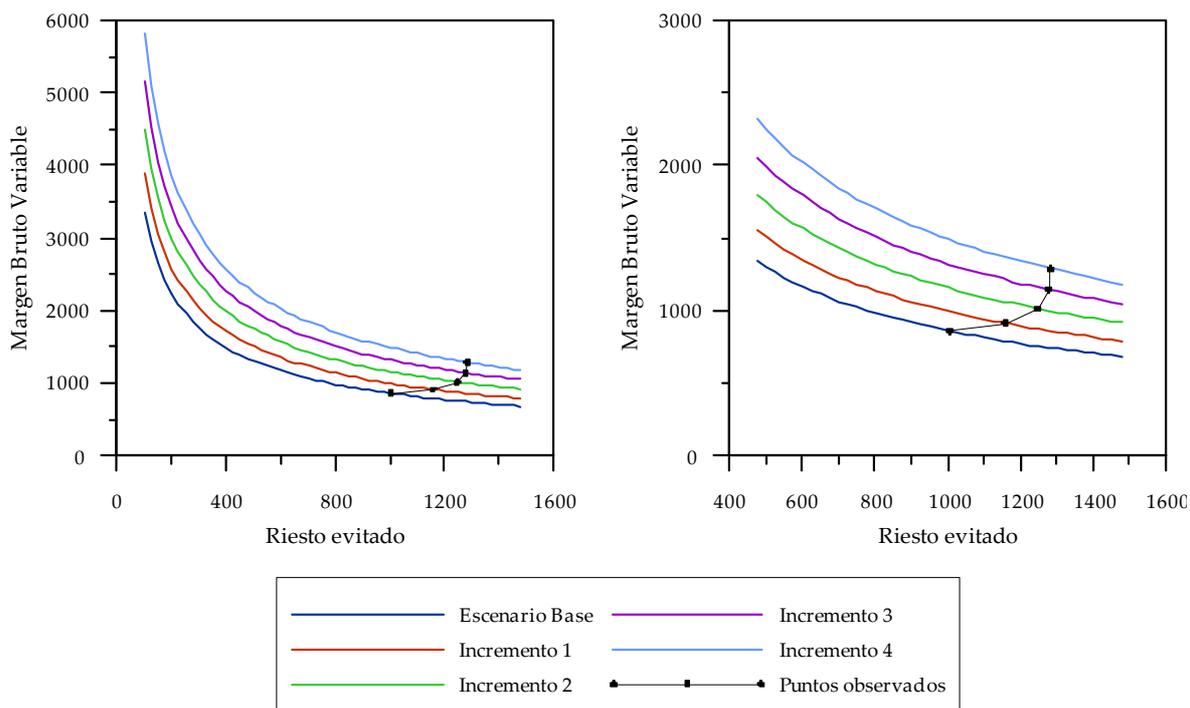
Figura 24. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 1



Así, para la representación en dos dimensiones eliminamos uno de los atributos, eligiendo el atributo minoritario, que lo fijamos al nivel optimizado. Entonces, los valores del primero de ellos, el más relevante, los obtenemos a partir de variaciones del segundo en importancia. Las funciones de utilidad están descritas en el apartado 6.3.1, de manera que, como hemos dicho, fijaremos el valor observado del atributo “complejidad de gestión

evitada”, asignaremos valores al “riesgo evitado” y así obtendremos valores para el “margen bruto variable”, que representamos en la Figura 25. Además, si sobre estas curvas marcamos los valores optimizados en cada escenario y los unimos entre sí, obtenemos el vector de respuesta del agricultor para cada nivel de precios.

Figura 25. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 1 (tradicional)



A continuación se muestran las representaciones en tres y dos dimensiones para el resto de tipologías, excepto la de arroz, que al tener una única dimensión, su representación sería una recta. Para la tipología 3 (olivar) sólo se muestran los resultados en dos dimensiones, ya que sólo participan dos atributos en la función de utilidad.

Figura 26. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 2

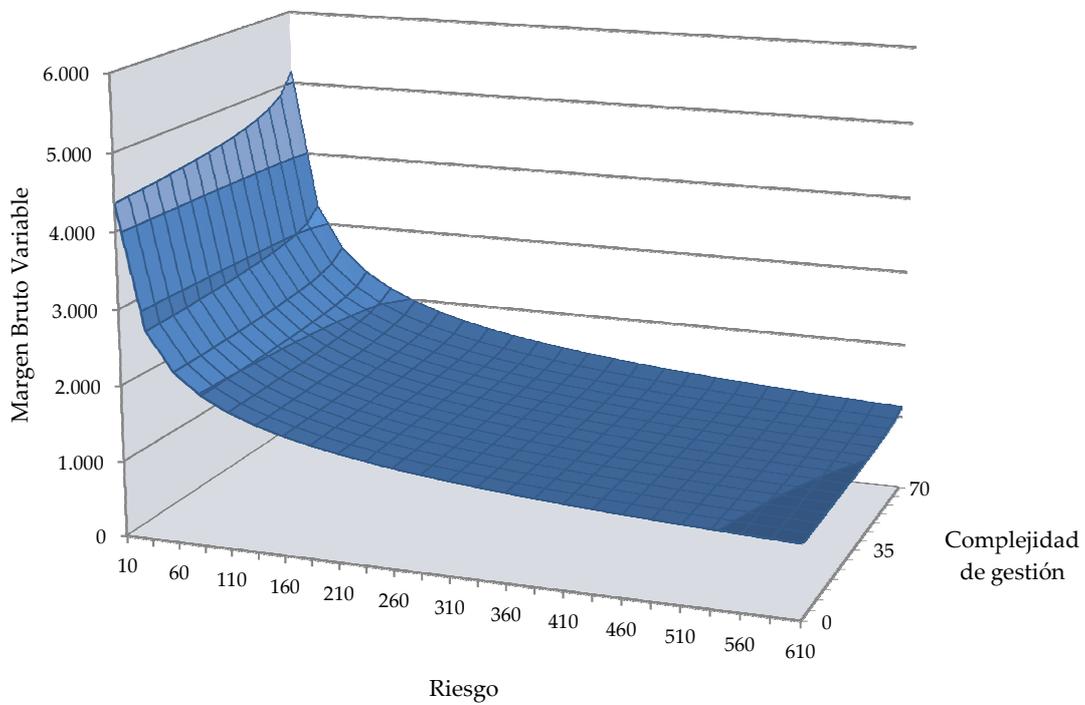


Figura 27. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 2 (modernizado)

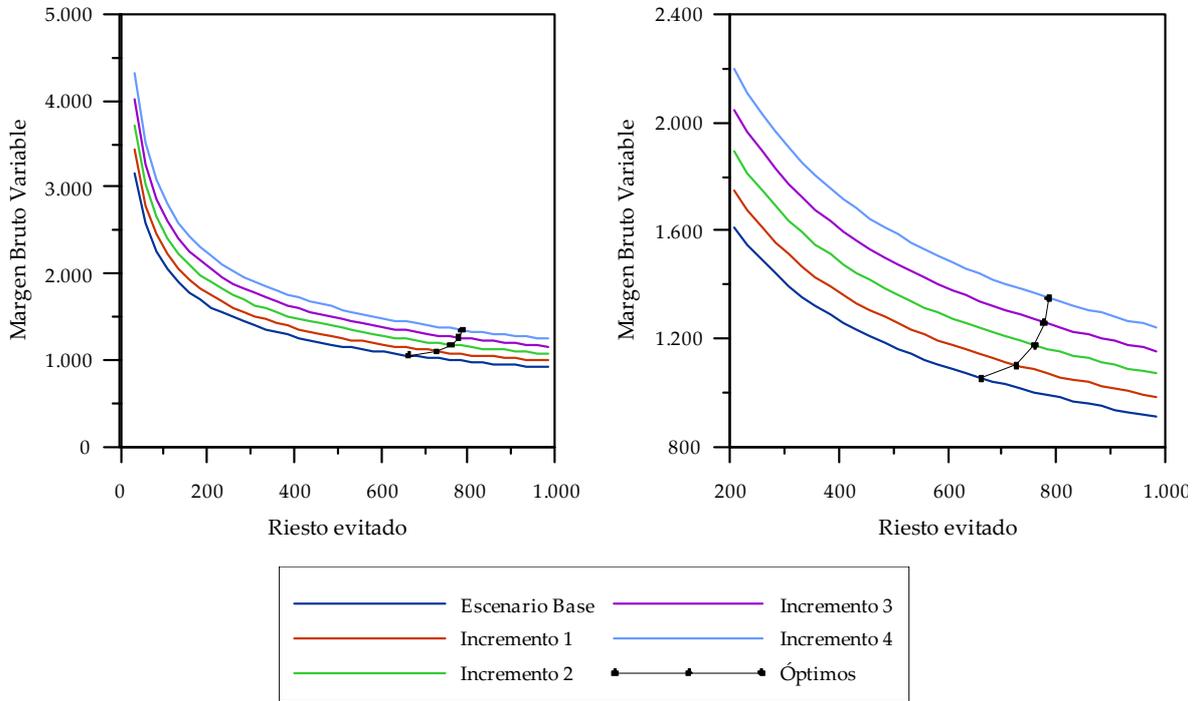


Figura 28. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 3 (olivar)

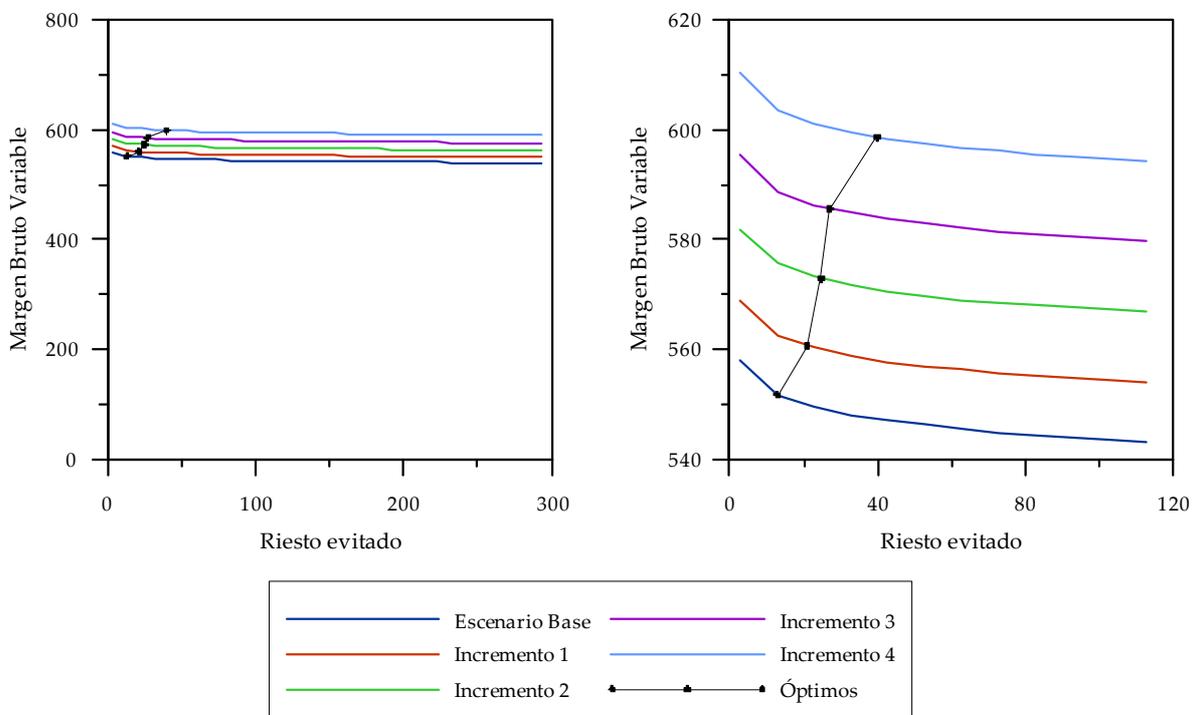


Figura 29. Superficie de indiferencia para los precios del escenario base en la tipología 4 (hortalizas tradicional)

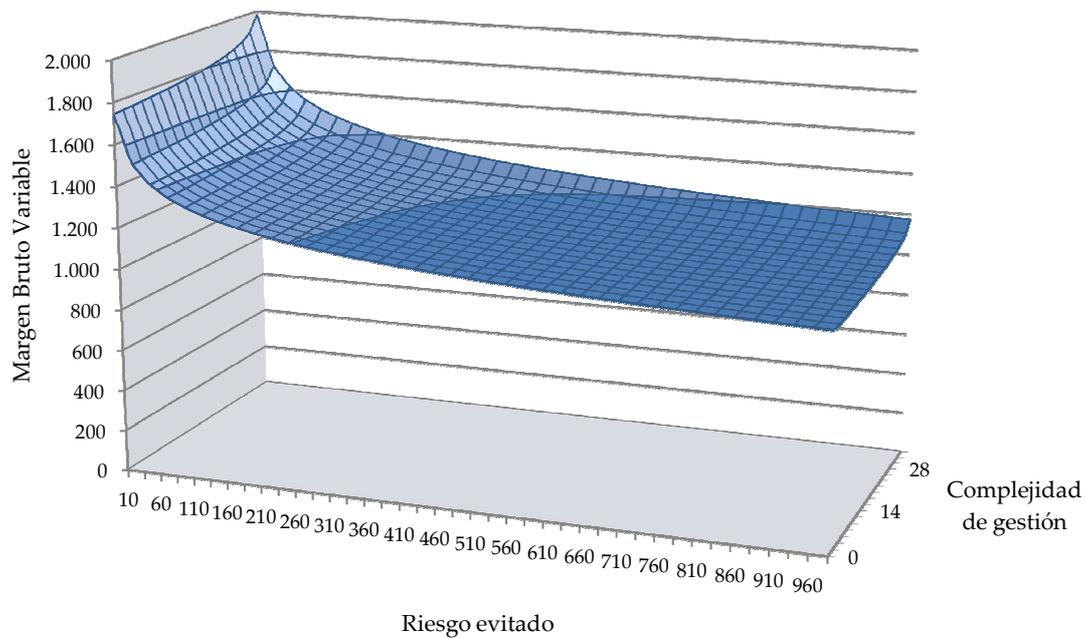
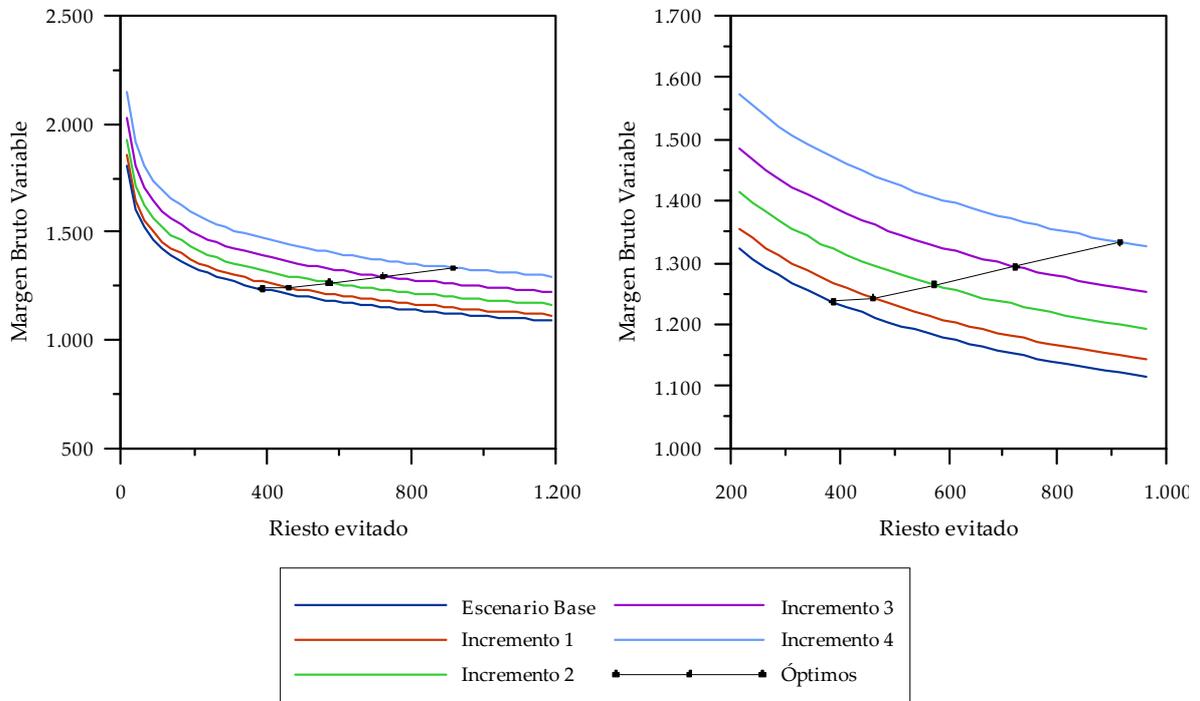


Figura 30. Curvas de indiferencia y función de respuesta para la tipología 4 (hortalizas tradicional)





---

## Capítulo 7.

# Resultados. Evaluación de la mejora de la eficiencia del regadío

---

En este capítulo el modelo propuesto se calibra para la Zona Regable del Genil Cabra, en el valle del Guadalquivir (sur de España) y el modelo empírico resultante se utiliza para estudiar las reacciones de los agricultores frente a las mejoras en la técnica de riego bajo distintos contextos de derechos de propiedad del agua. La principal conclusión del capítulo es que los ahorros potenciales de agua que se consiguen con la mejora técnica del sistema de riego (636 m<sup>3</sup>/ha) son compensados por los aumentos de la demanda derivados de la mayor productividad del agua cuando el girasol es sustituido por maíz. Por este motivo, para conseguir una reducción efectiva del uso del agua y, por tanto, una mejora en las fuentes del recurso, es necesario reducir la cantidad de derechos de propiedad y/o aumentar el precio del agua, de manera que se produzca un menor uso del agua.

La protección y la restauración de los recursos hídricos se han convertido en un objetivo principal de la política del agua europea como resultado del progresivo deterioro de los ecosistemas acuáticos y la creciente demanda de calidad del medio ambiente. Así, la

Directiva Marco del Agua (CE, 2000) tiene como objetivo lograr el buen estado de las masas de agua europeas tanto superficiales como subterráneas para el año 2015 en cuanto a la calidad del medio ambiente y la disponibilidad de agua para uso humano. Teniendo en cuenta este nuevo enfoque, se ha convertido en una prioridad la búsqueda de aquellas políticas con el equilibrio más favorable entre objetivos potencialmente en conflicto. El énfasis en la calidad del medio ambiente, en contraposición con el enfoque tradicional de hacer frente a la escasez de agua por medio de aumentar la oferta, necesita la articulación de políticas de gestión del agua con el fin de encontrar un adecuado equilibrio entre los objetivos ecológicos y la provisión de servicios de agua para la producción y las actividades consuntivas.

La mayoría de las medidas para la gestión de la demanda de agua consisten en reducir la necesidad de servicios del agua de las diferentes actividades económicas a través de la mejora de la eficiencia con la que el agua es usada. Pero la eficacia real de este tipo de medidas depende fundamentalmente del modo en el que se les permite a los agricultores adaptar sus decisiones de cultivo en la nueva situación y de la posibilidad o no de tener acceso a ese agua potencialmente ahorrada. De hecho, la mejora de la eficiencia se traduce en una mayor productividad por unidad de agua y, en igualdad de circunstancias, una mayor demanda de agua.

Estos programas de modernización del regadío están siendo cuestionados, incluso con el supuesto de que la reducción del uso del agua era un prerrequisito por parte de los agricultores para recibir las ayudas financieras de la administración para poner el programa en práctica. En el caso de Andalucía, las ayudas de la Administración a la modernización han llevado asociada una reducción de las concesiones de un 20-30% sobre la cifra original antes de la inversión.

Este capítulo estudia si una mayor eficiencia de riego en la Zona Regable de Genil-Cabra en el valle del Guadalquivir se puede traducir o no en un menor uso del agua.

### **7.1. La paradoja de Jevons y la economía agraria**

La posibilidad de que una mejora técnica que suponga ahorro de recursos naturales acabe conduciendo a un ahorro del recurso menor del previsto es conocida como la paradoja de Jevons (Alcott, 2005). Jevons (1865) observó que el consumo de carbón se elevó en Inglaterra después de que James Watt introdujera su máquina de vapor alimentada con carbón, que mejoraba la eficiencia del diseño precedente. El trabajo de Jevons ha sido rescatado en el debate académico, y en especial en el campo de la economía de la energía

por los trabajos de Brookes (1979) y Khazzoom (1980), quienes plantean lo que se conoce como el postulado de Khazzoom–Brookes que viene a ser: “con precios reales de la energía constantes, las mejoras en la eficiencia del uso de la energía aumentarán el consumo respecto a lo que habría existido sin las mejoras de eficiencia” (Saunders, 1992). Dicho con otras palabras, la paradoja de Jevons formalmente dice que el aumento de la eficiencia en el uso de un bien disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo global.

Sorrell (2009) analiza la evidencia empírica de la existencia de un efecto rebote, donde el consumo aumenta respecto a lo que habría ocurrido sin mejora de eficiencia, pero el incremento de consumo no llega a superar el ahorro producido por la eficiencia. Cuando el efecto rebote supera la unidad, es decir, se acaba consumiendo más energía que lo que la mejora técnica consiguió ahorrar, se denomina *backfire* (o tiro por la culata). La evidencia sobre el efecto rebote depende del caso estudiado y de la escala de análisis o fronteras del sistema estudiado, ya sea micro, meso, o macro económico.

Si una empresa utiliza la energía de manera más eficiente, será más rentable y tenderá a aumentar su producción y por tanto su consumo energético crecerá al aumentar la producción, reduciendo parcialmente los ahorros estimados inicialmente. Esto es conocido como el efecto de 'rebote directo'. Adicionalmente, a escala macroeconómica, el ahorro de energía inducirá una bajada de precios y un posible aumento de renta disponible que aumentará la propensión a consumir, lo que se conoce como 'efecto indirecto'. La suma de ambos efectos da lugar a un rebote parcial que Sorrell (2009) estima que como media puede ser un 30% del ahorro inicialmente estimado, aunque este valor depende de la innovación y el sector afectado. Como se ha indicado, en el caso de que el rebote llegara a consumir más del 100% del ahorro, se pasa a llamar 'tiro por la culata' (*backfire*) y nos encontramos en la situación descrita por el postulado Khazzoom–Brookes.

El postulado Khazzoom–Brookes ha sido aplicado a la agricultura en dos contextos al menos, por un lado para analizar la intensificación de la agricultura (Rudel et al., 2009) y por otro para analizar el efecto rebote en el caso de las medidas de ahorro de agua, con un trabajo de tipo teórico (Gómez, 2009) y un análisis de la aplicación de la paradoja de Jevons al uso del agua en Gómez y Gutiérrez-Martín (2011).

Pfeifer y Lin (2010) analizan los efectos de un cambio técnico en Kansas en el periodo 1995 a 2005 consistente en la sustitución de boquillas de precisión en sistemas de riego por pivot. La conclusión en ese caso es que se observa un efecto rebote superior al 100% (*backfire*). Los autores detectan que las empresas se ajustan en el margen extensivo,

aumentando la superficie de tierras regadas y en el margen intensivo, incrementando las dotaciones entre un 1-2,5%, cambiando el plan de cultivos hacia cultivos más consumidores de agua. Además, afirman que probablemente hay un aumento de los rendimientos, si bien este último factor no es analizado.

Desde un punto de vista agronómico e hidrológico, hay trabajos que se centran en la reducción de los flujos de retorno como consecuencia de la implantación de sistemas eficientes de riego, entre ellos se pueden citar Ward y Pulido-Velazquez (2008), que apoyándose en un modelo de la cuenca del Río Grande concluyen que la adopción de riego por goteo acaba generando un consumo mayor de agua en la cuenca; Molle et al. (2007) afirman que la tecnología de riego localizado resulta en un mejor control de las dosificaciones de agua y que generalmente implica un incremento de la cantidad de agua que sale de la cuenca por la vía de la evapotranspiración.

En el caso español, y también dentro de un enfoque agronómico, destacan los trabajos que han estudiado el impacto de la modernización en la cuenca del Ebro, donde Lecina et al. (2010) concluyen que el uso de agua aumenta un 12% y el consumo (evapotranspiración) crece un 24% después de modernizar frente a la situación previa; y el trabajo de Fernández et al. (2012), que concluyen para el caso del Guadalquivir que el consumo aumentará a medio plazo una vez que los agricultores implanten cultivos de alto valor como cítricos, frutales y hortalizas.

## **7.2. Servicios del agua, ahorro de agua y eficiencia de riego**

En el debate sobre el efecto rebote en el sector de la energía, una de las explicaciones al fenómeno se basa en el concepto de servicios energéticos y oferta de energía en lugar de centrarse en la producción de energía básica. Las empresas no usan los factores de producción energéticos en bruto, sino que necesitan que el sector de la energía lo transforme y transporte hasta su lugar de consumo. Cuando las empresas empezaron a usar motores eléctricos en lugar de motores alimentados por combustible no solo se produjo una reducción de consumo de combustible sino que el consumo de energía eléctrica es de mucho mayor calidad que el consumo de otras energías primarias, y permite que se pueda obtener mayor cantidad de trabajo útil por unidad, así mismo esta innovación trajo consigo la reducción de costes y aumento de productividad del trabajo y otros factores.

El consumo de energía eléctrica es de mayor calidad que la compra de carbón para su consumo en calderas, por lo que el progreso tecnológico no solo cambia la eficiencia input/output sino también la propia naturaleza del input energético (Greening et al., 2000).

Un modelo similar podemos encontrarlo en el caso del agua de riego, ya que la calidad del servicio entendida como: garantía, flexibilidad, automatización, precisión, frecuencia y control mejora sustancialmente cuando una zona regable es modernizada. No solo hay una reducción de pérdidas en el sistema de distribución, sino una mejora general de la calidad del servicio. Esta mejora de la calidad de servicio implica un aumento considerable de la energía empleada. Rodríguez-Díaz et al. (2012) analizan el impacto de la modernización en el consumo de energía.

Por su parte, Playán y Mateos (2006) analizan el impacto que tienen tres elementos clave derivados de la mejora del servicio del agua como consecuencia de la modernización: a) una mayor uniformidad en el riego, b) mayor flexibilidad en el momento de la aplicación y c) posibilidad de mayor frecuencia. Estas tres características van a permitir un aumento de la evapotranspiración, beneficiosa para el cultivo y en consecuencia para el rendimiento de la cosecha.

Adicionalmente, hay un aumento de la productividad del trabajo, al menos de las tareas relacionadas con el riego, que se mecanizan considerablemente.

Esta mejora en la calidad del suministro de agua trae consigo un aumento del coste del agua, por los componentes de financiación y mantenimiento de las infraestructuras y maquinaria y por el coste de energía, ya que los sistemas de ahorro de agua están vinculados a tuberías con agua a presión, ya sea para aspersión o riego localizado.

A estos tres elementos, en algunos casos, se podría añadir el aumento de garantía de suministro que hace posible cultivos de mayor valor añadido.

### **7.3. Impactos a largo plazo**

Existen dos impactos a largo plazo. Por un lado en el margen intensivo, con la intensificación de los cultivos y por otro en el margen extensivo con el aumento de la superficie regada que intentan apropiarse de los ahorros producidos.

En el primer caso, al analizar el impacto a largo plazo, al incremento de producción y de evapotranspiración de los cultivos pre-existentes se añade la intensificación por la introducción de nuevos planes con alternativas de mayor valor (frutales, hortícolas). Los trabajos empíricos que se han citado (Lecina et al., 2010; Fernández et al., 2012; Pfeifer and Lin, 2010) aportan evidencias de una intensificación de los cultivos. El modelo de Ward y Pulido (2008) también afirma la existencia de un efecto rebote con el aumento de demanda y de consumo después de introducir la modernización por cambio del plan de cultivos.

La lógica económica que explica este efecto se basa en tres elementos:

- a) El nuevo sistema implica una mayor calidad y coste de servicio del agua (flexibilidad, uniformidad, garantía) y por tanto la posibilidad de cultivar producciones de mayor valor.
- b) El aumento de costes, que obliga a generar recursos para pagar el aumento de los costes fijos (una media de 250 euros por hectárea (Fernández et al. 2012, Playan y Mateos, 2006)) y los costes variables del riego (una media de 0,05 euros por m<sup>3</sup> (Fernández et al. 2012)) derivados de la nueva tecnología.
- c) El ritmo normal de crecimiento y el desarrollo económico que obligan al aumento de la productividad y la renta de los agricultores, y que la modernización no modifica, sino que permite la aceleración de los ritmos.

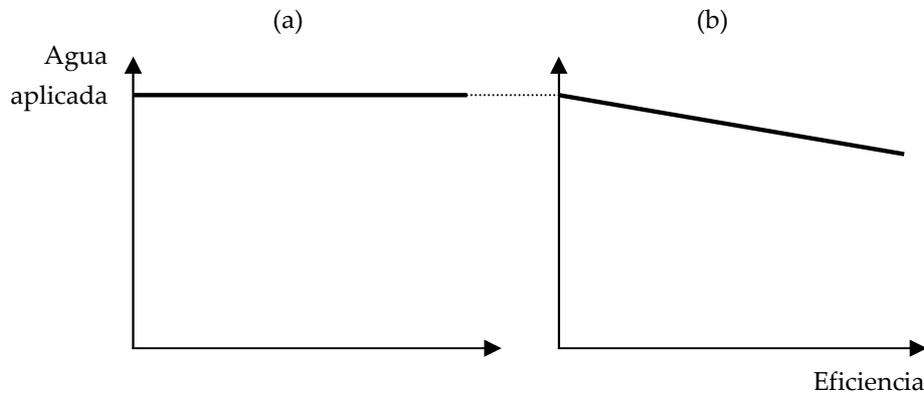
En el segundo caso, siguiendo la lógica económica de maximizar la rentabilidad que el agricultor necesita obtener de la inversión que efectúa en medidas de ahorro de agua, se puede llegar al aumento de superficie regada, para aprovechar el agua que se ahorra y que antes se encontraba en la fracción no consumida.

#### **7.4. Escenarios**

El modelo calibrado permite ejecutar diferentes escenarios de simulación con respecto a la asignación de agua para evaluar los cambios futuros en el patrón de cultivos (representados por la distribución de cultivos en el terreno) y con respecto al uso total de agua resultante de la mejora de la eficiencia de aplicación del agua desde el 70% al 88% después de la modernización.

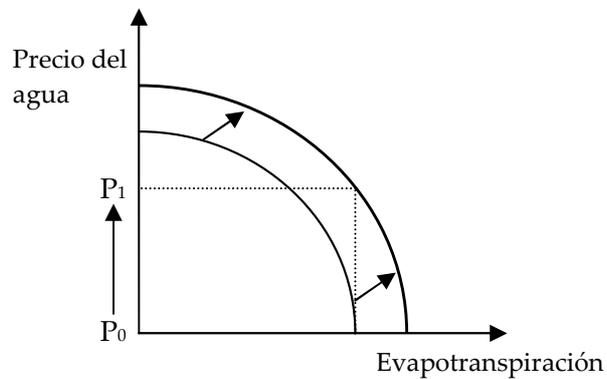
Se han considerado dos escenarios. En el primer caso se asume que el agricultor dispone de la misma cantidad de agua que tenía antes de la modernización; en este caso el volumen total de agua aplicada (agua bruta) no varía (Figura 31a). En el segundo escenario se asume que la asignación de agua, las dotaciones anuales, son disminuidas por la autoridad de cuenca para mantener la cantidad de agua efectivamente utilizada por los cultivos; en este caso el volumen de agua aplicada se reduce en la misma proporción en que se incrementa la eficiencia de aplicación, de manera que el máximo de agua aplicada se vuelve una función decreciente de la eficiencia de riego (Figura 31b).

Figura 31. Máxima dotación asignada en (a) escenario 1 y (b) escenario 2



Como se comentó al principio del capítulo, existe otra alternativa a la limitación de las dotaciones de agua por parte de la autoridad de cuenca. Este nuevo escenario 3 consiste en seguir dotando con la misma cantidad de agua pero imponiendo un precio al agua que desincentive un uso superior al actual. Para hallar este precio basta con determinar a qué precio el agua efectiva consumida por los cultivos (evapotranspiración) después de la modernización es igual al agua efectiva consumida antes de la modernización.

Figura 32. Incremento del precio del agua en el escenario 3



## 7.5. Resultados

### 7.5.1. Funciones de utilidad y validación del modelo

La Tabla 27 muestra los resultados obtenidos para todos los coeficientes de la función de utilidad ( $\alpha_j; j = 1, \dots, 5$ ) asociados a todos los posibles subconjuntos de atributos

de decisión. Se han eliminado de los soluciones los resultados correspondientes al segundo método de revelación de preferencias (ver sección 4.5), que ofrecía peores resultados. También muestra los tres errores de calibración expuestos en la misma sección de la metodología.

Tabla 27. Parámetros potenciales en la función de utilidad multiatributo y errores de calibración.

Datos en porcentaje								
Solución	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\epsilon_r$	$\epsilon_x$	$\epsilon$
S1	100,0%					10,6%	6,2%	4,6%
S2	97,6%	2,4%				3,0%	3,6%	2,0%
S3	98,1%	1,9%				1,7%	3,3%	1,6%
S4	97,1%	2,9%				4,1%	4,0%	2,4%
S5	77,7%	2,6%	19,7%			9,7%	8,9%	4,5%
S6	78,2%	2,3%	19,5%			8,9%	9,2%	4,4%
S7	77,4%	3,1%	19,5%			10,3%	8,4%	4,6%
S8	77,4%	2,3%	20,3%			9,6%	9,3%	4,5%
S9	71,8%	3,1%		25,1%		11,5%	7,7%	4,7%
S10	72,3%	2,9%		24,8%		11,1%	7,7%	4,6%
S11	71,5%	3,6%		24,8%		11,7%	7,6%	4,8%
S12	71,5%	2,9%		25,6%		11,6%	7,9%	4,7%
S13	90,7%	2,1%			7,3%	2,8%	3,7%	2,3%
S14	91,3%	1,8%			7,0%	1,8%	3,5%	1,7%
S15	90,3%	2,7%			7,0%	4,3%	4,2%	2,5%
S16	90,3%	1,8%			7,9%	1,9%	3,5%	2,8%
S17	74,2%	2,3%	18,8%		4,7%	9,7%	10,4%	5,0%
S18	74,7%	2,2%	18,6%		4,5%	8,9%	9,6%	4,6%
S19	74,0%	2,9%	18,6%		4,5%	10,3%	8,8%	4,7%
S20	74,0%	2,2%	19,4%		4,5%	9,7%	10,1%	4,8%
S21	74,0%	2,2%	18,6%		5,3%	9,4%	14,4%	6,5%
S22	67,4%	2,9%		23,5%	6,2%	12,0%	13,4%	6,2%
S23	67,9%	2,7%		23,3%	6,1%	11,7%	13,4%	6,1%
S24	67,2%	3,4%		23,3%	6,1%	12,3%	13,3%	6,2%
S25	67,2%	2,7%		24,0%	6,1%	12,2%	13,5%	6,2%
S26	67,2%	2,7%		23,3%	6,7%	11,9%	13,4%	6,4%
S27	24,4%	0,7%	61,5%	12,0%	1,3%	17,5%	20,6%	10,0%
S28	24,6%	0,7%	61,5%	11,9%	1,2%	17,5%	20,6%	11,5%
S29	24,4%	0,9%	61,5%	11,9%	1,2%	17,5%	20,6%	9,1%
S30	24,4%	0,7%	61,7%	11,9%	1,2%	17,5%	20,6%	11,7%
S31	24,4%	0,7%	61,5%	12,2%	1,2%	17,5%	20,6%	9,3%
S32	24,4%	0,7%	61,5%	11,9%	1,5%	17,5%	20,6%	9,8%

Como puede observarse, la posible función de utilidad tendrá siempre los atributos margen bruto y riesgo evitado, y una posible combinación de los tres atributos de la complejidad de gestión. En este caso, la combinación de cuatro atributos con margen bruto, riesgo, mano de obra total y mano de obra asalariada no dio resultados, por lo que no se muestra en la tabla.

Pues bien, el mínimo error medio cuadrático de calibración (1,6%) permite obtener la siguiente función de utilidad como la que mejor representa la decisión de tomar el patrón de cultivos observado (ver la solución S3 de la Tabla 27):

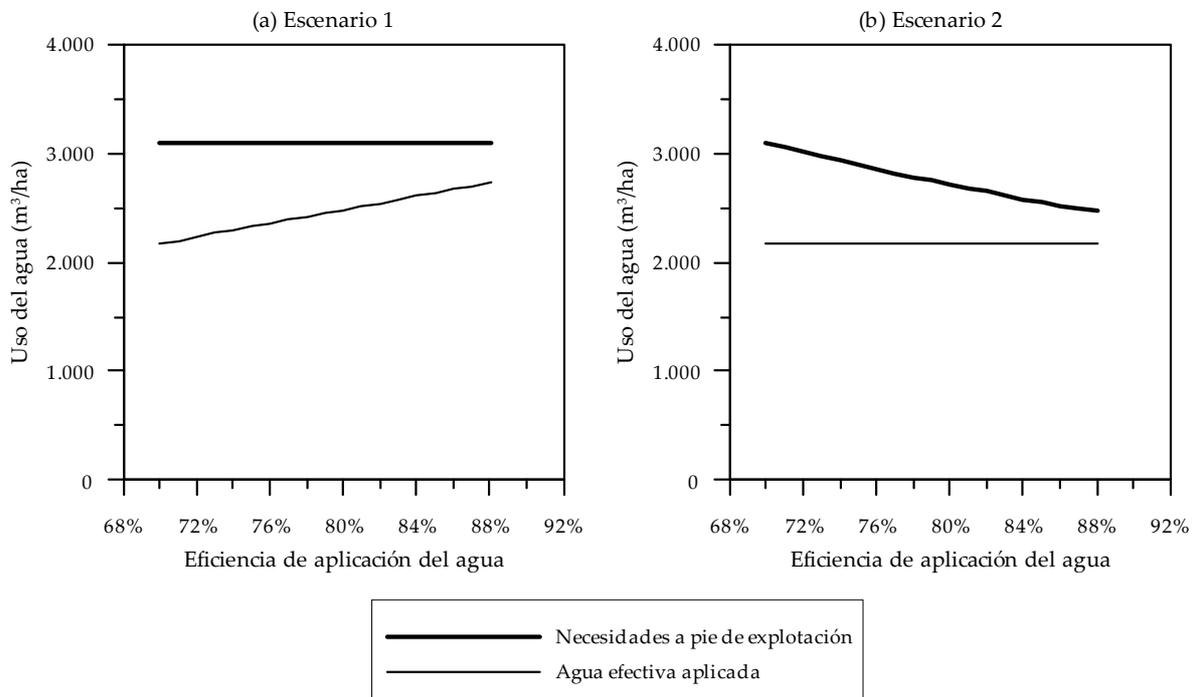
$$U(\pi, \sigma) = \pi^{0,981} \cdot (382,7 - \sigma)^{0,019}$$

Esto implica que los agricultores están próximos a la maximización del beneficio esperado, con la aversión al riesgo jugando un pequeño pero positivo papel explicando la decisión de cultivo.

**7.5.2. Resultados de los escenarios**

Una vez calibrado el modelo, se está en disposición de realizar las simulaciones de los escenarios. Recordemos que en el primer escenario lo único que se modifica es la eficiencia de aplicación, que se va elevando poco a poco desde el 70% hasta el 88%, y que en el segundo, además de elevar la eficiencia, se disminuye la cantidad de agua total asignada a los agricultores en el mismo porcentaje.

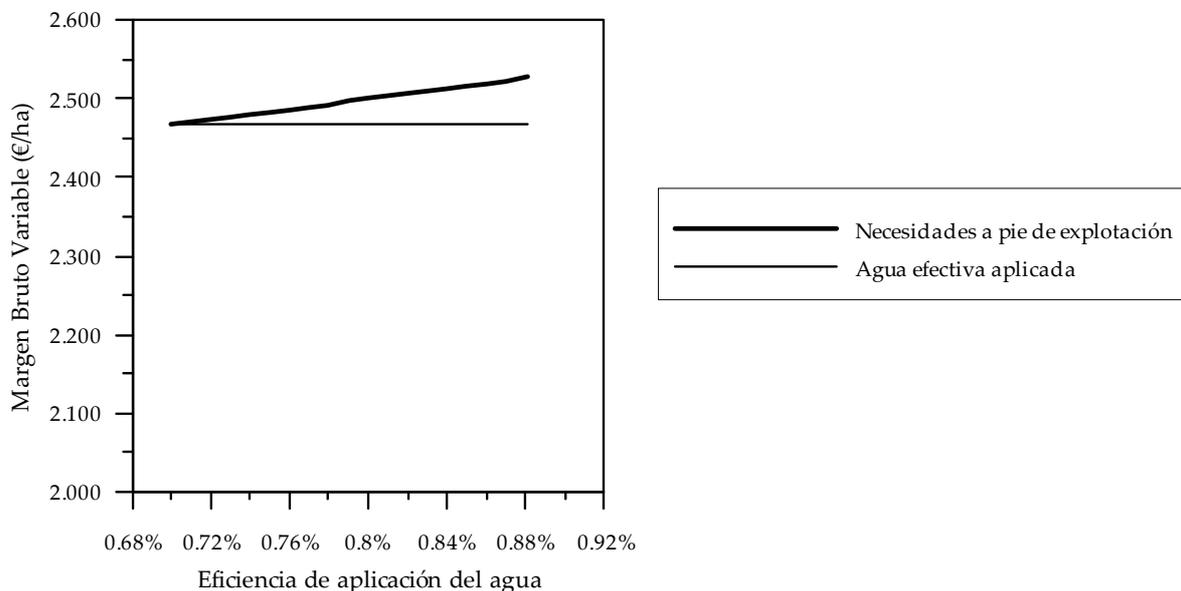
Figura 33. Uso del agua en (a) escenario 1 y (b) escenario 2



Los resultados de la simulación del primer escenario (Figura 33a) muestran que, al tener el agricultor acceso a la misma cantidad de agua que en la situación inicial, usará todo el agua disponible, de manera que la modernización del regadío no es una medida eficiente para reducir la escasez o para reducir las presiones sobre las masas de agua de origen. Todos los beneficios de la mejora se destinarán a obtener mayores rendimientos al cambiar el patrón de cultivos hacia otros con mejores márgenes, puesto que ahora el agua aplicada final es mayor. El principal cambio en la distribución de cultivos será la sustitución del girasol por el maíz, más intensivo en el uso del agua, incrementando en  $560 \text{ m}^3/\text{ha}$  el agua utilizada, desde los  $2.172 \text{ m}^3/\text{ha}$  hasta los  $2.732 \text{ m}^3/\text{ha}$ , e incrementado también el margen bruto en  $60 \text{ €/ha}$ .

Si la dotación de agua se reduce simultáneamente con la mejora de la eficiencia de aplicación, como se muestra en la Figura 33b para el escenario 2, los agricultores también utilizarán toda el agua disponible, pero el agua efectiva permanecerá constante al haber reducido la cantidad total de agua aplicada. La distribución de cultivos no se ve alterada y el agua ahorrada será de  $636 \text{ m}^3/\text{ha}$ , que no será empleada en la zona de riego. En este caso, el margen bruto también se muestra inalterado (Figura 34).

Figura 34. Margen bruto variable en los dos escenarios

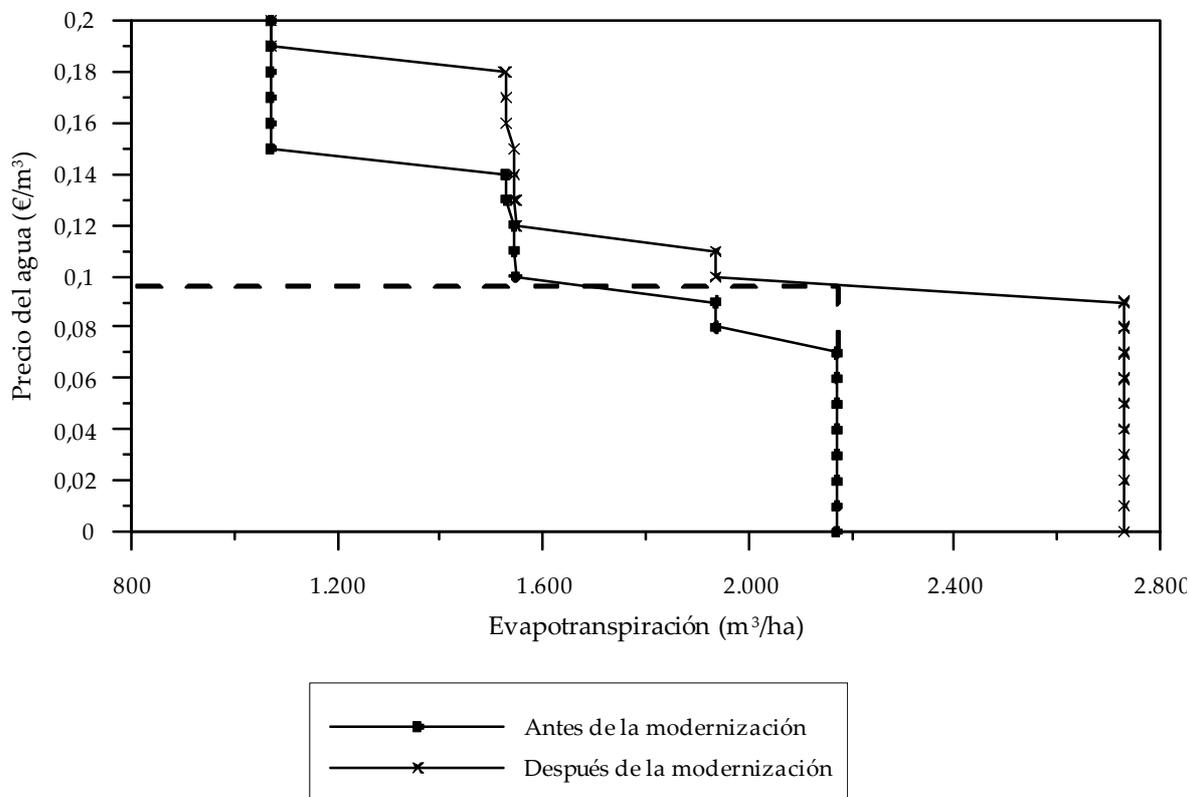


Cuando se decide sobre la mejora sobre el uso del agua en la economía, los decisores públicos y los agentes implicados tienen que tener claro cuál es el objetivo político al que se espera que contribuya una decisión. En muchas situaciones, particularmente

cuando el agua es escasa respecto a los derechos concedidos de agua, mejorar la eficiencia del agua debería ser una condición necesaria para reducir las extracciones de agua del medio, pero –como queda claro en el estudio de la zona del Genil-Cabra– no es una condición suficiente. Lo que se necesita en este caso concreto es una política orientada a transferir el agua ahorrada en el sector agrario al medio natural, reduciendo la cantidad de agua asignada a los agricultores. De lo contrario, estos ahorros se emplearán en incrementar la producción y los beneficios. Parece claro que mejorar la eficiencia de aplicación del agua no hace que necesariamente haya más agua disponible para otros usos. El agua disponible para otros usos sólo puede ser incrementada disminuyendo el consumo (Burt et al., 1997). La decisión de si la mejora de la eficiencia es un instrumento para la conservación del agua o por el contrario significa una mejora de la producción agraria es una cuestión política que necesita ser considerada y resuelta de una forma transparente en el escenario público. Sin embargo, si el agricultor no va a contar con una mayor disponibilidad de agua tras la inversión en la mejora de la infraestructura, no tendrá ningún incentivo para acometerla. Una propuesta podría ser destinar el 50% de los ahorros teóricos derivados de la modernización a la mejora de las masas de agua de la cuenca y permitir que el otro 50% se mantenga en la explotación, pudiéndolo usar el regante. Habría que estudiar en cada caso el uso que existía anteriormente y los retornos de riego para ver si se está produciendo una mejora o un deterioro del sistema. El resultado sería un punto intermedio entre los escenarios 1 y 2, en el que disminuye el agua que llega a la explotación, pero en el que también se incrementa la evapotranspiración de los cultivos.

Como se comentó antes, la otra alternativa a la disminución de las dotaciones percibidas por el regante es el aumento de los precios del agua, de manera que se logre así una disminución del uso del agua a los niveles previos a la modernización. Según se observa en la Figura 35, si se sube el precio entre 9 y 10 céntimos por metro cúbico, la evapotranspiración se retraería hasta los niveles iniciales. En esta situación se puede ver que el agricultor claramente está en una situación peor que la inicial: aprovechando la misma cantidad de agua que tenía al principio pero con unos ingresos considerablemente más bajos, debido a que se le cobra 9 cents/m<sup>3</sup> por todo el agua que llega a la explotación.

Figura 35. Evapotranspiración antes y después de la modernización para cada nivel de precios del agua.

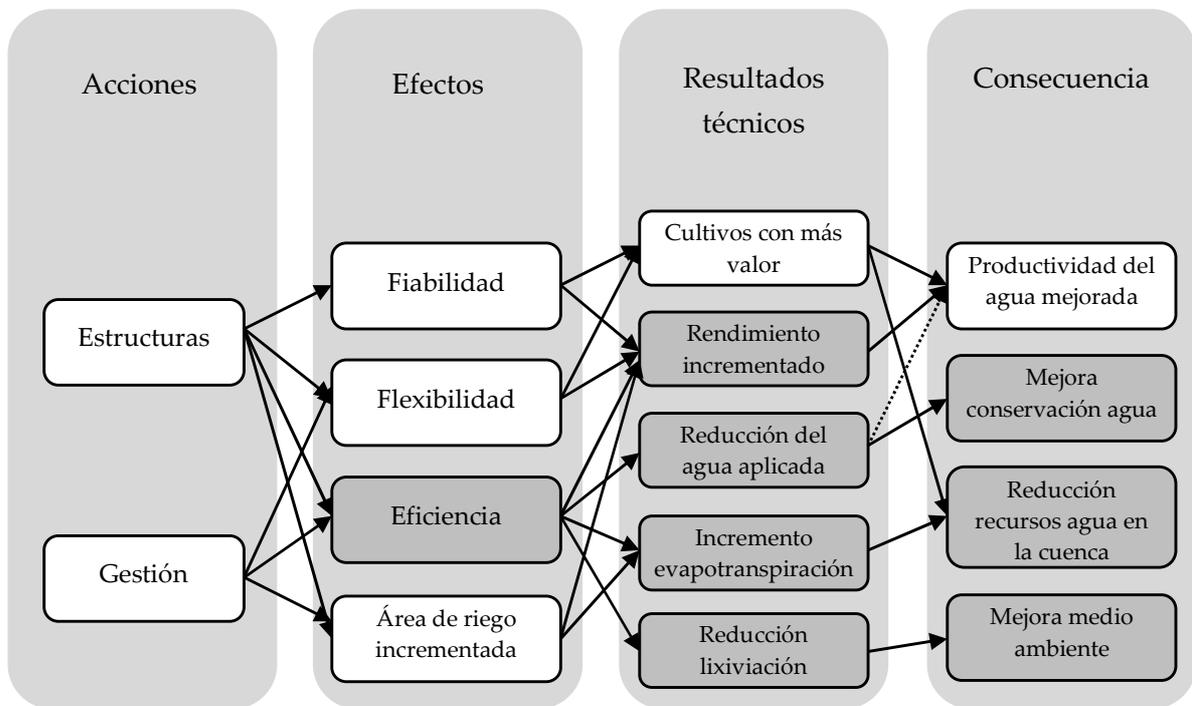


Debido a la inelasticidad inicial, común a casi todos los modelos, fijar un precio del agua para que el agricultor consuma un nivel de agua intermedio entre las dos curvas indicadas no tendría el efecto deseado. Efectivamente, si trazamos una vertical desde el punto medio entre 2.172 m³/ha y 2.732 m³/ha, cortaríamos a la curva de evapotranspiración después de la modernización en un punto entre 9 y 10 céntimos, lo cual también es una situación peor para el agricultor respecto a la anterior a la modernización.

Adicionalmente a esto, hay algunos otros aspectos que necesitan considerarse en la evaluación de cómo la mejora de la eficiencia podría tener impactos sobre otras masas de agua. Un uso más efectivo del agua en el sector agrario también significa unos menores retornos y por tanto menor agua disponible cuenca abajo. Los retornos es la porción de agua que no es aprovechada por los cultivos, que vuelve al medio y podría estar de nuevo disponible para su uso aguas abajo de la zona en la que se ha empleado. Hay que hacer notar que, aunque unos menores retornos reducen el agua disponible aguas abajo, esto también reduce la carga contaminante que transporta proveniente de fertilizantes y otros productos agroquímicos, mejorando la calidad del agua subterránea aguas abajo. En este

caso de estudio la máxima cantidad de agua que potencialmente podría quedar en el origen asciende a 636 m<sup>3</sup>/ha, que sobre las 16.416,4 ha serían 10,4 hm<sup>3</sup>. Incluso asumiendo que se reducen los derechos del agua, menores retornos significaría una mayor escasez aguas abajo, que debería compensarse con desembalses aguas abajo para poder cubrir las necesidades de agua. Evaluar estos efectos está fuera del ámbito de este trabajo, pero algunas evidencias pueden encontrarse en Bielsa y Duarte (2000). Evidencias recogidas por Playán y Mateos (2006) muestran que el cambio hacia cultivos más intensivos en el uso del agua reducen los recursos de agua a escala de cuenca, si bien los menores retornos de agua pueden mejorar la calidad del medio ambiente (Figura 36).

Figura 36. Diagrama de flujo de acciones, efectos, resultados técnicos y consecuencias relacionados con la modernización del regadío y la optimización.



Fuente: Adaptado de Playán y Mateos (2006)

Todos estos efectos deberían ser considerados para evaluar la efectividad y los costes de oportunidad de la mejora de la eficiencia de aplicación del riego como un instrumento de gestión del agua.

El caso de estudio deja claro que, sean cuales sean los costes de oportunidad de reducir los retornos de riego, el estado de las masas de agua afectadas será peor en el

escenario 1, cuando se mantienen los derechos del agua, que en el escenario 2, cuando se reducen los derechos.

El análisis presentado proporciona información relevante para comparar diferentes opciones para reducir la presión sobre el agua en un contexto coste-eficacia. En el escenario 1 se muestra que el ahorro de 560 m<sup>3</sup>/ha están asociados a un coste de oportunidad de 60 €/ha. Entonces, una mayor eficiencia de riego permite la opción de ahorrar agua a un coste de 0,108 €/m<sup>3</sup>, opción que puede ser comparada con otras opciones disponibles en la cuenca para reducir simultáneamente la escasez de agua y mejorar el estado de las masas de agua.

---

## Capítulo 8. Conclusiones

---

La principal conclusión, que confirma la hipótesis de partida es que ha sido posible desarrollar un modelo de programación matemática que explique las preferencias del agricultor en la toma de decisiones que esté basado en la teoría de la utilidad multiatributo y que además sea consistente con la teoría económica.

Ha sido posible identificar los objetivos que intervienen en las decisiones de los regantes y que han permitido interpretar la racionalidad de su comportamiento. En general, los dos objetivos más importantes han sido la maximización del beneficio esperado y la minimización de la variabilidad de ese beneficio, mientras que la minimización de la mano de obra total y los costes indirectos como proporción de los ingresos totales han tenido una participación muy minoritaria.

Se han definido y evaluado las restricciones necesarias y más relevantes a las que debe ajustarse el comportamiento de los agricultores y que se han referido tanto a la disposición de factores productivos (agua y tierra), a la vocación agrícola de la zona, a las limitaciones agronómicas o al marco institucional derivado de la aplicación de la PAC.

Se ha reproducido con éxito las decisiones observadas de los regantes, replicándolas como resultado de un proceso de maximización de una función de utilidad sujeta a un conjunto de restricciones.

Se ha observado que el incremento de precios en algunos cultivos (p.e. trigo), cuando estos ya no pueden incrementar su superficie si se cumplen unas buenas prácticas agrarias, sigo haciendo variar la superficie del resto de cultivos para poder acomodar el exceso de variabilidad procedente de la subida del precio. Esto lleva a una disminución de aquellos cultivos con mayor variabilidad inicial (algodón u hortalizas), por otros con menor riesgo (por ejemplo girasol).

Una mayor volatilidad de los precios tiene un impacto relevante sobre el beneficio esperado y variabilidad del beneficio, y estos sobre las decisiones de los agricultores. Específicamente, al aumentar los precios, los agricultores incrementarían la superficie de los cultivos cuyos precios hayan aumentado, pero sólo en el caso de que presenten unos beneficios estables. Dicho de otra forma, si el aumento del precio de un cultivo concreto hace que la variabilidad del precio sea excesivamente alta, no se verá incrementada la superficie dedicada a dicho cultivo. El conflicto entre ambas variables (beneficio y variabilidad) explica por qué la superficie de algunos cultivos (algodón, hortalizas) se reducen cuando los precios, y por tanto el beneficio esperado, aumentan.

Para el conjunto de la Cuenca del Guadalquivir, el conflicto entre el beneficio esperado y su variabilidad resulta en un incremento del número de hectáreas de trigo, maíz y secano, y una disminución de la superficie de algodón, olivar, hortalizas y girasol.

En relación con lo anterior se ha constatado que, de producirse una mayor variabilidad en los precios del olivar, se llegaría a una situación en la que, para poder gestionar esta situación, o bien los agricultores pasan por un proceso de aprendizaje en el que asuman una mayor cantidad de riesgo, o bien se arrancan parte de los olivares a favor de cultivos anuales herbáceos con menor variabilidad.

El consumo de agua cambia con una mayor variabilidad de los precios de los cultivos, lo que conlleva importantes efectos. La curva de respuesta del agua se altera significativamente y se vuelve más inelástica con los eventos puntuales de precios altos. De hecho, existen claros incentivos hacia una demanda superior de agua, que únicamente no ocurre debido al marco legal actual, que no permite que se incrementen los derechos de agua dado el nivel de agotamiento de las fuentes de agua (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2010). Sin embargo, el nuevo escenario de volatilidad y la consecuente

adaptación de los agricultores a una nueva distribución de cultivos podría llevar a un importante incentivo para aumentar las extracciones ilegales de agua y empeorar el problema de los recursos subterráneos, por lo que serían necesarios mayores controles legales.

La nueva selección de cultivos en la Cuenca del Guadalquivir incrementa significativamente el beneficio esperado, pero también provoca el desplazamiento de los cultivos más intensivos en mano de obra, resultando en una disminución del 9% de la mano de obra asalariada. Se espera que este impacto sea importante para esta zona, donde el 7% de los trabajadores están empleados en el sector agrario, y es consecuencia de la mayor exposición a la volatilidad de los precios de los cultivos intensivos en mano de obra comparado con los *commodities*, de acuerdo con los argumentos de Sumpsi (2011).

Es necesario incluir los efectos de la volatilidad de los precios en los análisis de escenarios dado que el análisis basado exclusivamente en el precio medio esperado puede conducir a estimaciones no realistas de la respuesta del agricultor.

Compartir los beneficios de una mayor eficiencia en el uso del agua entre el uso de la misma en la agricultura, permitiendo a los agricultores beneficiarse de una mayor disponibilidad de agua, y la conservación del agua, dejando más agua en la naturaleza, podría ser la condición para alcanzar un acuerdo beneficioso para ambas partes que haga posible la implementación del programa. El ejemplo presentado contiene la información necesaria para considerar las diferentes opciones disponibles.

Debe tenerse en cuenta que una mejora en la eficiencia de aplicación del agua supone unos menores niveles de retornos de agua al medio, por lo que habrá menos agua disponible aguas abajo, lo que redundará en la necesidad de unas mayores captaciones de agua de las fuentes primarias. Por tanto, la disminución de los retornos podría anular el efecto de ahorro de agua al mejorar la eficiencia.



---

## Capítulo 9. Referencias

---

- Abbott, P.C., Hurt, C., Tyner, W.E., 2009. *What's Driving Food Prices? March 2009 Update* (Issue Reports No. 48495). Farm Foundation.
- Alcott, B., 2005. Jevons' paradox. *Ecological Economics* 54, 9–21.
- Antle, J.M., 1983. Incorporating Risk in Production Analysis. *American Journal of Agricultural Economics*. 65, 1099–1106.
- Argüelles, A., Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., 2012. La evolución de la Cuenca del Guadalquivir (España). *Revista de Obras Públicas* 159 (3537), 1-13.
- Arias, P., 1994. Planificación agraria en contexto de riesgo, mediante los modelos MOTAD y de Markowitz: una aplicación a la comarca de la Campiña (Guadalajara). *Investigación agraria. Economía* 3, 393–410.
- Armstrong, R.D., Frome, E.L., 1976. A Comparison of Two Algorithms for Absolute Deviation Curve Fitting. *Journal of the American Statistical Association* 71, 328–330.
- Arriaza, M., 2000. *Modelling conflict of objectives in responding to some of the changes in the Common Agricultural Policy: The case of irrigated agriculture in Andalusia, Spain*. Tesis Doctoral.
- Arteaga, J.G., 2005. *El arroz en las marismas del Guadalquivir: Evolución y problemática actual*. Universidad de Sevilla.
- Balachandran, M., Gero, J.S., 1985. The noninferior set estimation (NISE) method for three objective problems. *Engineering Optimization* 9, 77–88.

- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., 2011. Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: yield components and fruit composition. *Irrigation Science* 31(3), 333-341.
- Bauer, S., Kasnakoglu, H., 1990. Non-linear programming models for sector and policy analysis: Experiences with the Turkish agricultural sector model. *Economic Modelling* 7, 275-290.
- Benayoun, R., Roy, B., Sussman, B., 1966. *ELECTRE: une méthode pour guider le choix en présence des points de vue multiples*.
- Berbel, J., 1989. Analysis of protected cropping: an application of multiobjective programming techniques to Spanish horticulture. *European Review of Agricultural Economics* 16, 203-216.
- Berbel, J., Calatrava, J., 2011. Economics of irrigation: introduction. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9, i-iii.
- Berbel, J., Gómez-Limón, J.A., 2000. The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management* 43, 219-238.
- Berbel, J., Mesa-Jurado, M.A., Pistón, J.M., 2011. Value of Irrigation Water in Guadalquivir Basin (Spain) by Residual Value Method. *Water Resources Management* 25, 1565-1579.
- Berbel, J., Rodríguez-Ocaña, A., 1998. An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain. *European Journal of Operational Research* 107, 108-118.
- Bielsa, J., Duarte, R., 2000. La eficiencia técnica de riego: análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros* 189, 103-118.
- Boussard, J.-M., Petit, M., 1967. Representation of Farmers' Behavior under Uncertainty with a Focus-Loss Constraint. *American Journal of Agricultural Economics* 49, 869-880.
- Bowler, I.R., 1975. Factors affecting the trend to enterprise specialization in agriculture: a case study in Wales. *Cambria* 2(2), 100-111.
- Bronfenbrenner, M., 1944. Production Functions: Cobb-Douglas, Interfirm, Intrafirm. *Econometrica* 12, 35-44.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., Ramesh, R., 1998. *GAMS. A user's guide*. GAMS Development Corporation.
- Brookes, L.G., 1979. A low energy strategy for the U.K. by Gerald Leach et al, a review and a reply. *Atom* 269.
- Brown, E.H.P., 1957. The Meaning of the Fitted Cobb-Douglas Function. *The Quarterly Journal of Economics* 71, 546-560.
- Buckwell, A.E., Hazell, P.B.R., 1972. Implications of aggregation bias for the construction of static and dynamic linear programming supply models. *Journal of Agricultural Economics* 23, 119-134.
- Burt, C.M., Clemmens, A., Strelkoff, T., Solomon, K., Bliesner, R., Hardy, L., Howell, T., Eisenhauer, D., 1997. Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123, 423-442.

- Cobb, C.W., Douglas, P.H., 1928. A Theory of Production. *The American Economic Review* 18, 139–165.
- Cohon, J.L., 1978. *Multiobjective Programming and Planning*. Academic Press, New York.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 1998. *The common agricultural policy. Promoting Europe's agriculture and rural areas: Continuity and change*.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 1999. *CAP reform: A policy for the future*.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 2005. *The 2003 CAP reform*.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 2009. *Agricultural and rural policy under Commissioner Mariann Fischer Boel*.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 2010. *The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future*.
- Comisión Europea. Dirección General de Agricultura, 2011. *Legal proposals for the CAP after 2013* [WWW Document]. URL [http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013/legal-proposals/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013/legal-proposals/index_en.htm) (último acceso 13/11/2012).
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2010. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir*.
- Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, 2011. *Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década* [WWW Document]. URL <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/areas-tematicas/infraestructuras-agrarias/regadios-e-infraestructuras-agrarias/sig-de-regadios/evolucion.html> (último acceso 5/11/2012).
- Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. *Manual de estadísticas agrarias de Andalucía*. Varios años.
- Cooke, B., Robles, M., 2009. *Recent food prices movements: A time series analysis*. International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Corominas, J., 2010. Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua* 17, 219–233.
- Costa, F.P., Rehman, T., 1999. Exploring the link between farmers' objectives and the phenomenon of pasture degradation in the beef production systems of Central Brazil. *Agricultural Systems* 61, 135–146.
- Cypris, C., 1996. *Abbildung des regionalen Angebotsverhaltens bei der Prognose, in: Endbericht Zum Kooperationsbericht'Entwicklung Des Gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96'*, Bonn Und Braunschweig Völkenrode.
- Charnes, A., Cooper, W.W., 1957. Management models and industrial applications of linear programming. *Management Science* 4, 38–91.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Ferguson, R.O., 1955. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science* 1, 138–151.
- Day, R.H., 1963. On Aggregating Linear Programming Models of Production. *Journal of Farm Economics* 45, 797.
- Day, R.H., 1964. Recursive programming and production response. *The American Economic Review* 54.

- Delforce, R.J., Hardaker, J.B., 1985. An Experiment in Multiattribute Utility Theory. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 29, 179–198.
- Domínguez, A., De Juan, J.A., Tarjuelo, J.M., Martínez, R.S., Martínez-Romero, A., 2012. Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management* 110, 67–77.
- Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Wallenius, J., Zionts, S., 1992. Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years. *Management Science* 38, 645–654.
- Edgeworth, F.Y., 1881. *Mathematical psychics: An essay on the application of mathematics to the moral sciences*. C. Kegan Paul, London.
- Fairweather, J.R., Keating, N.C., 1994. Goals and management styles of New Zealand farmers. *Agricultural Systems* 44, 181–200.
- FAO, 2011. *Price Volatility in Food and Agricultural Markets: Policy Responses* [WWW Document]. URL <http://www.oecd.org/agriculture/pricevolatilityinfoodandagriculturalmarketspolicyresponses.htm> (último acceso 31/10/2012).
- Fernández, I., Montesinos, P., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E., Berbel, J., 2012. Efectos de la modernización de regadíos en el uso del agua y de la energía en comunidades de regantes de Andalucía. Presented at the SIAGA 2012, *VIII Simposio del agua en Andalucía*, Cádiz.
- Friedman, M., 1966. *The methodology of positive economics, in: Essays in Positive Economics*. University of Chicago Press, Chicago.
- Gasson, R., 1973. Goals and Values of Farmers. *Journal of Agricultural Economics* 24, 521–542.
- Gilbert, C.L., 2010. How to Understand High Food Prices. *Journal of Agricultural Economics* 61, 398–425.
- Gilbert, C.L., Morgan, C.W., 2010. Food price volatility. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365, 3023–3034.
- Glen, J.J., 1987. Feature Article—Mathematical Models in Farm Planning: A Survey. *Operations Research* 35, 641–666.
- Gohin, A., Chantreuil, F., 1999. La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole: principes et importance du calibrage. *Cahiers d'économie et sociologie rurales* 52, 59–78.
- Gómez, C.M., 2009. La eficiencia en la asignación del agua: principios básicos y hechos estilizados en España. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía* 847, 23–39.
- Gomez, C.M., Gutierrez, C., 2011. Enhancing irrigation efficiency but increasing water use: The Jevon's paradox. Presented at the *EAAE 2011 Congress Change and Uncertainty Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources*, Zurich, Switzerland.
- Gómez-Limón, J.A., Arriaza, M., Villanueva, A., 2012. Tipología de las unidades de agregación de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. *XXX Congreso Nacional de Riegos*, Albacete.

- Gómez-Limón, J.A., Berbel, J., 2000. Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. *Agricultural Systems* 63, 49–72.
- González-Altozano, P., Castel, J.R., 2003. Riego deficitario controlado en “Clementina de Nules”. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1, 81–92.
- Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. *Energy Policy* 28, 389–401.
- Guerrero, A., 1999. *Cultivos herbáceos extensivos*. Mundi-Prensa Libros.
- Gutierrez-Martin, C., Gomez Gomez, C.M., 2011. Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9, 1009–1020.
- Gutiérrez-Martín, C., Pérez, C.D., Gómez, C.M., Berbel, J., 2013. Price Volatility and Water Demand in Agriculture. A Case Study of the Guadalquivir River Basin (Spain), in: Bournaris, T., Berbel, J., Manos, B., Viaggi, D. (Eds.), *Economics of Water Management in Agriculture*. Science Publisher. (En revisión)
- Harper, W.M., Eastman, C., 1980. An Evaluation of Goal Hierarchies for Small Farm Operators. *American Journal of Agricultural Economics* 62, 742–747.
- Hart, P.W.E., 1980. Problems and Potentialities of the Behavioural Approach to Agricultural Location. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography* 62, 99–107.
- Hayashi, K., 2000. Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. *European Journal of Operational Research* 122, 486–500.
- Hazell, P.B.R., 1970. Game Theory—an Extension of Its Application to Farm Planning Under Uncertainty. *Journal of Agricultural Economics* 21, 239–252.
- Hazell, P.B.R., 1971. A Linear Alternative to Quadratic and Semivariance Programming for Farm Planning under Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics* 53, 53–62.
- Hazell, P.B.R., Norton, R.D., 1986. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan New York.
- Headey, D., Fan, S., 2008. Anatomy of a crisis: the causes and consequences of surging food prices. *Agricultural Economics* 39, 375–391.
- Heady, E.O., 1952. Diversification in Resource Allocation and Minimization of Income Variability. *Journal of Farm Economics* 34, 482.
- Heckeley, T., 1997. *Positive Mathematical Programming: Review of the standard approach*. CAPRI Working Paper 97-03, University of Bonn.
- Heckeley, T., 2002. *Calibration and Estimation of Programming Models for Agricultural Supply Analysis*. (Habilitation Thesis).
- Heckeley, T., Britz, W., 2005. Models based on positive mathematical programming: state of the art and further extensions, in: Arfini, F. (Ed.), *Modelling Agricultural Policies: State of the Art and New Challenges*. Parma, Italy, pp. 48–73.
- Henry de Frahan, B., Buysse, J., Polomé, P., Fernagut, B., Harmignie, O., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G., Van Meensel, J., 2007. Positive Mathematical Programming for

- Agricultural and Environmental Policy Analysis: Review and Practice, in: Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R., Miranda, J. (Eds.), *Handbook Of Operations Research In Natural Resources*, International Series In Operations Research and Management. Springer US, pp. 129–154.
- Hildreth, C., 1957. Problems of Uncertainty in Farm Planning. *Journal of Farm Economics* 39, 1430.
- Horner, G.L., Corman, J., Howitt, R.E., Carter, C.A., MacGregor, R.J., 1992. *The Canadian Regional Agriculture Model Structure, Operation and Development*. Gouvernement du Canada-Agriculture Canada Papers.
- House, R.M., 1987. *USMP regional agricultural model*. Washington DC: USDA. National Economics Division Report, ERS 30.
- Howitt, R.E., 1995. Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 329–342.
- Ilbery, B.W., 1983. Goals and Values of Hop Farmers. *Transactions of the Institute of British Geographers* 8, 329–341.
- Inada, K.-I., 1963. On a Two-Sector Model of Economic Growth: Comments and a Generalization. *The Review of Economic Studies* 30, 119.
- Jevons, W.S., 1865. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-mines*. Augustus M. Kelley, New York.
- Kanellopoulos, A., Berentsen, P., Heckeley, T., Van Ittersum, M., Lansink, A.O., 2010. Assessing the Forecasting Performance of a Generic Bio-Economic Farm Model Calibrated With Two Different PMP Variants. *Journal of Agricultural Economics* 61, 274–294.
- Kasnakoglu, H., Bauer, S., 1988. Concept and application of an agricultural sector model for policy analysis in Turkey, in: Bauer, S., Henrichsmeyer, W. (Eds.), *Agricultural Sector Modelling*. Vauk Verlag: Kiel.
- Keeney, R.L., Raiffa, H., 1976. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. Cambridge University Press.
- Kennedy, J.O.S., Francisco, E.M., 1974. On the Formulation of Risk Constraints for Linear Programming. *Journal of Agricultural Economics* 25, 129–145.
- Khazzoom, J.D., 1980. Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances. *The Energy Journal* 1, 21–40.
- Konno, H., Yamazaki, H., 1991. Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market. *Management Science* 37, 519–531.
- Kuhn, T., 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., Aragüés, R., 2010. Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. *Agricultural Water Management* 97, 1663–1675.
- López-Baldovín, M.J., Gutiérrez-Martín, C., Berbel, J., 2005. Multicriteria and multiperiod programming for scenario analysis in Guadalquivir river irrigated farming. *Journal of the Operational Research Society* 57, 499–509.
- Marglin, S.A., 1967. *Public investment criteria*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

- Markowitz, H., 1952. Portfolio Selection. *The Journal of Finance* 7, 77–91.
- Marsal, J., Stöckle, C.O., 2011. Use of CropSyst as a decision support system for scheduling regulated deficit irrigation in a pear orchard. *Irrigation Science* 30, 139–147.
- Massam, B.H., 1988. Multi-criteria decision making (MCDM) techniques in planning. *Progress in Planning* 30.
- McCarl, B.A., 2006. *McCarl GAMS User Guide v22.0*.
- McInerney, J.P., 1967. Maximin Programming - An Approach to Farm Planning Under Uncertainty. *Journal of Agricultural Economics* 18, 279–289.
- Meister, A.D., Chen, C.C., Heady, E.O., 1978. *Quadratic programming models applied to agricultural policies*. Iowa State University Press.
- Merrill, W.C., 1965. Alternative Programming Models Involving Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics* 47, 595–610.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Anuarios de estadística agraria de España*. Varios años.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos de España (ESYRCE)*. Varios años.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrarias*. Varios años
- Mitchell, D., 2008. *A note on rising food prices*. World Bank Policy Research Working Paper Series.
- Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Jensen, J.R., Murray-Rust, H., Paranjpye, V., Pollard, S., Van der Zaag, P., 2007. River basin development and management, in: Molden, D. (Ed.), *Water For Food, Water For Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, Londres, pp. 585–624.
- Munda, G., 1995. *Fuzzy Information in Multicriteria Environmental Evaluation Models*. Vrije Universiteit.
- Olsson, R., 1988. Management for success in modern agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 15, 239–259.
- Paris, Q., Howitt, R.E., 1998. An Analysis of Ill-Posed Production Problems Using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics* 80, 124–138.
- Paris, Q., Howitt, R.E., 2001. The multi-output and multi-input symmetric positive equilibrium problem., in: Heckeley, T., Witzke, H.P., Henrichsmeyer, W. (Eds.), *Proceedings of the 65th European Seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE)*, March 29-31, 2000, Bonn, Germany., Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, Bonn University, pp. 88–100.
- Patrick, G.F., Kliebenstein, J.B., 1980. *Multiple goals in farm firm decision-making: a social science perspective*. Station bulletin - Dept. of Agricultural Economics Agricultural Experiment Station.
- Penman, H.L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. *Proceedings of the Royal Society A* 193, 120–145.

- Pfeifer, L., Lin, C., 2010. Does Efficient Irrigation Technology Lead to Reduced Groundwater Extraction?: Empirical Evidence, in: *Agricultural and Applied Economics Association*. 2010 Annual Meeting. Denver, Colorado, pp. 25–27.
- Playán, E., Mateos, L., 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management* 80, 100–116.
- Pujol, J., 2002. *Un análisis multicriterio del impacto del nuevo marco normativo del agua en los regadíos de la zona regable del Bajo Ter y del Muga (Girona)*. Tesis doctoral.
- Quiroga, S., Iglesias, A., 2009. A comparison of the climate risks of cereal, citrus, grapevine and olive production in Spain. *Agricultural Systems* 101, 91–100.
- Rae, A.N., 1970. Profit Maximisation and Imperfect Competition—an Application of Quadratic Programming to Horticulture. *Journal of Agricultural Economics* 21, 133–140.
- Rausser, G.C., Yassour, J., 1981. Multiattribute Utility Analysis: The Case of Filipino Rice Policy. *American Journal of Agricultural Economics* 63, 484–494.
- Reder, M.W., 1943. An Alternative Interpretation of the Cobb-Douglas Function. *Econometrica* 11, 259–264.
- Roache, S.K., 2010. *What Explains the Rise in Food Price Volatility?* (No. 10/129), IMF Working Paper.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Pérez, L., Camacho, E., Montesinos, P., 2012. Modernizing water distribution networks: Lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain. *Outlook on AGRICULTURE* 41(4), 229–236.
- Röhm, O., 2001. *Analyse der Produktions-und Einkommenseffekte von Agrarumweltprogrammen unter Verwendung einer weiterentwickelten Form der positiven quadratischen Programmierung*. Shaker.
- Romero, C., 1993. *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial.
- Romero, C., Amador, F., Barco, A., 1987. Multiple Objectives in Agricultural Planning: A Compromise Programming Application. *American Journal of Agricultural Economics* 69, 78–86.
- Romero, C., Rehman, T., 1984. Goal Programming and Multiple Criteria Decision-Making in Farm Planning: An Expository Analysis. *Journal of Agricultural Economics* 35, 177–190.
- Romero, C., Rehman, T., 1989. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*, Second Edition. Elsevier.
- Rosegrant, M.W., Zhu, T., Msangi, S., Sulser, T., 2008. Global Scenarios for Biofuels: Impacts and Implications. *Applied Economic Perspectives and Policy* 30, 495–505.
- Roy, A.D., 1952. Safety First and the Holding of Assets. *Econometrica* 20, 431–449.
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *Riro* 2, 57–75.
- Rudel, T.K., Schneider, L., Uriarte, M., Turner, B.L., DeFries, R., Lawrence, D., Geoghegan, J., Hecht, S., Ickowitz, A., Lambin, E.F., Birkenholtz, T., Baptista, S., Grau, R., 2009.

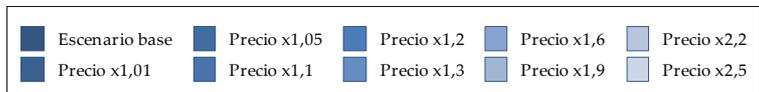
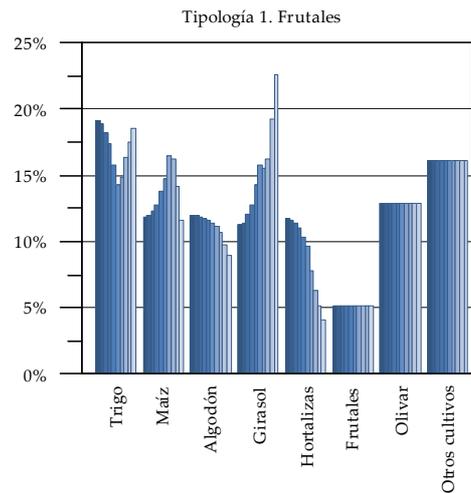
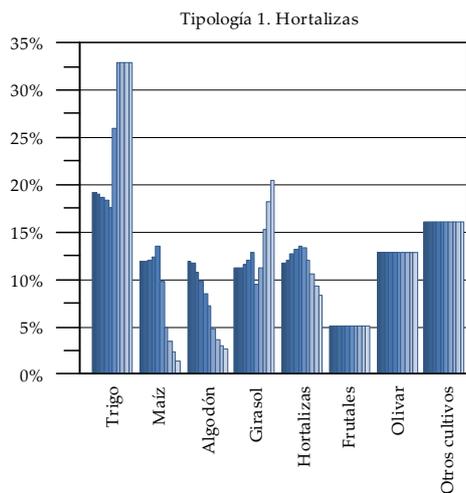
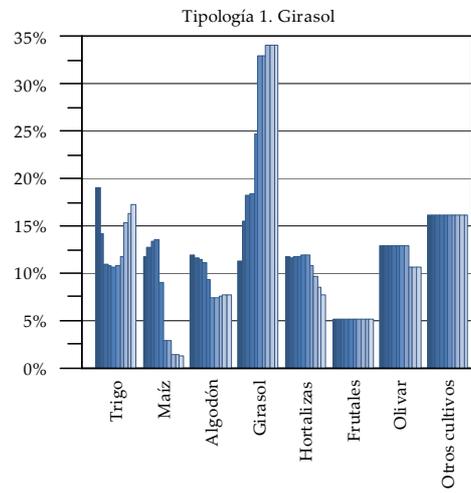
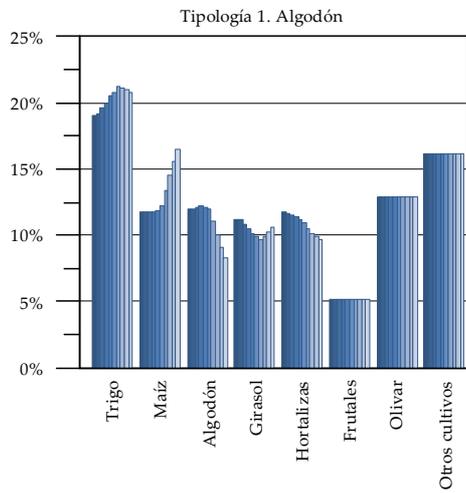
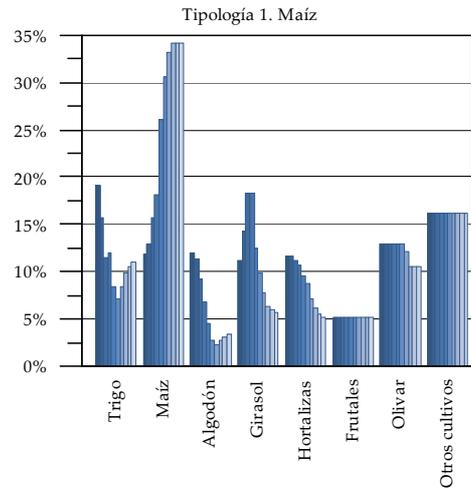
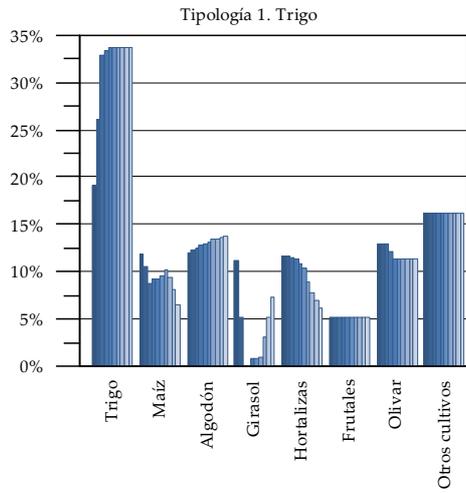
- Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *PNAS* 106, 20675–20680.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, 3 Revised. ed. McGraw Hill, New York.
- Salamon, S., 1987. *Ethnic determinants of farm community character*. Cornell University Press, Ithaca (USA).
- Saunders, H.D., 1992. The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth. *The Energy Journal* 13, 131–148.
- Simon, H.A., 1955. A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics* 69, 99–118.
- Simon, H.A., 1957. *Models of man; social and rational*. Wiley, Oxford, England.
- Sorrell, S., 2009. Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy Policy* 37, 1456–1469.
- Sumpsi, J.M., 2011. Volatilidad de los mercados agrarios y crisis alimentaria. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros* 229, 11–35.
- Tadros, M.E., Casler, G.L., 1969. A Game Theoretic Model for Farm Planning under Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics* 51, 1164.
- Thomson, K.J., Buckwell, A.E., 1979. A Microeconomic Agricultural Supply Model. *Journal of Agricultural Economics* 30, 1–11.
- Timmer, P., 2009. *Rice Price Formation in the Short Run and the Long Run: The Role of Market Structure in Explaining Volatility* (Working Paper No. 172). Center for Global Development.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O., 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Voogd, H., 1983. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion, London.
- Ward, F.A., Pulido-Velazquez, M., 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *PNAS* 105, 18215–18220.
- Watts, M.J., Held, L.J., Helmers, G.A., 1984. A Comparison of Target MOTAD to MOTAD. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie* 32, 175–186.
- Yoon, K.P., Hwang, C.-L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. SAGE.
- Yu, P.L., 1973. A Class of Solutions for Group Decision Problems. *Management Science* 19, 936–946.
- Zadeh, L., 1963. Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE Transactions on Automatic Control* 8, 59 – 60.
- Zeleny, M., 1973. Compromise programming, in: Cochrane, J.L., Zeleny, M. (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making*. University of South Carolina Press, Columbia, pp. 262–301.
- Zeza, A., Davis, B., Azzarri, C., Covarrubias, K., Tasciotti, L., Anriquez, G., 2009. The Impact of Rising Food Prices on the Poor. Presented at the *International Association of Agricultural Economists Conference*, Agricultural and Development Economics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO - ESA), Beijing, China.

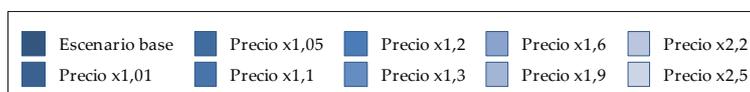
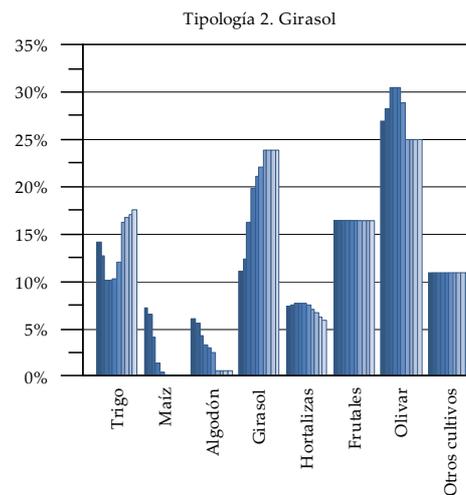
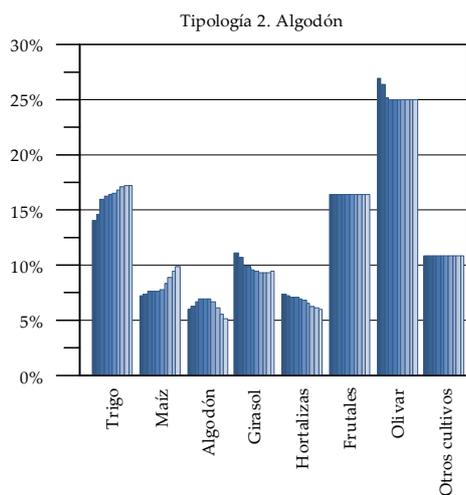
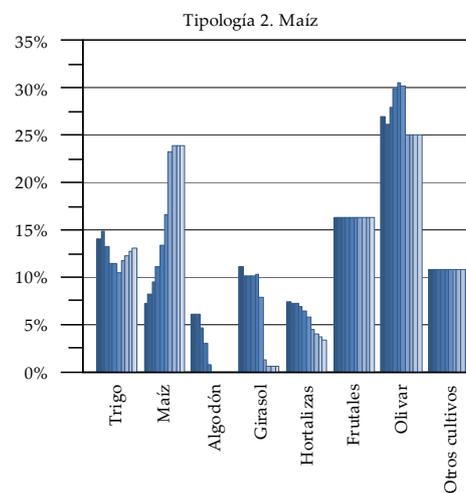
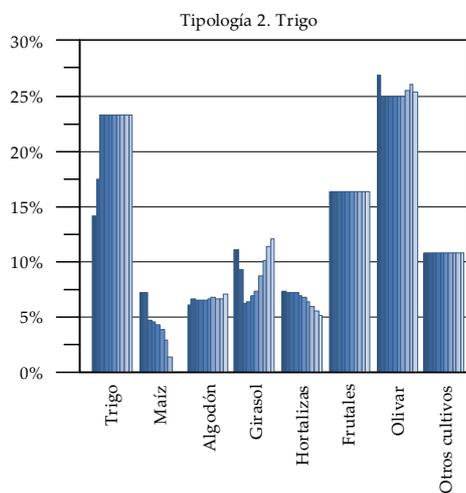
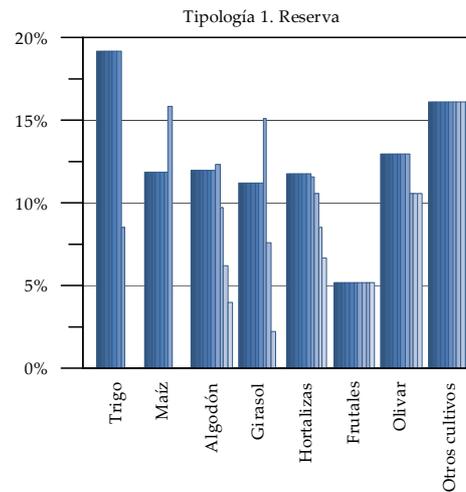
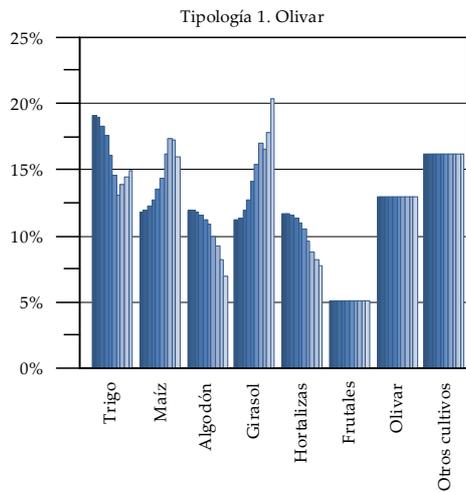


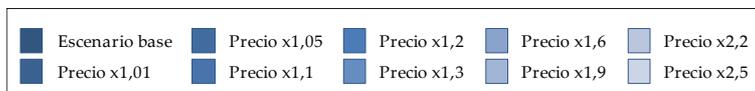
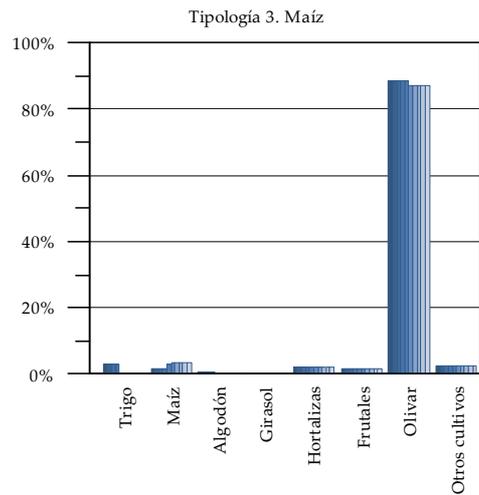
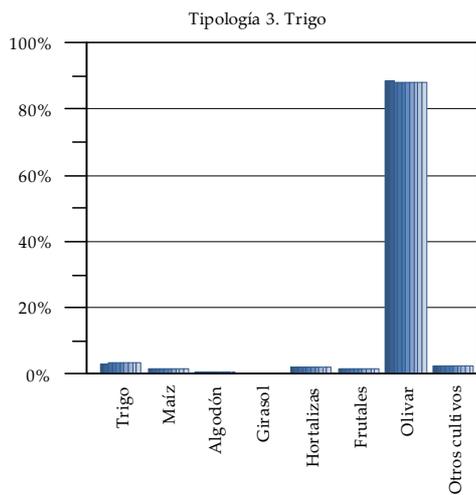
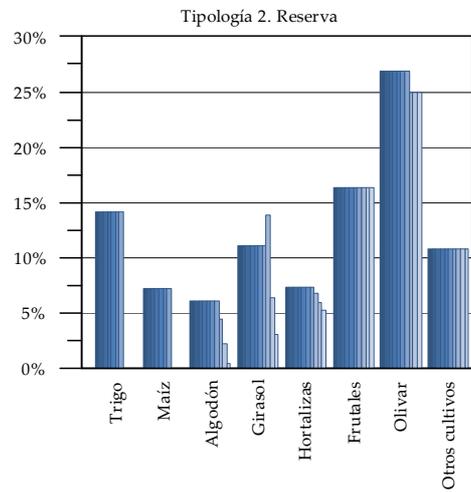
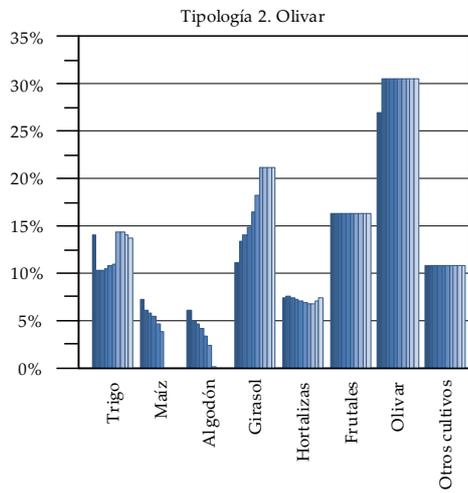
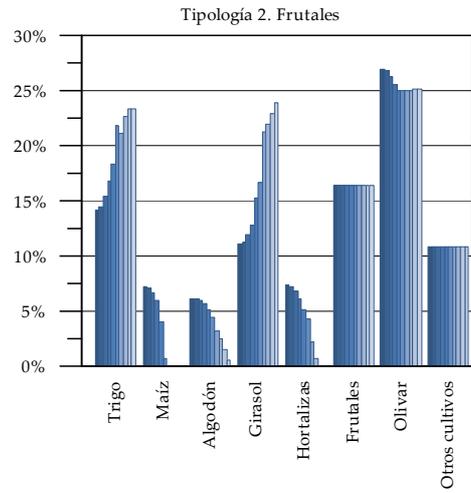
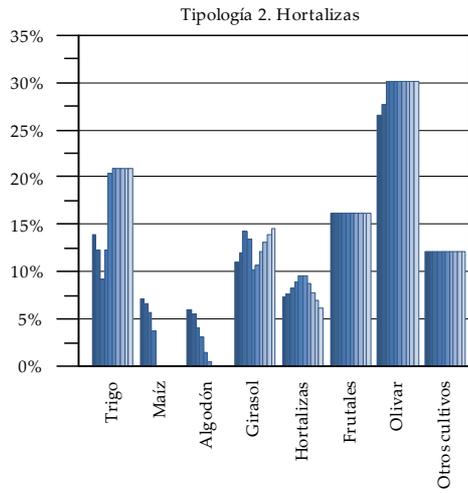
---

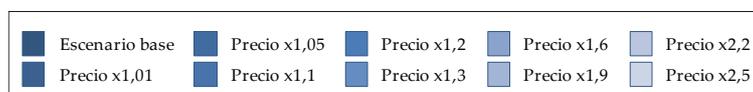
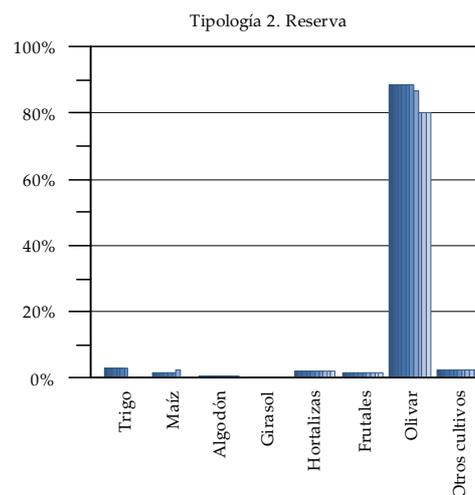
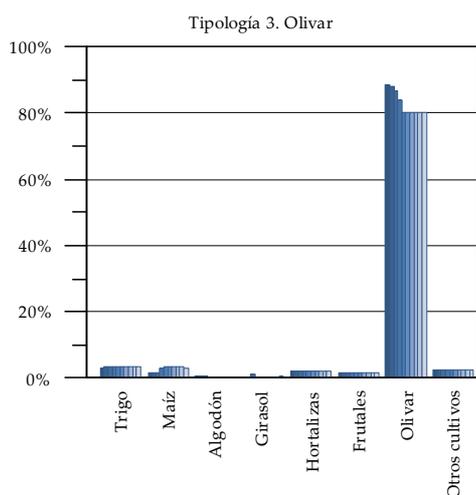
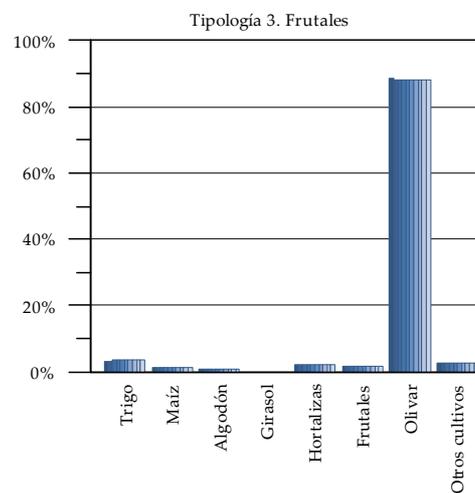
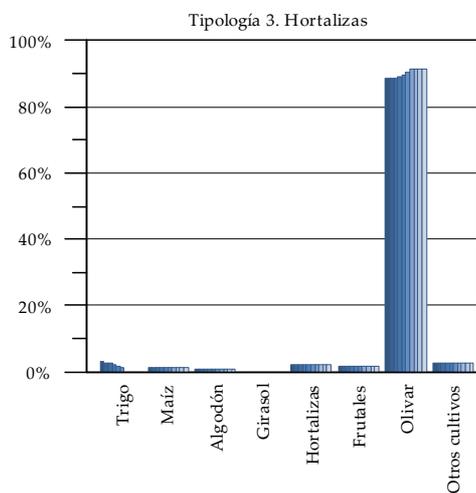
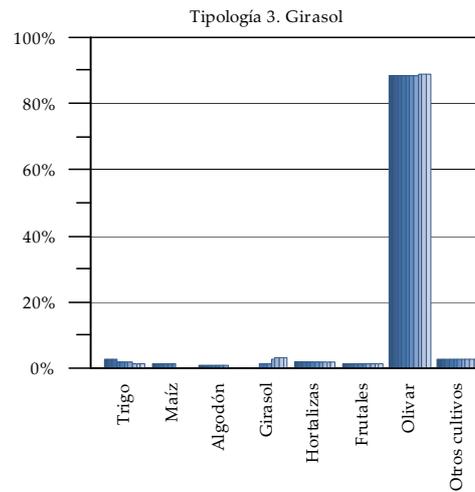
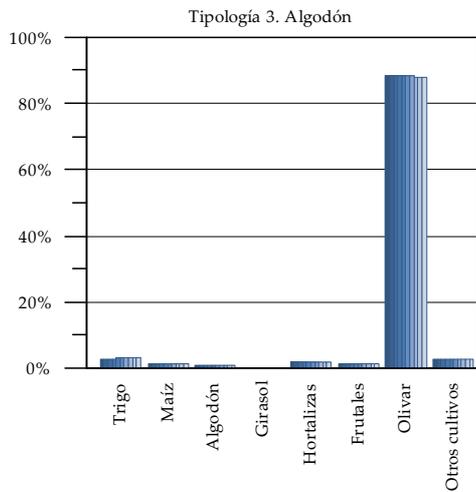
## Anexo I

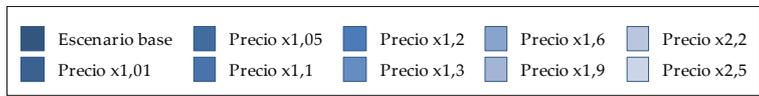
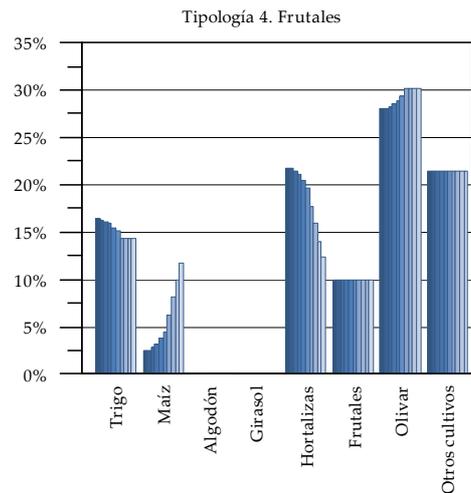
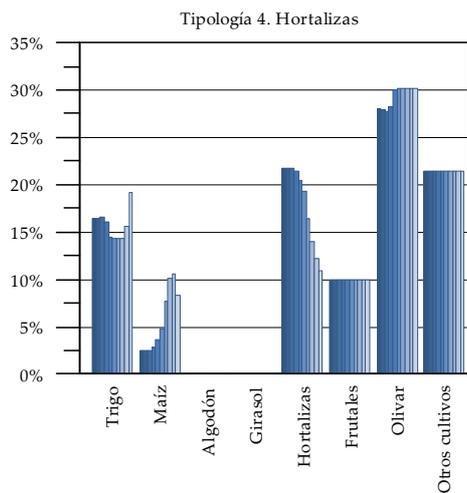
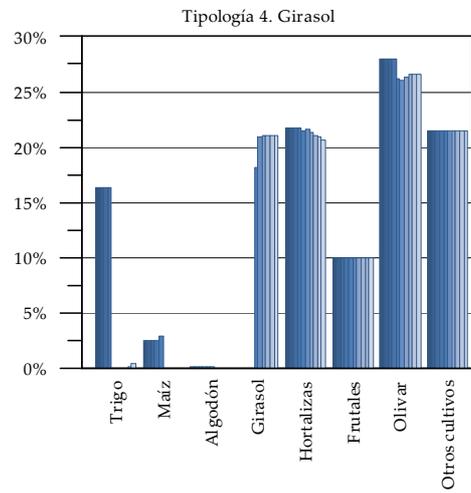
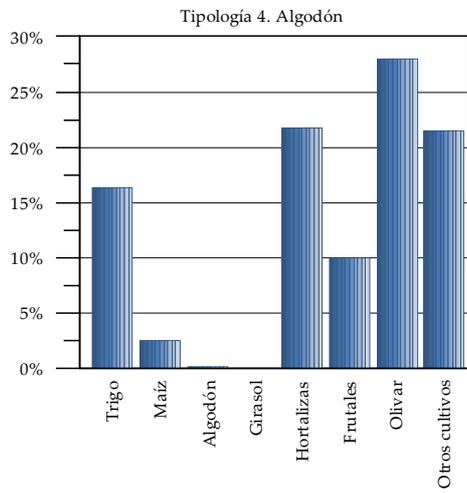
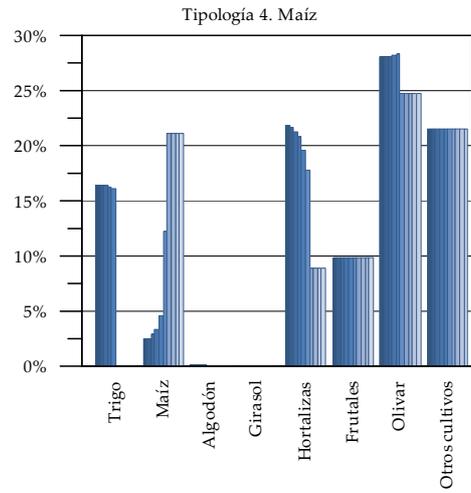
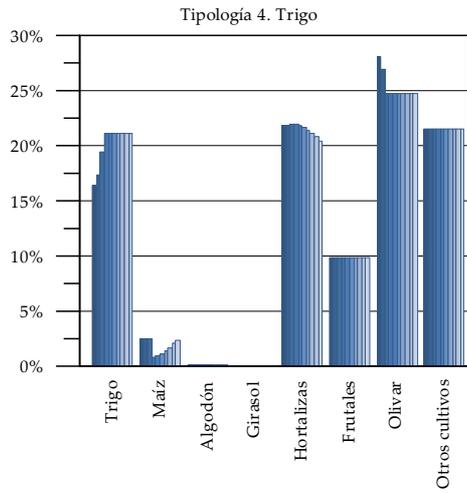
---

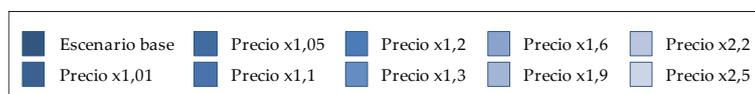
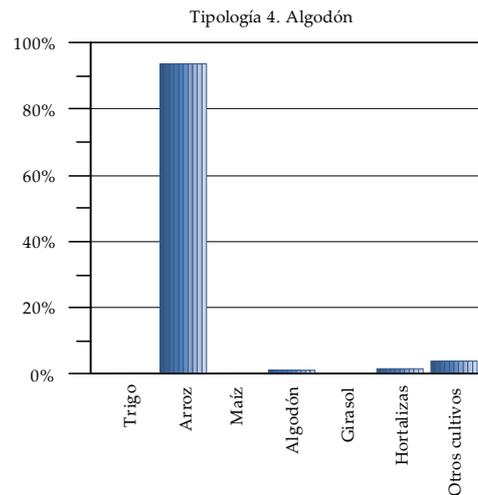
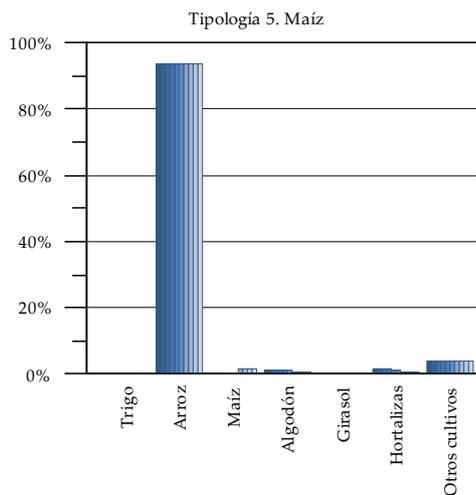
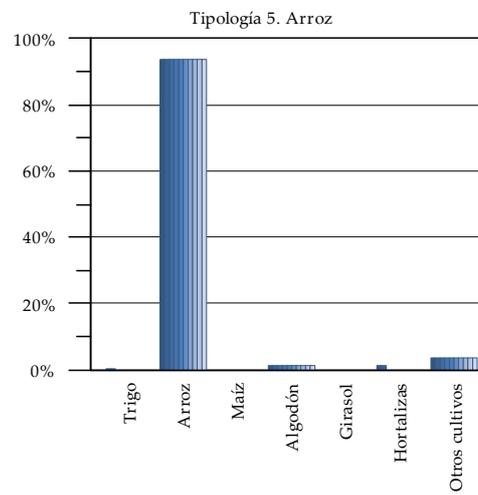
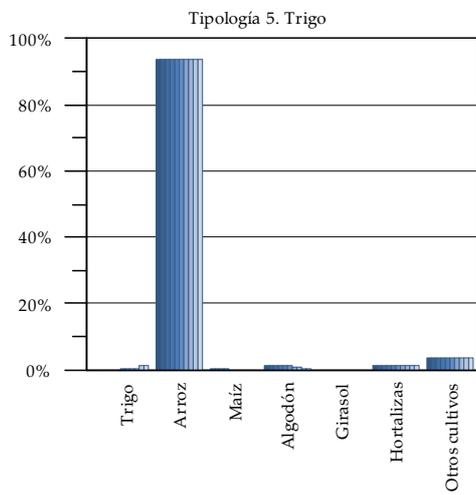
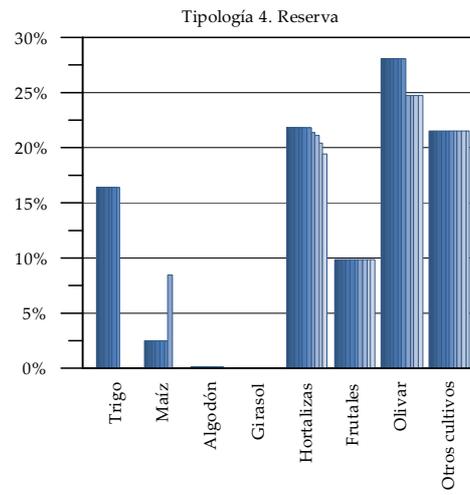
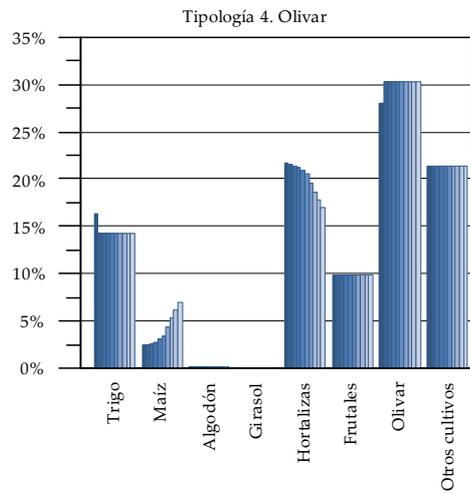


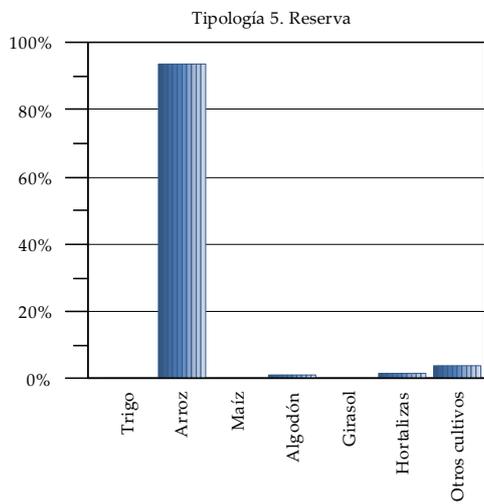
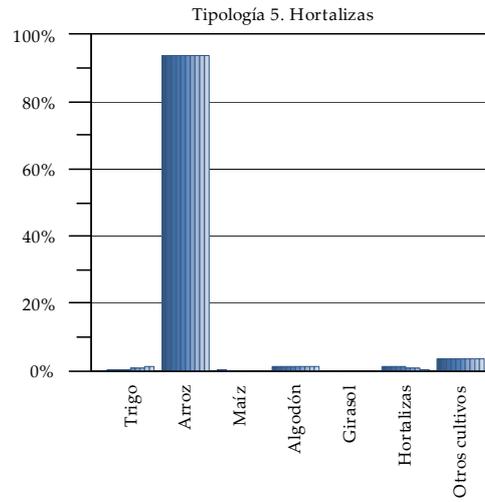
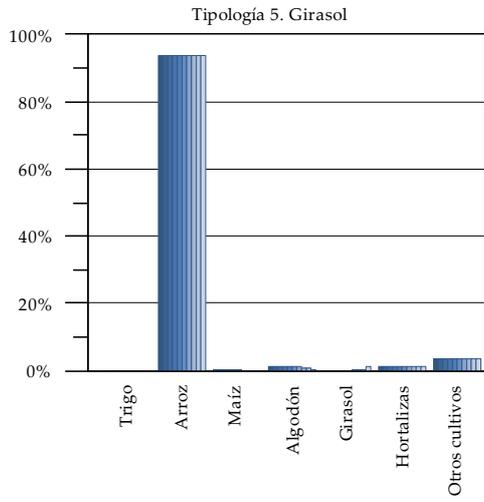














10%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	1,69	-0,30	0,09	-1,34	-0,05	0,00	-0,09	0,00
<b>Mai</b>	-0,85	0,75	-0,61	0,83	-0,13	0,00	0,00	0,00
<b>Alg</b>	0,10	-0,01	0,03	-0,09	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,99	0,22	-0,10	0,86	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,09	0,07	-0,25	0,09	0,18	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

20%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,87	-0,15	0,06	-0,62	-0,06	0,00	-0,10	0,00
<b>Mai</b>	-0,64	0,85	-0,44	0,07	-0,13	0,00	0,00	0,28
<b>Alg</b>	0,08	0,01	0,01	-0,07	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,50	-0,16	-0,16	0,81	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,09	0,10	-0,20	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,18	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,20	0,12	-0,02	0,18	-0,09	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

30%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,58	-0,09	0,04	-0,41	-0,06	0,00	-0,07	0,00
<b>Mai</b>	-0,47	0,74	-0,36	-0,06	-0,12	0,00	0,00	0,26
<b>Alg</b>	0,07	0,02	0,00	-0,05	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,33	-0,36	-0,18	0,86	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	0,27	-0,08	-0,19	-0,07	0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,19	0,12	-0,02	0,18	-0,08	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,19	0,12	-0,02	0,18	-0,08	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

60%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,29	-0,03	0,03	-0,20	-0,06	0,00	-0,03	0,00
<b>Mai</b>	-0,21	0,43	-0,19	-0,07	-0,09	0,00	-0,01	0,16
<b>Alg</b>	0,04	0,03	-0,02	-0,03	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,14	-0,18	-0,09	0,43	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	0,27	-0,14	-0,14	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,09	0,09	-0,02	0,09	-0,08	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,09	0,09	-0,02	0,09	-0,08	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	-0,21	0,08	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05

90%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,19	-0,03	0,02	-0,11	-0,05	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,12	0,30	-0,12	-0,06	-0,07	0,00	-0,03	0,12
<b>Alg</b>	0,03	0,04	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,05	-0,14	-0,06	0,30	-0,03	0,00	-0,03	0,00
<b>Hor</b>	0,18	-0,11	-0,11	0,05	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,04	0,06	-0,02	0,07	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,04	0,06	-0,02	0,07	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	-0,25	-0,16	-0,03	-0,05	-0,02	0,00	-0,03	0,53

120%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,15	-0,04	0,02	-0,06	-0,05	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,08	0,22	-0,09	-0,05	-0,06	0,00	-0,02	0,09
<b>Alg</b>	0,02	0,04	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,03	-0,10	-0,04	0,23	-0,03	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	0,14	-0,09	-0,09	0,07	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	-0,02	0,02	-0,02	0,08	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	-0,02	0,02	-0,02	0,08	-0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	-0,03	-0,10	-0,04	0,23	-0,03	0,00	-0,02	0,00

150%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,12	-0,04	0,01	-0,03	-0,04	0,00	-0,01	0,00
<b>Mai</b>	-0,06	0,18	-0,07	-0,04	-0,05	0,00	-0,02	0,07
<b>Alg</b>	0,01	0,04	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,01	-0,08	-0,03	0,18	-0,03	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	0,11	-0,08	-0,07	0,07	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	-0,02	0,09	-0,06	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,00	-0,02	0,09	-0,06	0,00	0,00	0,00
<b>Res</b>	-0,15	-0,09	-0,06	-0,09	-0,04	0,00	-0,02	0,46





10%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,00
<b>Mai</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,13	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,05	0,16	-0,04	0,01	0,00	0,00	-0,46	0,29
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

20%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,15	0,08	-0,04	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,12
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,02	0,10	-0,04	0,00	0,00	0,00	-0,43	0,34
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

30%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00
<b>Mai</b>	-0,10	0,07	-0,03	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,11
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,02	0,07	-0,03	0,00	0,00	0,00	-0,29	0,23
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

60%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Mai</b>	-0,05	0,03	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,05
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,02	-0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,01	0,03	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,14	0,11
<b>Res</b>	-0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,06

90%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Mai</b>	-0,03	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,04
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,02	-0,02	-0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,08
<b>Res</b>	-0,03	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,15

120%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,03	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,03
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,01	-0,01	-0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,07	0,06
<b>Res</b>	-0,01	-0,01	-0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00

150%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,02	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,02
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Fru</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,05
<b>Res</b>	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,09

## Tipología 4

1%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	1,29	0,01	0,00	0,00	0,09	0,00	-1,38	0,00
<b>Mai</b>	-0,01	0,11	0,00	0,00	-0,11	0,00	0,01	0,00
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	0,16	-0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	-0,18	0,00
<b>Fru</b>	-0,06	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,06	0,00
<b>Oli</b>	-2,62	0,07	0,00	0,00	-0,27	0,00	2,82	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,78	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	-0,84	0,00
<b>Mai</b>	-0,01	0,11	0,00	0,00	-0,11	0,00	0,01	0,00
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	0,06	0,02	0,00	0,00	-0,02	0,00	-0,06	0,00
<b>Fru</b>	-0,06	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,06	0,00
<b>Oli</b>	-0,52	0,05	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,56	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

10%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,60	-0,20	0,00	0,00	0,02	0,00	-0,42	0,00
<b>Mai</b>	-0,01	0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00	0,01	0,00
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Hor</b>	-0,03	0,05	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	-0,06	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,06	0,00
<b>Oli</b>	-0,26	0,04	0,00	0,00	-0,06	0,00	0,28	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

20%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,30	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,21	0,00
<b>Mai</b>	-0,02	0,14	-0,01	0,00	-0,14	0,00	0,02	0,00
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-1,04	0,03	0,00	1,15	-0,02	0,00	-0,12	0,00
<b>Hor</b>	-0,12	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,13	0,00
<b>Fru</b>	-0,05	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,06	0,00
<b>Oli</b>	-0,13	0,04	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,14	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

30%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,20	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,14	0,00
<b>Mai</b>	-0,69	0,42	0,00	0,00	-0,17	0,00	-0,14	0,59
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,69	-0,10	0,00	0,89	-0,01	0,00	-0,08	0,00
<b>Hor</b>	-0,09	0,10	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,09	0,00
<b>Fru</b>	-0,05	0,08	0,00	0,00	-0,09	0,00	0,06	0,00
<b>Oli</b>	-0,09	0,04	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,09	0,00
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

60%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,10	-0,02	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,07	0,00
<b>Mai</b>	-0,35	0,39	0,00	0,00	-0,27	0,00	-0,07	0,30
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,35	-0,05	0,00	0,45	-0,01	0,00	-0,04	0,00
<b>Hor</b>	-0,04	0,11	0,00	0,00	-0,11	0,00	0,05	0,00
<b>Fru</b>	-0,04	0,08	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,05	0,00
<b>Oli</b>	-0,04	0,04	0,00	0,00	-0,04	0,00	0,05	0,00
<b>Res</b>	-0,35	0,13	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,07	0,30

90%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,07	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,05	0,00
<b>Mai</b>	-0,23	0,26	0,00	0,00	-0,18	0,00	-0,05	0,20
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,23	-0,03	0,00	0,30	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	-0,03	0,11	0,00	0,00	-0,11	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	-0,03	0,08	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,03	0,00
<b>Oli</b>	-0,03	0,04	0,00	0,00	-0,04	0,00	0,03	0,00
<b>Res</b>	-0,23	-0,03	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,05	0,32

120%	Tri	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,03	0,00
<b>Mai</b>	-0,17	0,20	0,00	0,00	-0,14	0,00	-0,03	0,15
<b>Alg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gir</b>	-0,17	-0,03	0,00	0,22	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	-0,01	0,09	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,02	0,00
<b>Fru</b>	-0,02	0,08	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,02	0,00
<b>Oli</b>	-0,02	0,04	0,00	0,00	-0,04	0,00	0,02	0,00
<b>Res</b>	-0,17	-0,03	0,00	0,22	-0,01	0,00	-0,02	0,00





10%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,49	0,00	-0,13	0,02	-0,24	-0,01	0,00	-0,13	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,01
<b>Mai</b>	-0,14	0,00	0,19	-0,15	0,00	-0,03	0,00	0,12	0,00
<b>Alg</b>	0,10	0,00	0,02	0,04	-0,06	-0,01	0,00	-0,08	0,00
<b>Gir</b>	-0,26	0,00	-0,23	-0,12	0,45	0,01	0,00	0,14	0,00
<b>Hor</b>	-0,10	0,00	-0,13	-0,13	0,11	0,07	0,00	0,18	0,00
<b>Fru</b>	0,09	0,00	-0,04	-0,01	0,07	-0,06	0,00	-0,05	0,00
<b>Oli</b>	-0,14	0,00	0,02	-0,10	0,16	-0,01	0,00	-0,07	0,15
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

30%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,17	0,00	-0,05	0,01	-0,07	-0,01	0,00	-0,04	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,16	0,00	0,21	-0,11	-0,05	-0,03	0,00	0,01	0,12
<b>Alg</b>	0,04	0,00	0,01	0,01	-0,02	-0,01	0,00	-0,03	0,00
<b>Gir</b>	-0,10	0,00	-0,12	-0,06	0,25	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Hor</b>	0,07	0,00	-0,10	-0,08	-0,01	0,03	0,00	0,08	0,00
<b>Fru</b>	0,09	0,00	-0,08	-0,02	0,08	-0,05	0,00	-0,02	0,00
<b>Oli</b>	-0,05	0,00	0,00	-0,06	0,10	-0,01	0,00	-0,09	0,12
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

90%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,06	0,00	-0,03	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,04	0,00	0,11	-0,04	-0,05	-0,03	0,00	-0,02	0,07
<b>Alg</b>	0,02	0,00	0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,01	0,00	-0,05	-0,03	0,10	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Hor</b>	0,02	0,00	-0,03	-0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	0,03	0,00	-0,03	-0,02	0,05	-0,04	0,00	-0,01	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,00	-0,02	-0,03	0,05	-0,01	0,00	-0,03	0,04
<b>Res</b>	-0,10	0,00	-0,05	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,06	0,21

20%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,25	0,00	-0,07	0,01	-0,11	-0,01	0,00	-0,07	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,16	0,00	0,21	-0,15	-0,01	-0,03	0,00	0,07	0,07
<b>Alg</b>	0,05	0,00	0,01	0,02	-0,03	-0,01	0,00	-0,04	0,00
<b>Gir</b>	-0,18	0,00	-0,14	-0,07	0,33	0,00	0,00	0,07	0,00
<b>Hor</b>	0,09	0,00	-0,14	-0,10	-0,01	0,05	0,00	0,11	0,00
<b>Fru</b>	0,07	0,00	-0,06	-0,02	0,09	-0,05	0,00	-0,03	0,00
<b>Oli</b>	-0,07	0,00	0,01	-0,08	0,11	-0,01	0,00	-0,14	0,17
<b>Res</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

60%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,08	0,00	-0,03	0,01	-0,02	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,07	0,00	0,16	-0,06	-0,07	-0,04	0,00	-0,03	0,10
<b>Alg</b>	0,02	0,00	0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	0,00
<b>Gir</b>	-0,02	0,00	-0,07	-0,04	0,15	0,00	0,00	-0,02	0,00
<b>Hor</b>	0,03	0,00	-0,05	-0,05	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00
<b>Fru</b>	0,04	0,00	-0,04	-0,02	0,07	-0,04	0,00	-0,01	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,00	-0,02	-0,05	0,07	-0,01	0,00	-0,05	0,06
<b>Res</b>	-0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,05

120%	Tri	Arr	Mai	Alg	Gir	Hor	Fru	Oli	Res
<b>Tri</b>	0,04	0,00	-0,03	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,03	0,00	0,08	-0,03	-0,04	-0,02	0,00	-0,02	0,05
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	-0,01	0,00	-0,04	-0,02	0,08	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Hor</b>	0,02	0,00	-0,02	-0,02	0,01	-0,01	0,00	0,03	0,00
<b>Fru</b>	0,03	0,00	-0,02	-0,02	0,04	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,00	-0,01	-0,02	0,04	-0,01	0,00	-0,02	0,03
<b>Res</b>	-0,08	0,00	-0,04	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,05	0,20

<b>150%</b>	<b>Tri</b>	<b>Arr</b>	<b>Mai</b>	<b>Alg</b>	<b>Gir</b>	<b>Hor</b>	<b>Fru</b>	<b>Oli</b>	<b>Res</b>
<b>Tri</b>	0,03	0,00	-0,02	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Arr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	-0,02	0,00	0,07	-0,02	-0,03	-0,02	0,00	-0,01	0,04
<b>Alg</b>	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
<b>Gir</b>	0,00	0,00	-0,03	-0,02	0,06	-0,01	0,00	-0,01	0,00
<b>Hor</b>	0,01	0,00	-0,02	-0,02	0,01	-0,01	0,00	0,02	0,00
<b>Fru</b>	0,02	0,00	-0,02	-0,02	0,04	-0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Oli</b>	0,00	0,00	-0,01	-0,02	0,03	0,00	0,00	-0,02	0,02
<b>Res</b>	-0,06	0,00	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	0,00	-0,04	0,18