



30

Serie **Economía**

Efectos de la modernización de regadíos en España

Julio Berbel
Carlos Gutiérrez-Martín
(coordinadores)

Efectos de la modernización de regadíos en España

Serie **Economía** [30]

Efectos de la modernización de regadíos en España

**Julio Berbel
Carlos Gutiérrez-Martín
(coordinadores)**



Efectos de la modernización de regadíos en España

© 2017 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores

© 2017 de la edición: Cajamar Caja Rural

Edita: Cajamar Caja Rural

www.publicacionescajamar.es

publicaciones@cajamar.com

ISBN-13: 978-84-95531-83-4

Depósito Legal: AL-351-2017

Diseño y maquetación: Beatriz Martínez Belmonte

Imprime: Escobar impresores

Fecha de publicación: marzo de 2017

© **Imagen de cubierta:** Gettyimages (E+; YinYang)

Impreso en España / *Printed in Spain*

Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.

PRESENTACIÓN	09
1. Elementos clave de la modernización de regadíos <i>Julio Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín</i>	13
PARTE I. LA MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS COMO UNA DE LAS PRINCIPALES MEDIDAS DE POLÍTICA AGRARIA Y RURAL	
2. El marco jurídico de la modernización de regadíos <i>Antonio Embid Irujo</i>	25
3. La Política Agraria Común y la modernización de regadíos <i>José A. Gómez-Limón y Anastasio J. Villanueva</i>	61
PARTE II. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA MODERNIZACIÓN	
4. Costes y viabilidad económica de la modernización de regadíos en España <i>Javier Alarcón Luque</i>	97
5. La modernización del regadío español desde el punto de vista social <i>Andrés del Campo García</i>	119
PARTE III. ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA MODERNIZACIÓN	
6. Hidrología del riego: los efectos de la modernización <i>Luciano Mateos</i>	149
7. El agua subterránea en España: modernización, gestión de acuíferos y ecosistemas <i>Encarna Esteban, Daniel Crespo y José Albiac</i>	161
8. Modernización de regadíos y ahorro de agua <i>Julio Berbel, José A. Gómez-Limón y Carlos Gutiérrez-Martín</i>	185

PARTE IV. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA MODERNIZACIÓN

9. Ahorro de agua y consumo de energía en la modernización de regadíos
*Emilio Camacho Poyato, Juan Antonio Rodríguez Díaz
 y Pilar Montesinos Barrios*221
10. El riego de precisión. El nuevo desafío de los regadíos modernizados
Diego S. Intrigliolo y Juan José Alarcón251

PARTE V. REVISIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

11. Análisis crítico de la modernización de regadíos.
 Pensando el futuro: ¿cómo será el nuevo paradigma?
Joan Corominas Masip y Rafael Cuevas Navas273
12. Evolución de la productividad del agua en el proceso de cierre
 de la cuenca del Guadalquivir
Alfonso Expósito y Julio Berbel.....309
13. Perspectiva del agricultor sobre el efecto de la modernización de regadíos
 en la distribución de cultivos
Manuela Castillo, María M. Borrego-Marín y Julio Berbel.....329
14. Impacto de la modernización de regadíos sobre el uso del agua y otras variables
 socioeconómicas en comunidades de regantes de Andalucía Occidental
María M. Borrego-Marín y Julio Berbel345
15. La modernización de regadíos en la planificación hidrológica:
 el caso de la Demarcación Hidrográfica del Júcar
Teodoro Estrela Monreal355
16. La modernización del regadío en las entidades de riego valencianas.
 Efectos en el uso y costes del agua
Marta García-Mollá, Carles Sanchis Ibor y Llorenç Avellá Reus377
17. Factores que explican el desempeño de las comunidades
 de regantes modernizadas
*Francisco Alcón, Mariano Soto-García, Victoriano Martínez,
 Bernardo Martín-Górriz y María Dolores de Miguel*399
- CONCLUSIONES Y PROPUESTAS.....421
- REFERENCIA CURRICULAR DE LOS AUTORES.....433

Presentación

El sector agrario, que en 2016 ha generado un valor de más de 46.000 millones de euros, es básico para la economía y la sociedad españolas. Somos el país de la Unión Europea con mayor renta agraria, y en las últimas décadas hemos sido capaces de generar en torno a la producción primaria todo un sólido sistema productivo, en el que se incluyen la industria transformadora de materias primas en alimentos, la industria auxiliar de insumos y tecnología, las empresas de distribución y los servicios logísticos, que multiplican ampliamente la repercusión económica de nuestra agricultura.

En su conjunto, todo el sistema agroalimentario representa el 10 % del producto interior bruto español y un porcentaje aún mayor del empleo. Por todo ello, mantener un sector primario dinámico y competitivo es fundamental para conservar y potenciar todo ese conglomerado de actividades que tanto valor aporta a la economía española.

Una característica de esta actividad agraria es su dispersión territorial, que le permite contribuir, sin lugar a dudas, al mantenimiento de un tejido social vivo en las zonas rurales. La agricultura es el sector que más empleo genera en muchos municipios, constituyéndose en la base sobre la que se ha ido construyendo la estructura demográfica de los mismos. La pérdida de vitalidad y de relevancia de esta actividad sería el motivo para el desplazamiento de la población y la desertificación de las zonas afectadas. Además, unos espacios rurales tan ambientalmente frágiles, como los existentes en gran parte de España, requieren de la presencia humana para su conservación y mejora.

La superficie agraria en el país es de 17,2 millones de hectáreas, de las cuales 3,8 son de regadío. Es decir, representan el 22 % del total, pero son responsables del 77 % del valor de la producción agrícola. Frutas y hortalizas, por ejemplo, registran una producción anual de 11,1 y 14,4 millones de toneladas, respectivamente, lo que supone el 28,5 % de toda la producción europea de frutas y el 21,3 % de las hortalizas. Pero la utilidad del regadío no solo es benéfica para los

agricultores que lo emplean en sus procesos productivos. El aumento notable de los rendimientos que genera permite incrementar de manera notable la producción de alimentos, facilitando a la sociedad una oferta suficiente a unos precios asequibles.

De cara al futuro inmediato, el mayor reto del regadío español pasa tanto por el incremento progresivo de la productividad de nuestra oferta, como por la apuesta por la eficiencia y la racionalización en el aprovechamiento de un recurso tan escaso, cuyo uso abusivo puede llevar a su posible agotamiento en determinadas zonas productoras, y a poner en peligro la viabilidad de sistemas ambientales tan necesarios para nuestro bienestar como el beneficio económico que genera la comercialización.

En Cajamar Caja Rural siempre hemos tenido una relación muy estrecha y directa con el agua, como recurso básico y estratégico para la producción agraria y la actividad humana.

El origen de nuestra entidad surge en el seno del sector agrario. Nuestros primeros clientes fueron los agricultores y sus organizaciones de productores. Y nuestras primeras inversiones estuvieron dirigidas a facilitar la modernización de las infraestructuras territoriales y las estructuras de producción individuales.

Y en ese proceso de modernización de la agricultura, especialmente en el sur y el levante español, el principal factor condicionante fue la disponibilidad de suficientes recursos hídricos.

Conscientes de la importancia que tiene el agua para poder poner en cultivo tierras áridas y abandonadas, o al menos muy poco productivas, la adecuada gestión del recurso se ha convertido para nosotros en una obsesión. Para ello, además de prestar servicios financieros especializados a un sector tradicionalmente marginado por las inversiones de la gran banca, a través de nuestros centros experimentales y de nuestro Servicio de Estudios hemos trabajado para conseguir que el uso y gestión del agua fuese eficiente y sostenible en el tiempo.

A lo largo de los últimos 50 años hemos facilitado la incorporación de tecnologías que permitiesen mejorar la producción de los cultivos reduciendo el consumo de agua. De esta forma fuimos pioneros en la expansión de los sistemas de riego de precisión en las explotaciones agrarias. Trabajamos en la mejora de las prácticas culturales que permitiesen mantener o mejorar la productividad reduciendo el consumo. Y hemos conseguido triplicar los rendimientos por metro cúbico utilizado. También hemos demostrado que, para algunos cultivos leñosos, el riego deficitario permite mantener los niveles productivos, con una mejora de las cualidades organolépticas y precocidad de cosecha, y reduciendo el consumo.

Hemos realizado estudios que nos permitiesen conocer el balance hídrico de diferentes territorios, con objeto de realizar recomendaciones de gestión que eviten la sobreexplotación.

Y, por supuesto, hemos ayudado a financiar todas aquellas infraestructuras que optimizan la distribución desde las fuentes de suministro hasta los puntos de consumo. Desde la sustitución de los sistemas abiertos por otros cerrados a la incorporación de sistemas inteligentes de gestión de la demanda y la detección de pérdidas, pasando por la incorporación de las energías renovables en los procesos de bombeo.

Este libro constituye un paso más en nuestro compromiso por la cultura de la innovación y la sostenibilidad de nuestro sistema productivo. Fue Julio Berbel, catedrático de Economía, Sociología y Política Agrarias de la Universidad de Córdoba, el que nos propuso abordar el análisis de los efectos que la modernización de regadíos está teniendo en España, con una obra de referencia que contribuyera a la reflexión sobre la necesaria mejora y optimización de un recurso tan importante y tan escaso como el agua.

Desde el primer momento nos sentimos atraídos por el proyecto e iniciamos un proceso de discusión previa que tuvo como primera etapa la celebración de una jornada en nuestro Centro de Experiencias en Paiporta (Valencia), en septiembre de 2016, que contó con la participación de la mayor parte de los autores finales de la obra. La respuesta del sector de los regantes fue relevante, con una asistencia masiva y amplios debates sobre cada uno de los temas tratados.

Desde estas páginas queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a los dos coordinadores de esta obra, el ya citado profesor Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín, también investigador de la UCO, así como a los otros 28 autores que han contribuido con su conocimiento y trabajos a exponer diferentes aproximaciones sobre la modernización de los regadíos. Desde la perspectiva de las políticas agrarias y rurales al análisis de los aspectos socioeconómicos, hidrológicos y técnicos. Con la presentación, además, de varios casos prácticos de estudio.

En definitiva, en un país como el nuestro caracterizado por la escasez y la variabilidad de la disponibilidad, hacer compatible los distintos usos del agua exige de una política hidrológica de carácter nacional que permita compatibilizar objetivos como la garantía en el suministro, la determinación de los caudales ecológicos, la mitigación y adaptación al cambio climático y el aumento de la productividad. Y dentro de dicha política, la modernización de los regadíos se presenta como una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Al tiempo que se obtienen beneficios complementarios, como pueden ser la reducción de los impactos provocados por otros insumos, especialmente significativa en el caso de los fertilizantes; el aumento del valor añadido por la progresiva transformación de los cultivos hacia otros productos con mayor demanda en los mercados; y el fomento del emprendimiento y el rejuvenecimiento del sector agrario, ante las nuevas oportunidades empresariales que surgen.

La agricultura española es la base de un complejo sistema agroalimentario. Muy competitivo en el mercado global y capaz de generar empleo y actividad económica de manera dispersa en el territorio. Con la consolidación y el crecimiento de este sistema agroalimentario se contribuye a la generación de riqueza y bienestar.

Y la agricultura española es, fundamentalmente, de regadío..

Roberto García Torrente
Cajamar Caja Rural

Elementos clave de la modernización de regadíos

Julio Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín

Universidad de Córdoba

Introducción

Jano, en la mitología romana, es el dios de las puertas, los comienzos y los finales. Jano (*Janus*) es representado con dos caras, mirando al pasado y al futuro, y se le atribuye entre otras cosas la invención del dinero, la navegación y la agricultura. Jano presidía sobre el inicio y el final de los conflictos, es decir sobre la guerra y la paz. Según los romanos, este dios aseguraba buenos finales. La modernización de regadíos es una ‘puerta’ que España ya ha cruzado y que ha producido un cambio de modelo para bien o para mal. Este libro quiere mirar al pasado, al presente de los regadíos modernizados y finalmente tender una mirada al futuro que esperemos que tenga un final feliz como esperaban los romanos.

No descubrimos nada nuevo cuando afirmamos que en España el agua es un recurso que ha sido siempre escaso y que cada vez lo va a ser más. El consumo de los recursos hídricos aumenta a medida que un país se desarrolla, tanto en la agricultura como en el resto de sectores económicos, y este desarrollo presiona sobre los recursos hasta el agotamiento de los renovables y más allá cuando se empiezan a explotar reservas fósiles (minería del agua subterránea) o se afectan ecosistemas dependientes de aguas superficiales o subterráneas. Esta evolución de los sistemas hacia el ‘cierre’ hidrológico y administrativo se acentúa y toma tintes dramáticos cuando aparecen periodos de sequía, evento que suele provocar cambios normativos y acciones de política para adaptarse al incremento de escasez que provocan.

La modernización de regadíos es una de esas respuestas políticas que surgen como reacción a la crisis de oferta estructural (falta de recursos para atender la demanda existente), que se acentúa con las crisis coyunturales (sequías). Esta medida ha sido para España una gran apuesta para resolver el déficit estructural del recurso y simultáneamente conseguir una agricultura

competitiva y rentable a través de la mejora de la eficiencia del uso del agua de riego. Esta medida ha supuesto un enorme esfuerzo inversor, tanto de fondos públicos como privados. En consecuencia, este libro se plantea tres objetivos:

- Revisar el marco técnico e institucional de la modernización de regadíos.
- Analizar las consecuencias cuantificables de la modernización en España.
- Prever el futuro de la modernización tanto para las nuevas actuaciones como para la evolución de las que ya han sido terminadas.

I. La modernización de regadíos como una de las principales medidas de política agraria y rural

La política de modernización se enmarca en la política de aguas y simultáneamente en la política de desarrollo rural, de manera que ambas se entremezclan en esta medida de manera indisoluble. Podría parecer en principio que la medida es una consecuencia de la aplicación de la Ley de Aguas¹ en el sentido de dar cumplimiento al *Artículo 40. Objetivos de la planificación hidrológica* que plantea la necesidad de satisfacer las demandas de agua manteniendo el buen estado ecológico de las masas de agua, incluyendo para ello el método de ‘economizar su empleo’.

No obstante lo anterior, y dado que el regadío tiene como característica en España la de producir más del 60 % de la PFA, ocupando el 15 % de la superficie agrícola útil y dando empleo al 4 % de la población española, es obvio que una política que afecte al regadío, claramente incide sobre el sector más competitivo de la agricultura española, responsable de la mayor parte de las exportaciones y con un efecto multiplicador mayor de sus producciones en la industria y servicios asociados que la agricultura de secano, que ocupa el restante 85 % del territorio.

Por todo ello, parece justificado que la medida de modernización se planteara inicialmente con los siguientes objetivos de manera más o menos explícita:

¹ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2001): Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. «La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medioambiente y los demás recursos naturales».

- Mejorar la eficiencia en el uso del agua.
- Potenciar un sector agrícola competitivo y rentable.
- Crear empleo en el medio rural.
- Mejorar la calidad de vida del agricultor.

No obstante, a pesar de lo anterior, el capítulo 2 elaborado por **Antonio Embid** profundiza en el marco normativo que ampara la medida, dejando patente que el marco legal ha evolucionado en el largo periplo recorrido por la modernización, adoptando perfiles y objetivos distintos según el momento en el que se han ido aprobando. Como desarrolla en este capítulo, la normativa relativa a modernizaciones ha ido evolucionando con el tiempo y un ejemplo se encuentra en la reducción de derechos de riego concesionales como contrapartida a la financiación pública que la modernización implica. Las primeras modernizaciones recogían ya esta obligación en los planes hidrológicos del Guadalquivir y las cuencas internas andaluzas en el primer ciclo de planificación, y posteriormente esta reducción de derechos se recoge como obligatoria en los planes del Júcar y Guadiana², de este modo la mayoría de las cuencas con problemas de escasez ya plantean la reducción de concesiones. El caso del Segura merece tratamiento aparte, ya que al ser la mayoría de los riegos deficitarios (es decir, las concesiones están por debajo de las necesidades hídricas), la modernización no ha llevado aparejada la reducción de derechos.

Las relaciones entre la política agraria y la de aguas se tratan magistralmente por **Gómez-Limón** y **Villanueva** en el capítulo 3, que repasan el nexo agricultura-agua y las limitaciones y oportunidades que el nuevo marco de ayudas FEADER supone para la modernización de regadíos en el nuevo ciclo de planificación. En su trabajo se analiza la integración de la modernización de regadíos con las prioridades y objetivos de la política europea (impacto positivo sobre la eficiencia energética, la resiliencia de los sistemas de regadío frente a la escasez creciente y los eventos extremos asociados al cambio climático, y el ahorro de agua) y se hace evidente el encaje de esta política dentro de la estrategia general de cohesión Europa 2020.

² Un ejemplo de esta disposición se encuentra en P. H. del Guadiana que recoge en su Artículo 22. *Medidas relativas a las concesiones para riego*. Se adoptarán como medidas para la mejora y eficiencia de los sistemas de regadío las siguientes: [...] b) en el caso de modernizaciones de regadíos con inversión pública en parte o en su totalidad [...] el incremento de recurso disponible obtenido será destinado, según proceda, a superar las infradotaciones existentes, a la mejora de la garantía de suministro, al incremento de reservas, o al cumplimiento de las restricciones ambientales, y nunca a un aumento de la superficie con derecho a riego. En el caso de modernizaciones de regadíos con inversión totalmente privada, el incremento de recurso disponible que se acredite, será destinado en al menos un 50 % a superar las infradotaciones existentes, a la mejora de la garantía de suministro, al incremento de reservas, o al cumplimiento de las restricciones ambientales, y el otro 50 % podrá destinarse a un aumento de la superficie con derecho a riego.

II. Aspectos socioeconómicos de la modernización

La modernización de regadíos ha sido una medida de gran importancia en muchos planes de cuenca y tiene esta característica a escala nacional y que se va detallando en los distintos capítulos de este volumen. **Javier Alarcón**, en el capítulo 4, aporta datos fundamentales para poder analizar las actuaciones de modernización en el periodo 2002-2015:

- La inversión media ha sido de 6.480 euros/ha.
- Cerca de 2 millones de hectáreas de regadío han cambiado de sistema de riego.

Por otra parte, **Andrés del Campo** en su trabajo, en el capítulo 5, comenta, entre otros, los siguientes datos sobre la modernización:

- Se estima un ahorro de extracciones de 1.925 hm³ anuales.
- Ha permitido pasar de tarifa 'plana' por hectárea a tarifa volumétrica.
- Ha incrementado los costes de operación y mantenimiento en unos 270 euros/ha.
- El coste del agua a los regantes se ha incrementado una media aproximada del 200 %, principalmente mantenimiento de redes y energía y la parte de inversión que asume el sector privado.

Estos valores de coste/eficacia en ahorro bruto coinciden con los que aportan estudios coste-eficacia ya publicados, como el dato que aporta el Plan Hidrológico del Júcar, que resume las alternativas para aumento de la garantía del recurso³ en un coste por volumen bruto de 0,24 euros/m³ para la modernización de regadíos, 0,29 euros/m³ para reutilización, 0,34 euros/m³ para recursos convencionales y 1,03 euros/m³ para desalación. Estos valores cambian al hablar en términos netos.

Los valores que resultan del análisis a escala nacional con las cifras que aportan los autores que participan en este volumen arrojan un valor medio de coste anual equivalente (CAE a 5 %, 30 años) de aproximadamente 0,20 euros/m³ de extracciones ahorrado (0,14 euros/m³ la parte de inversión

³ Memoria Programa de Medidas D. H. JÚCAR. Anejo 10; p. 154. Plan en http://www.chj.es/descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ_Anejo10_PdM.pdf.

y 0,06 euros/m³ la componente variable). La pregunta que va a intentar hacer este libro es si esta inversión ha valido la pena, y esperamos ser capaces de responderla con la ayuda de los colaboradores.

III. Aspectos hidrológicos de la modernización

La hidrología del riego se refiere a los aspectos de los agroecosistemas de regadío específicamente relacionados con el agua. **Luciano Mateos**, en el capítulo 6, desarrolla de manera completa y al mismo tiempo didáctica el concepto de eficiencia, que la Comisión Europea (EEA, 2012) tantas veces ha empleado a favor y en contra del regadío español, para señalar que requiere de una serie de definiciones previas donde se establezcan los límites del sistema que se está analizando (parcela o cuenca) y la importancia de la reutilización de los flujos de retorno. Se aportan en el trabajo el estudio de tres casos emblemáticos de sistemas agrarios basados en la explotación de recursos superficiales y se analiza asimismo la sostenibilidad de los recursos subterráneos.

En el trabajo de Mateos se revisa la distinción entre agua usada (agua extraída y aplicada a la parcela) y agua consumida (principalmente, agua evapotranspirada). Se plantea por este autor la necesidad de cambiar hacia un paradigma que requiere adaptar los mecanismos legales y mercantiles, y los métodos de monitorización, para basarse en la medida de la evapotranspiración, algo que hoy es posible gracias a los avances en la teledetección.

En el capítulo 7, **Encarna Esteban**, **Daniel Crespo** y **José Albiac** profundizan sobre el papel de las aguas subterráneas y en cómo los problemas de escasez y contaminación de los recursos hídricos son especialmente relevantes en el caso de los acuíferos, donde la mayoría de los grandes sistemas han visto importantes caídas en sus niveles freáticos y problemas de contaminación y salinización. Es urgente completar la información sobre las extracciones y mejorar la gobernanza de estos recursos para evitar su total deterioro, y en muchos casos desaparición.

Julio Berbel, **Carlos Gutiérrez-Martín** y **José A. Gómez-Limón** repasan, en el capítulo 8, el concepto de «efecto rebote» que ha aparecido recientemente en el debate de política de aguas y que proviene del mundo de la economía de la energía. Se conoce como efecto rebote la situación en la que una mejora de la eficiencia en el uso del agua, que debería estar destinada a un ahorro del recurso, resulta en un incremento en el consumo a nivel de cuenca. Estos autores revisan la evidencia publicada sobre el tema e intentan analizar

los factores que explican la situación en la que la modernización de regadíos podría aumentar el consumo de agua respecto a la situación anterior y proponen las medidas que deberían adoptarse en estos casos, para evitar este posible efecto no deseado de la modernización.

IV. Aspectos técnicos de la modernización

Como ponen de manifiesto **Emilio Camacho**, **Juan Antonio Rodríguez Díaz** y **Pilar Montesinos** en el capítulo 9, el concepto de modernización ha ido evolucionando pasando de una simple ejecución y mejora de infraestructuras y equipamientos de las zonas regables a la necesidad de ampliar este concepto con la mejora de su gestión implementando sistemas de control, automatización y asesoramiento especializado. Esta nueva etapa se ha denominado la «segunda modernización». En su trabajo se analiza el nexo agua-energía y el cambio de sistema que supone la modernización por el aumento de consumo energético que sustituye sobre todo a trabajo humano y extracción de agua.

Por su parte **Diego Intrigliolo** y **Juan José Alarcón** profundizan en este tema en el capítulo 10, revisando la actualidad y el futuro del riego de precisión, resumiendo las soluciones, fundamentalmente agronómicas, que están hoy día disponibles para optimizar un uso del agua que permita ajustar la programación del riego a las necesidades hídricas de la planta y a la textura y profundidad de los suelos empleados.

V. Revisión de casos de estudio

El volumen se completa con una serie de casos de estudio muy relevantes que sirven de anclaje en la realidad concreta española. **Joan Corominas** y **Rafael Cuevas** revisan el caso andaluz en el capítulo 11, con una visión muy amplia en el dominio espacial (1997-2015) y territorial; Andalucía, que es la primera comunidad en términos absolutos de superficie regada con 1.064.771 ha, el 29,3 % del total de la superficie nacional regada (datos de MAGRAMA, 2015). Adicionalmente, en su trabajo se hace un análisis crítico del paradigma actual de los regadíos y de la modernización y se hacen unas propuestas de cambio para asegurar la sostenibilidad ambiental y financiera de los sistemas agrarios.

Andalucía es la región donde mayor superficie se ha modernizado (575.000 ha hasta 2015) casi un 40 % del total nacional, lo que explica que

vuelva a aparecer como caso de estudio en tres trabajos adicionales: por una parte, **Alfonso Expósito** y **Julio Berbel** analizan, en el capítulo 12, el papel de la modernización en el proceso de cierre de la cuenca del Guadalquivir y el aumento de la productividad del agua.

Por su parte, **Manuela Castillo**, **María del Mar Borrego-Marín** y **Julio Berbel** analizan, en el capítulo 13, el impacto de la modernización a partir de un análisis basado en las percepciones y comportamiento de los agricultores de zonas regables de Andalucía, mientras que **María del Mar Borrego-Marín** y **Julio Berbel**, en el capítulo 14, lo hacen a partir de un análisis derivado a escala de comunidad de regantes, también en esta zona de España.

El análisis territorial se completa afortunadamente con un estudio a escala de la Demarcación del Júcar que presenta **Teodoro Estrela** en el capítulo 15 y que aporta datos muy relevantes del impacto de esta medida en el Plan Hidrológico y las masas de agua de dicha demarcación. Este trabajo se complementa con el análisis que **Marta García Mollá**, **Carles Sanchis Ibor** y **Llorenç Avellà Reus** hacen en el capítulo 16 de Comunidades de Regantes de la Comunidad Valenciana pertenecientes a esta Demarcación.

La Cuenca del Segura está representada en el capítulo 17 de **Francisco Alcón** y colaboradores de la ETSIA de Cartagena, que hacen un detallado estudio de las variables tecnoeconómicas más relevantes de las CCRR modernizadas.

Agradecimientos y justificación

En este libro cada autor reflexiona en un aspecto clave de la modernización de regadíos, que es probablemente la medida más importante desde el punto de vista económico y técnico en la política de aguas española en este siglo XXI, y probablemente la medida, que junto con la propia PAC, más impacto ha tenido en el mundo rural y agrario español. Cada autor ha reflexionado, tanto profesional como humano, aportando su experiencia y su punto de vista. Las visiones son complementarias y en algunas ocasiones pueden existir discrepancias, ya sean de matiz o de fondo, aunque son muchas más las coincidencias.

La gestión de un recurso cada vez más escaso, como es el agua, requiere de la integración de los conocimientos agronómicos, hidrológicos, institucionales, económicos, sociales y tiene unas consecuencias determinantes para la política ambiental, rural y agraria de un territorio y una sociedad.

Como editores hemos solicitado a los autores que cubran los aspectos fundamentales para los que existía poca información disponible en el momento de organizar este trabajo. Esperamos que este libro arroje luz sobre los cambios que han transformado el mundo del regadío español, así como que hayamos puesto de manifiesto las carencias de conocimiento.

En la selección de los autores ha pesado el conocimiento que los editores hemos tenido de las publicaciones y experiencia de los expertos. Hemos dejado fuera inevitablemente muchas voces autorizadas que habrían añadido riqueza al debate, por lo que lamentamos que aunque ‘todos los que están’ en este volumen tienen algo de decir, seguro que hemos dejado a alguien que querría haber aportado su visión. Animamos a que este libro, que con la ayuda de Cajamar tendrá una amplia difusión, sirva de catalizador para animar el análisis de esta importante medida de política de aguas y rural que ha sido, y sigue siendo, la modernización de regadíos.

Por último, la realización del trabajo de los editores ha sido posible gracias a la financiación proporcionada por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto de investigación EVAMODRE (AGL2014-53417-R), así como a la ayuda de Cajamar.

Referencias bibliográficas

EEA (2012): *Towards efficient use of water resources in Europe*. Luxemburgo, European Environmental Agency.

**I. LA MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS
COMO UNA DE LAS PRINCIPALES MEDIDAS
DE POLÍTICA AGRARIA Y RURAL**

El marco jurídico de la modernización de regadíos

Antonio Embid Irujo*

Universidad de Zaragoza

1. Introducción

El título del trabajo resume de forma muy simple su objeto. Sin embargo, su realización no es tan sencilla porque nos encontramos ante un tema que no ha sido merecedor nunca, ni antes ni ahora, de un tratamiento jurídico medianamente sistemático. Las referencias normativas a la modernización de regadíos se encuentran originalmente (y aún sigue, en el fondo, siendo así, pues las convocatorias de ayudas específicas para la modernización de regadíos son muy importantes, al mismo nivel de las normas más generales que se van a ir recorriendo en este trabajo) en normas sobre ayudas económicas a los titulares de las tierras que van a ser modernizadas (la técnica clásica del fomento), con todo lo que ello significa: atención fundamental a los aspectos de financiación y consiguiente dejación, consciente muchas veces, de cuestiones competenciales, de organización administrativa, de «régimen jurídico», en suma (derechos, obligaciones, procedimiento de adopción de acuerdos en órganos colectivos como las comunidades de regantes, etc.), faltando, incluso, una definición normativa de lo que sea el contenido de la «modernización»¹.

Lo que indico en el párrafo anterior no es sino una constatación inicial² que debe ser completada, inmediatamente, con referencias más concretas a la

* Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Investigación DER2015-66045-P otorgado por el Ministerio de Economía y Competitividad y en las actividades desarrolladas dentro del Instituto Universitario de Ciencias Ambientales de la Universidad de Zaragoza. Igualmente debe entenderse comprendido dentro de las actividades a que se dedica el Grupo Consolidado de Investigación Agudema, financiado por el Gobierno de Aragón y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

¹ Las normas de financiación en el ámbito agrario –al margen o incluyendo la modernización– son muy tradicionales, tanto en el ámbito del Estado como, más modernamente, en el de las CCAA. Y normalmente se caracterizan por ese esquematismo de su marco jurídico lo que en actuaciones distintas de la modernización no ha solido traer excesivas complicaciones. En relación a la Comunidad Autónoma de Aragón estudio la situación en Embid Irujo (2014).

² Constatación que aparece en los trabajos de muchos autores que tratan de estas cuestiones, y no son solo juristas. *Vid.*, por ejemplo, el *Boletín Informativo* n.º 14, de septiembre de 2003 de Riegos del Alto Aragón; Abad Piracés (2011, p. 439) y Ballarín (2007, pp. 220 y ss.). Naranjo Chicharro (2010, p. 22), que es ingeniero, indicará con gran sinceridad que «los problemas jurídicos surgen por la falta de legislación específica sobre la modernización, dado que la Ley de Aguas vigente no contempla este aspecto. De todas formas *ya se han desarrollado ponencias monográficas a este respecto por lo que este aspecto está muy debatido*» (el resalte tipográfico es mío).

ausencia de tratamiento normativo sustantivo³ de la modernización en la Ley (o legislación) de Aguas y, por supuesto, en la mayor parte de las normas relativas a la regulación de la actividad agrícola. En ambos casos, además, los titulares de la potestad normativa pueden ser tanto el Estado como las distintas CCAA si bien y en función de los concretos criterios de reparto competencial, la Ley de Aguas estatal (que hoy es el TRLA de 2001 con sus numerosas modificaciones) podría operar, en función de razones fácticas, mucho más como legislación unificadora (unificadora, básica) que la legislación agraria en la que las posiciones competenciales de Estado y CCAA son mucho más equilibradas⁴.

Pero es que, además de no existir una normativa de referencia que tenga ese tratamiento sistemático sobre cuya ausencia llamo la atención, los preceptos aislados o normas de financiación que sobre el particular han aprobado el Estado o las CCAA no han estado excesivamente coordinados, por lo menos en la mayor parte de la perspectiva de evolución histórica que podemos tener (remito al apartado 3 donde se hará un breve relato histórico de la modernización de regadíos), falta de coordinación que se corresponde también con la ausencia de sincronía entre las distintas Administraciones (estatal y autonómica) aun cuando quizá esto último ha podido cambiar en los últimos años, al decir de los especialistas sobre la materia, lo que es un dato positivo a resaltar⁵.

Una normativa que se puede calificar, por tanto, de fragmentaria y asistemática y que, por otra parte, ha evolucionado en el largo periplo recorrido por la modernización, adoptando perfiles y objetivos distintos según el tiempo en el que se ha ido aprobando. Por ejemplo y desde mediados de la primera

³ La palabra «sustantivo» se utiliza con conciencia de su significado. Puede haber preceptos que, tangencialmente, puedan referirse a trámites a tener en cuenta en la modernización, pero no hay ningún precepto dedicado expresamente a esta materia ni, por supuesto, división estructural alguna que aun indirectamente pueda ser referida a ella. Sí puede recordarse la modificación que se hizo del RDPH mediante el RD 606/2003, para introducir en su art. 201.8 un apartado 6 destinado a facilitar los acuerdos en las CRRR y la ejecución de los proyectos de modernización. Lo transcribo simplemente: «Con independencia de lo establecido en su régimen estatutario, es obligatorio para todos los comuneros el pago de la parte que les corresponda de todas las obras que la comunidad acuerde realizar, entre ellas las correspondientes a mejoras y modernizaciones de regadío. Todo comunero se verá obligado a adecuar la utilización de las aguas a los procedimientos que estas obras o instalaciones pudieran exigir».

⁴ No es este el lugar para entrar en disquisiciones competenciales ni tampoco en la cita de doctrina sobre tan compleja cuestión. Baste con indicar que lo que se escribe en el texto se basa en que la mayor parte del territorio español pertenece a cuencas intercomunitarias y, por tanto, de competencia normativa y de gestión del Estado tal y como se estableció por la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas y se rubricó por la STC 227/1988, de 29 de noviembre, Sentencia indiscutida y confirmada varias veces posteriormente. En relación a la materia agricultura, que no aparece expresamente nombrada en la Constitución, todos los EEAA atribuyen competencias exclusivas a las correspondientes CCAA. Obviamente sin perjuicio de las competencias de ordenación económica general del Estado, con base en el art. 149.1.13 CE. Y todo esto sin referirse a las importantísimas competencias de la UE en materia de agricultura y que se mencionan a continuación en el texto y en otras partes de este trabajo.

⁵ Esa es la autorizada opinión de Naranjo Chicharro (2010, p. 9) que con referencia al RD 287/2006 que luego se comenta indica que «es la primera vez que dos administraciones unen la totalidad de sus efectivos técnicos y presupuestarios, para alcanzar un fin: la modernización de nuestro sistema de riego».

década del siglo XXI, es el «desarrollo rural» y no, estrictamente, la política agrícola quien preside el conjunto normativo sobre la cuestión⁶.

La complejidad de la cuestión se acrecienta, además, si se considera que desde antiguo han sido normas europeas las que han debido también tenerse en cuenta (sobre todo desde la perspectiva de la financiación de las actuaciones de modernización mediante programas europeos y regulando las condiciones para poder acceder a ella) como líneas directrices del conjunto del sistema normativo, lo que podrá entenderse claramente si se recuerda que la política agraria es una de las fundamentales actuaciones (políticas) de lo que llamamos ahora Unión Europea por la previa cesión de competencias en el plano agrícola que hacen los Estados a las instituciones europeas. Hoy en este plano europeo está vigente el Reglamento (UE) n.º 1305/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 1698/2005 del Consejo (DOUE L. 347/487, de 20 de diciembre de 2013).

En todo caso debe resaltarse también que los principales estudios y consideraciones, en general, sobre la modernización de regadíos han procedido del campo técnico o económico, no del jurídico. Los escasos estudios jurídicos existentes han aparecido en un momento relativamente tardío, acuciados o estimulados por las múltiples dificultades que, en la práctica, llevaba la ausencia o, en su caso, las contradicciones de la regulación; y dificultades que solían desembocar en múltiples conflictos sociales y hasta judiciales. La vida, por ejemplo, de bastantes CCRr en las que se han planteado proyectos de modernización ha resultado profundamente alterada, con variados conflictos entre los partidarios y los contrarios a ellos, conflictos que también en muchas ocasiones han sido residenciados ante los tribunales lo que ha llevado consigo que hasta dictar sentencia (y al margen de su contenido, que eso es otra cuestión) el proceso de modernización quedaba interrumpido cuando no, en ocasiones también, se tenía que dar por concluido⁷.

En todo caso, y a pesar de esas insuficiencias, el estudio de la modernización de regadíos, contemplado desde una óptica de evolución histórica, es enormemente atractivo pues a la par que se estudian los desarrollos norma-

⁶ Estoy pensando en la Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural, que responde a la evolución del derecho europeo sobre lo que me pronuncio justo a continuación en el texto.

⁷ Recuérdese lo que antes he mencionado acerca de la introducción en el art. 201.8 RDPH por el RD 606/2003, de un párrafo destinado a facilitar la asunción de obligaciones de pago por parte de los miembros de las CCRr como consecuencia de la aprobación de proyectos de modernización.

tivos (otra vez remito al apartado 3) es posible ir siguiendo, de su mano, la evolución de los principales vectores ideológicos y técnicos que se mueven en el ámbito de las políticas hídricas y agrarias. De esa forma es estimulante para el investigador el contemplar cómo se pasa de una mera referencia inicial al ahorro de agua y a la competitividad necesaria (y efectiva) del regadío que se conseguiría a través de la modernización, a observar cómo las normas apoyan las actuaciones de utilización de aguas regeneradas en el ámbito del regadío⁸, la inserción de las consideraciones energéticas, la llamada a la utilización de energías renovables para intentar reducir la tarifa en las actuaciones de modernización, y todo ello enmarcado en una defensa conservacionista del agua⁹ y en la profundización de lo que significa la planificación hidrológica y agraria.

En este último plano conviene indicar que la planificación hidrológica aparece configurada de una forma normativa, como técnica superadora de la tradicional perspectiva planificatoria de una mera agregación de obras hidráulicas que fue el rasgo distintivo inicial de la dicha planificación¹⁰. La planificación agraria, por su parte, existe en este ámbito de una forma mucho más limitada¹¹ y en este plano de lo agrario ya he llamado la atención con anterioridad en este trabajo sobre la inserción de las políticas de modernización de regadíos dentro de lo que se denomina hoy «desarrollo rural»¹².

También, en este apartado introductorio y en la observación que en él se produce de la escasa densidad del ordenamiento jurídico específico de la modernización, debe llamarse la atención sobre la vinculación entre la ordenación normativa de la modernización de regadíos y la regulación de las situaciones de sequía. En ocasiones por la simple vinculación razonada de una regulación a una situación de escasez de agua existente y, en otras, por

⁸ Cfr. desde el punto de vista jurídico a Erruz (2011); en plano sustancialmente económico Berbel *et al.* (2014).

⁹ En algunas normas de modernización se hará una llamada específica al principio de «utilización racional de los recursos naturales» que se menciona en el art. 45 CE. Esta vinculación entre consideraciones hídricas, energéticas y agrarias es lo que se conoce en la literatura especializada como «nexo» entre agua, energía y alimentación y constituye, en la actualidad, uno de los ámbitos más fecundos de reflexión en el plano de la economía, la técnica y el derecho. Sobre la situación *vid.* Embid Irujo y Martín (2016).

¹⁰ Sobre el significado de la planificación hidrológica para la Ley de Aguas de 1985 en la perspectiva que se indica en el texto, Embid Irujo (1991). Como se observará por la fecha de la publicación, en el marco exclusivo de la contemplación del derecho español de tal técnica. La posterior DMA (2000) y su desarrollo no hará otra cosa sino incrementar estas referencias al valor de la planificación y a la conservación del agua. Esta vinculación entre planificación y modernización de regadíos aparece ya en el PHN presentado como Anteproyecto en 1992-1993 y Baltanás (1993) llama la atención sobre ello. Sobre esa conexión *vid.* también Sumpsi y otros (1998, pp. 217 y ss.).

¹¹ Baste ahora con referirse al PNR de 2002 más considerado en el apartado 3 de este trabajo. El RD contiene una serie de normas para hacer efectivo el PNR que habría que pensar que está constituido (además de por todos los estudios previos que se realizaron) por las decisiones sobre programas e inversión que se contienen en dichas normas y en los distintos Anejos que lleva consigo el RD.

¹² Perspectiva de desarrollo rural cada vez más visible y desde distintos ángulos. Por ejemplo y desde la perspectiva de la organización administrativa, en Aragón, el «viejo» Departamento de Agricultura» se llama hoy «Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad», reuniendo las competencias de Agricultura con las de Medio Ambiente.

cómo en estas situaciones de sequía¹³ se aprobaban normas extraordinarias que permitían, además de otras intervenciones administrativas, la realización de actuaciones de modernización y, por tanto, de ahorro de agua¹⁴. Y ello aun cuando no es la mejor técnica y forma de proceder posible, pues las actuaciones en esas situaciones extraordinarias necesariamente se van a realizar y concluir en períodos en que la situación de sequía ya se habrá superado. Eso lleva consigo que la posibilidad de que se aprueben proyectos no suficientemente estudiados previamente en el plano técnico y de, incluso, dudosa o cuestionable rentabilidad ambiental y económica, puede estar mucho más presente por esta forma de proceder que en las regulaciones que podríamos calificar como de «normales», o sea, al margen de situaciones coyunturales (si es que en España puede hablarse propiamente de «coyuntura» en relación a las constantes y periódicas sequías). En todo caso no puede negarse lógica profunda a esta regulación de la modernización vinculada a la sequía pues, dado el alto porcentaje de recursos hídricos utilizados en la agricultura (en torno al 70-80 % del total), siempre será en la agricultura de regadío a donde deba ir a buscarse la posibilidad de ahorrar recursos (para redistribuir el ahorro producido) y no tendría sentido (tampoco económico) hacerlo a partir de los abastecimientos urbanos o de los usos industriales, con independencia de que siempre será posible realizar ahorros en otras utilidades distintas de la agraria, aunque seguro que no serán significativas cuantitativamente y, por tanto, no especialmente atractivas frente a las provenientes de la agricultura de regadío en momentos de apremio.

De cualquier manera, sí que debe llamarse la atención sobre esa vinculación normativa repetidamente constatable entre sequía y modernización así como sobre el hecho curioso de que en ocasiones también, esas normas regulen al tiempo, o en momentos temporales muy próximos, facilidades y excepciones, frente a la regulación general y, por tanto, teóricamente permanente,

¹³ Las dos grandes sequías que podríamos señalar desde la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, son la de 1991-1995 y la de 2005-2009. Como veremos en la parte de evolución histórica (3) en la primera se origina la regulación de la modernización de regadíos y en la segunda se adoptan importantes decisiones para la aceleración de los proyectos de modernización.

¹⁴ Los ejemplos a citar son variados y volveré sobre esta cuestión en el trabajo. Ahora querría referirme solo a unas significativas frase del preámbulo del RD 287/2006 que más tarde se cita por entero y que es más conocido como «Plan de choque»: «ante esta situación se hace imprescindible actuar de la manera más urgente posible en la mejora, consolidación y modernización de regadíos con objeto de conseguir una reducción de los consumos unitarios asociados y, complementariamente, conseguir que la incidencia agregada sobre el sector de la reducción en la disponibilidad de agua sea la menor posible».

de instituciones también muy modernas en el plano del derecho de aguas, como todo lo relativo al «mercado del agua»¹⁵.

Concluyo ya esta pequeña introducción constatando cómo la modernización de regadíos ha sido objeto de valoración positiva por parte de sus principales protagonistas, los agricultores y sus instituciones de representación, las CCRR, lo que no puede dejar de señalarse teniendo en cuenta que en esas mismas publicaciones donde se contienen las valoraciones positivas existen, también, reproches por la deficiente instrumentación jurídica de la técnica¹⁶. Aspiro en las páginas que siguen a ofrecer una presentación sistemática de una normativa que no siempre aparece así.

2. El concepto de modernización en el plano de la técnica y de su tratamiento jurídico. Referencias al ahorro de agua como uno de los objetivos de la modernización y su papel definitorio en el concepto

Una de las cuestiones que llama la atención en la aproximación a la ordenación jurídica de la modernización de los regadíos es que no existe una definición normativa de lo que se entienda por tal. Incluso puede observarse cómo en el mismo plano que el concepto de modernización aparecen también otros vocablos como los de mejora o consolidación de regadíos¹⁷, vocablos que, al menos, en términos semánticos podrían tener otra significación pero que las normas que trato aquí suelen utilizar de forma equivalente, al menos en apariencia.

¹⁵ Sobre el particular *vid.* Embid Irujo (2011, pp. 23 y ss.) y toda la bibliografía allí citada. Se llama la atención, especialmente, sobre las regulaciones especiales que surgen por medio del Real Decreto-ley 15/2005, de 16 de diciembre, de los «contratos de cesión de derecho de uso de aguas», para afrontar la sequía que parte en ese año y durará hasta 2009, con normas que, por cierto, se van reiterando año tras año. Ese Real Decreto-ley está muy próximo al Real Decreto-ley 10/2005, de 20 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los daños producidos en el sector agrario por la sequía y otras adversidades climáticas, y en el que se encontrarán medidas sobre la realización de obras de modernización de regadíos que luego relataré en el apartado 3. En el Real Decreto-ley 14/2009, de 4 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en determinadas cuencas hidrográficas, es el mismo texto el que regula excepciones a la regulación general del mercado del agua y también actuaciones de modernización de regadíos. Por cierto que cosa semejante ha sucedido con las últimas (temporalmente hablando) normas de sequía: el Real Decreto 355/2015, de 8 de mayo, por el que se declara la situación de sequía en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar y se adoptan medidas excepcionales para la gestión de los recursos hídricos (BOE núm. 111, de 9 de mayo de 2015) y el Real Decreto 356/2015, de 8 de mayo, por el que se declara la situación de sequía en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Segura y se adoptan medidas excepcionales para la gestión de los recursos hídricos (BOE núm. 111, de 9 de mayo de 2015).

¹⁶ Cfr. Abad Piracés (2011, p. 2) o Del Campo García (2011, p. 423).

¹⁷ Y también en ocasiones el consabido de la «racionalización» (*vid.* art. 1 del RD 678/1993) que en la actual crisis económica hemos visto aplicado a tantas circunstancias y políticas, a veces no tan racionales como podría pensarse. Las palabras «consolidación y mejora» pueden verse, entre otros textos normativos, en el RD 329/2002, que es, quizá, el más importante y significativo de la serie de textos que se estudiarán en el epígrafe III, consolidación y mejora que acompañan al concepto de «modernización».

Y los planteamientos conceptuales son siempre importantes en derecho. El jurista lo es y afirma su existencia útil en cuanto maneja conceptos, o sea, lenguaje. No lo hace por afición diletante sino por auténtica necesidad. Las definiciones de los conceptos no son nunca inocuas, sino que sirven para, a través de las mismas, postular la aplicación o inaplicación a concretas circunstancias de determinados preceptos o técnicas jurídicas. Y en un ámbito normativo como el que tratamos, respecto al que desde las primeras líneas del trabajo he advertido de la importancia de la regulación económica que contiene (la financiación de las actuaciones de modernización, o sea las subvenciones que pueden recibir los particulares), parece claro que el interés de llevar a cabo unas definiciones correctas va a ser más que necesario, pues si alguna pretensión de actuación puede corresponder al contenido de la modernización, ello llevará consigo también una pretensión legítima de financiación, pero no en el caso contrario. Se trata, por tanto, de unas reflexiones más que adecuadas desde el punto de vista de la aplicación del ordenamiento jurídico que aquí se está considerando.

A falta de planteamientos normativos ese trabajo de depuración conceptual puede observarse en algunos autores (técnicos) que han tratado de estas cuestiones y cuyas aportaciones voy a recoger a continuación.

Así debo comenzar señalando el trabajo de Horta (1998, p. 91) que indica que por modernización debe entenderse «el conjunto de actuaciones legales, financieras, constructivas y de formación que, de manera separada o conjuntamente, consigan: incrementar la eficiencia en el uso del agua, incrementar la eficiencia energética, incrementar la eficiencia económica, incrementar la eficiencia ambiental». Modernización, por tanto, como resultado agregado de actuaciones en distintos frentes, incluyendo el legal o normativo (que pienso que el autor considera equivalente a «jurídico», que sería más apropiado aquí), en el que el concepto «eficiencia» es el núcleo básico y que se extiende al plano energético, económico y ambiental. En este mismo sentido de referencia a la «eficiencia» hay que citar la aportación de Berbel *et al.* (2014) que hablan de la modernización como algo referible a «...la mejora de la eficiencia, flexibilidad y fiabilidad de los sistemas de aplicación del riego».

Obviamente cualquiera puede sentirse insatisfecho con esta mera referencia a la eficiencia que es un término esencialmente relativo y que exige un determinado predicado, si bien hay que indicar que el propio Horta (1998) suma inmediatamente precisiones en las que entra en aspectos más sustantivos. Así, habla de un límite inferior y superior del concepto de moderniza-

ción. El inferior estaría referido a la «mera reposición de las infraestructuras existentes con materiales actuales y quizás con técnicas constructivas de alto rendimiento» y el superior por «el conjunto de actuaciones que conducirían a la zona en cuestión a un nivel de modernización tal que, en la práctica, equivaldría al de una zona de nueva creación, o dicho de otra manera, proyectada de tal forma que se alcanzaran en su grado máximo la eficiencia en el uso del agua, la energética, la económica y la ambiental, lo que en la práctica se suele concretar en una transformación en riego a presión». La consecuencia a sacar de este planteamiento más amplio, es que modernización no equivale solamente, en absoluto, a actuaciones materiales (obras, infraestructuras) sino que hay también otro tipo de actuaciones (que no se precisan expresamente por Horta) pero que darían un resultado de las tierras sometidas a modernización aparentemente semejante al que tendría la creación de un nuevo regadío. Osea, la técnica de la modernización equivaldría, en sus resultados finales, a la de la transformación. Habría que añadir, precisando, que estaríamos ante una transformación «moderna» y no como las transformaciones que se hicieron en el pasado de determinadas tierras y que son las que ahora exigen una «modernización» (o consolidación, o mejora, o racionalización).

En ese sentido de actuaciones no solo materiales sino también de otro tipo es necesaria la referencia al trabajo, más reciente que el de Horta, de Naranjo Chicharro (2010, pp. 14 y ss), que habla de la «tipología de las actuaciones de modernización». El autor que cito estudia tres tipos de infraestructuras sobre las que se trabaja en el ámbito de la modernización: las de transporte, distribución y sistemas de aplicación de agua. Pero parte, antes de esa división tripartita, de una descripción amplia de la modernización que no solo se refiere a infraestructuras. Indica, así, que la modernización de regadíos «es un conjunto de actuaciones sobre la estructura social de las comunidades de regantes y sobre las infraestructuras de riego de estas. Son siempre complementarias, pero no pueden realizarse independiente una de otra, sino en íntima relación. Una mejora en las infraestructuras y en los equipos solo resulta aprovechable si lleva aparejada una modificación en los procesos de gestión de la zona de riego».

Consiguientemente, narra las actuaciones en infraestructuras de transporte (donde encuentra que todo se centra en torno al canal, su revestimiento, pero si no son posibles las actuaciones en relación al canal, dice, entonces podría ser necesaria la construcción de balsas laterales u otros elementos de almacenamiento «para lograr aportar la máxima cantidad de agua en el menor tiempo» ya que la modernización implica «eliminar el riego a turnos» para «re-

gar la máxima superficie en menor tiempo»), también de distribución (donde los objetivos son muy diversos y se centran en lograr la completa distribución de agua a presión en la totalidad de la red, o sea sustituir los sistemas de riego por gravedad por los de tubería a presión, variando la forma de generación de esta) concluyendo con la referencia a los sistemas de aplicación de agua, que se refieren al riego en parcela y tratan de implantar «un sistema de aplicación de agua de riego que sea compatible con los cultivos de la alternativa de la zona y con sus características edafológicas, a un coste razonable, y aquí refiere la instalación de riego por aspersión, máquinas de riego, riego localizado...

Pero, inmediatamente de lo ya dicho, añade que «estas acciones son solo un primer paso de la modernización» y refiere en este lugar fundamentalmente actuaciones sobre la estructura de las comunidades de regantes lo que implica, lo primero de todo, la modificación de sus estatutos (u ordenanzas), la coordinación con la Administración, nuevas tareas de conservación y mantenimiento, nuevas técnicas presupuestarias, implantación de programas informáticos, formación y asesoramiento al regante, sustitución del personal no cualificado por otro personal de mayor preparación técnica y otros (pp. 16-17).

El planteamiento de Naranjo Chicharro es compartible y resalta del mismo la dificultad de establecer un concepto de modernización que quiera ser muy estricto, estrechamente ajustado. Parece difícil imaginar una norma con tan amplio número de especificaciones (muchas más si se siguiera literalmente el planteamiento del autor) siendo comprensible que el concepto se construyera con pretensiones amplias que excluyeran de la modernización lo que sería, en realidad, una transformación y, por otra, también dejaran de lado cualquier actuación material (en obras e infraestructura) que realmente no supusiera un cambio estructural ni llevara consigo variación en los métodos de riego que abocaran a un menor consumo de agua (o ahorro de agua). Abo-caríamos, así, a un concepto de modernización en un sentido «material», finalista, que permitiría huir, a través de esa técnica, de infraestructuras clásicas caracterizadas por amplios consumos (canales y acequias no revestidos), métodos de riego por gravedad, limitación en los cultivos a emprender, dificultad, en suma, de conseguir una agricultura competitiva en mercados relativamente abiertos como son en su mayor parte los actuales.

Eso concuerda con algunas de las normas que examinaré en el siguiente apartado y que lo que hacen es fijar criterios de selección de proyectos técnicos en función de los objetivos que se han venido indicando aquí y que dibujen un mayor índice de compromiso empresarial agrícola, en suma que con-

cuerdan con el concepto de «modernización» que estableció genéricamente el constituyente español —estoy seguro que sin pensar en la evolución futura— en el art. 130.1 CE, precepto situado en el Título VII dedicado a la «economía y hacienda» y que decía y dice así:

«Los poderes públicos atenderán a la *modernización* y desarrollo de todos los sectores económicos y, en particular, de la *agricultura*, de la ganadería, de la pesca y de la artesanía, a fin de equiparar el nivel de vida de todos los españoles». (Título VII Economía y Hacienda).

Modernización en el sentido utilizado por la CE que estaría entendida como un salto necesario a dar por un país que en 1978 estaba atrasado en tantas cosas y modernización que no solo se refiere a la agricultura, como se habrá comprobado con la lectura del precepto, sino, en general a «todos los sectores económicos» si bien el constituyente particulariza en algunos porque, sin ninguna duda, los siente en ese momento particularmente atrasados, necesitados de urgente revisión.

En ese sentido podría ser recomendable una llegada normativa de un concepto de modernización configurado de esa forma amplia y finalista que estoy refiriendo como conclusión de la lectura realizada de trabajos de evidente mérito.

En todo caso hay algo que resalta inmediatamente de la consideración de las distintas normas que han regulado a través del tiempo la modernización: esta técnica debe llevar consigo, inexorablemente, un ahorro de agua, es uno de los objetivos fundamentales de la modernización. No hay modernización de regadíos posible (conceptualmente) si no se produce tal ahorro siendo una cuestión también importante, aunque inicialmente secundaria, la forma de medir o computar ese ahorro e, incluso, el destino que pueda tener el agua ahorrada. Sobre la cuestión volveré más adelante dada su especial trascendencia¹⁸.

Finalmente hay una cuestión que me parece conveniente tratar en cuanto que en los planteamientos anteriores parece ligada como connaturalmente a las actuaciones sobre infraestructuras: la operación de modernización se lleva a cabo sobre las estructuras de las CCR, sobre su funcionamiento «tradicional» que va a resultar profundamente alterado (pues deben modificarse hasta sus estatutos u ordenanzas). La pregunta, entonces, parece lógica: ¿solo hay

¹⁸ En los apartados 4 y 5 me extenderé más sobre esta cuestión de la mano del examen del derecho europeo hoy vigente. Debo aclarar que no es lo mismo, sobre todo desde la perspectiva europea, hablar de ahorro de agua que de reducción de consumo, si bien en este apartado utilizo las expresiones de manera indistinta.

modernización cuando las actuaciones que se amparan en ese concepto tienen lugar sobre terrenos en los que despliega su competencia una CR?

No creo que esa sea una conclusión que deba sacarse necesariamente de los planteamientos anteriores. Es perfectamente posible pensar en las actuaciones sobre terrenos de un propietario (o de varios) que puedan considerarse propias de una «modernización» en cuanto operan sobre unas determinadas infraestructuras y también sobre los métodos y técnicas de riego hasta ese momento existentes. Lo único que sucede es que, normalmente, en la práctica, tales actuaciones en un país como España tendrán lugar sobre superficies en las que exista una CR desplegando sus competencias. Ello por la necesidad de alcanzar un mínimo de superficie que haga viable económicamente (y a veces también técnicamente) la operación siendo que en la mayor parte de las ocasiones no existen tan grandes superficies de terreno (ya de regadío, nótese, porque estamos hablando de modernización, no de transformación) atribuibles a propietarios individuales. Esa creo que es la razón –práctica, que no teórica– que conduce a la vinculación normativa de la modernización con la actuación de una CR y que hace que en muchas normas los proyectos técnicos de modernización deban ser aprobados y presentados necesariamente por una CR a la entidad pública que puede decidir sobre la atribución de caudales económicos públicos (subvenciones). Baste con decir, por último y en la línea de lo que defiendo, que en la normativa europea, tanto la anterior como la actualmente vigente, no aparece para nada la previsión de que la actuación modernizadora se tenga que llevar a cabo a través de una CR¹⁹.

3. Historia normativa de la modernización de regadíos

Ya he señalado en el apartado anterior cómo, si se quiere, se podría vincular la modernización de regadíos incluso con la misma Constitución dada la referencia a modernización y agricultura que se da en su art. 130.1 (antes reproducido). Descontado ese origen cuya vinculación con la concreta técnica que tratamos parece excesiva de sostener –y origen al que, sin embargo, apela expresamente alguna de las normas que se van a examinar en este apartado– lo que voy a hacer en las siguientes páginas es trazar una breve historia de los textos normativos que han ido surgiendo sobre esta cuestión, realizando apuntes sobre su justificación, contenido principal, finalidad e instrumentación de técnicas.

¹⁹ Es comprensible que en la normativa europea no se llegue a tal grado de profundización con referencias a estructuras organizativas que no tienen por qué ser comunes (y no lo son, de hecho) a los miembros de la UE. En todo caso es resaltable que tampoco se haga referencia a actuaciones a través de agrupaciones colectivas o conceptos semejantes.

Señalé en el apartado 1, entre otras cosas, la vinculación que existía normativamente entre la modernización de regadíos y la sequía. En ocasiones para justificar la existencia de una normativa de auxilios económicos en una situación de sequía y en otras para encontrar en normas específicas de sequía referencias a actuaciones de modernización (declaraciones de interés general, por ejemplo). Pues bien, esa vinculación con una situación de sequía es lo que sucede con la primera de las normas que debemos considerar aquí: el *RD 678/1993, de 7 de mayo, sobre obras para la mejora y modernización de los regadíos tradicionales*. Es una norma situada temporalmente justo en la mitad de la gran sequía que se desarrolló entre 1991-1995 y que tuvo, en el plano del derecho, manifestación tan significativa como la de haber sido causa de la primera modificación normativa que sufrió la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, la relativa a la revisión concesional (para facilitarla sin indemnización pública) entonces regulada en su art. 63²⁰. Una norma, también, que debe vincularse necesariamente con el Anteproyecto de Ley del PHN que haría su aparición en 1992 –poco antes del RD– y que desaparecería, finalmente, en los primeros meses de 1994.

Por cierto que en este último plano de la necesaria relación de la modernización con la planificación hidrológica, debe recordarse que el Anteproyecto de Ley de PHN de 1992 contenía unos artículos dedicados a las «medidas sobre normas básicas relativas a mejoras y transformaciones en regadío» (arts. 30 y ss.) dentro de los que aparecía el concepto de modernización que implicaba la remisión del PHN a los planes hidrológicos de cuenca para que estos contuvieran un programa de mejora y modernización de los regadíos existentes «orientado por los principios de ahorro y eficacia en el uso del agua y demás determinaciones incluidas en la presente Ley» y en los que debían incluirse las zonas regables que a esos efectos el propio PHN contenía en su anexo 7 (art 30). Y PHN que condicionaba los auxilios y subvenciones a los particulares a la «en su caso, necesaria revisión concesional para el ajuste de las dotaciones a las que figuren en los planes hidrológicos de cuenca». Igualmente se impulsaba la medición de caudales (establecimiento de sistemas de control) e información sobre los volúmenes realmente utilizados (art. 31)²¹.

²⁰ La revisión operó primero mediante un Real Decreto-ley de 1995 que se elevó a Ley en 1996, en el mismo epígrafe de la sequía, si bien el art. 63 ya no cambió su redacción que hoy sigue siendo la misma en el art. 65 del TRLA. Por cierto que debe llamarse ya la atención acerca de que la revisión concesional es en algunas normas la consecuencia necesaria de una actuación de modernización de regadíos, para adecuar el ahorro de agua y los nuevos consumos a la realidad jurídica concesional. Sobre ello, muy importante, vuelvo más adelante.

²¹ Sobre el programa de modernización de regadíos en el PHN *vid.* Baltanás (1993, pp. 229 y ss.). La importancia de las normas del PHN de 1992 en la historia de la modernización de regadíos en SUMPISI y otros (1998, pp. 217 y ss.). El texto de las normas del PHN puede consultarse en el anexo de Embid Irujo (1993).

Hecha esta pequeña digresión sobre el PHN de 1992 vuelvo al RD 678/1993 para señalar que este texto refiere en su preámbulo las infraestructuras obsoletas que tienen las CCRR (en ese momento) y que ello produce «una maraña de acequias y brazales que conducen el agua a las parcelas por trazados no siempre adecuados de longitudes excesivas que disminuyen la eficacia de la red y aumentan inexorablemente su consumo» lo que sería contrario al principio de utilización racional de los recursos hídricos²². Tras ello y ya en el plano normativo lo que se hace es plantear la realización de obras para la «racionalización y mejora de las redes de riego, avenamiento e instalaciones anejas de los regadíos tradicionales cuya titularidad ostente una comunidad de regantes» (art. 1.1). Regadíos tradicionales que son para el RD 678/1993 los que tengan, al menos, una antigüedad de 25 años o estén reconocidos como tales por los organismos de cuenca (art. 1.2).

Es importante señalar la finalidad de las obras que se desean realizar y en las que el ahorro de agua para riego tiene una posición preferente, aun cuando también se habla como objetivo de las actuaciones el de la mejora de la calidad del agua, la reutilización de aguas residuales, el ahorro energético «y cualquier otro dirigido al cumplimiento de los fines que en materia de gestión hidráulica establece la Ley de Aguas o pueden establecerse en el Plan Hidrológico Nacional o en los planes hidrológicos de cuenca» (ya he notado la vinculación del RD 678/1993 con el anteproyecto de PHN que aquí se hace expresa). En todo caso se excluyen las obras que produzcan aumento de la superficie regada, las dotaciones autorizadas o que se autoricen así como las actuaciones que se afecten a superficies regadas inferiores a 500 ha.

Para ello se regula una tramitación administrativa de las solicitudes (se presenta el proyecto por la CR a la comunidad autónoma correspondiente quien tiene la potestad de aprobarlo) y una financiación prevista que correrá a cargo del Estado y que tiene un límite del 40 % del coste²³. Resulta curioso contemplar cómo el preámbulo justifica la ayuda pública por razón de que «los resultados benefician... a la sociedad entera, por lo que es obligada la participación de las distintas administraciones públicas con sus recursos financieros y su capacidad técnica». En todo caso las obras las adjudicaría la CR dibujándose en su conjunto, como dice Naranjo Chicharro (2010, p. 5), un sistema novedoso «ya que se pasaba de un sistema en que la inversión en

²² Lo que quiere decir que el texto intenta enlazar –aun sin nombrarlo expresamente– con el art. 45 CE y las manifestaciones de tal utilización racional en la Ley de Aguas de 1985.

²³ Era el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario quien asumía ese coste si las obras eran calificadas como de «complementarias» según la tipología recogida en la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario de 1973.

regadío la hacía el Estado y el regante pagaba la parte reintegrable en un determinado período, a un sistema en que la obra la desarrollaba la comunidad de regantes, tenía que buscar financiación externa en la mayoría de los casos y el Estado colaboraba en una parte de la financiación, pero la responsabilidad de la modernización recaía íntegramente en la comunidad de regantes».

El siguiente paso normativo a comentar es el del Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2005 que fue ordenado publicar por la Orden de 14 de marzo de 1996 por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros de 9 de febrero de 1996, que aprueba el Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2005, Plan cuyo desarrollo no fue muy brillante al ser aprobado por un Gobierno al que le faltaba muy poco tiempo para su sustitución por otro de signo distinto que lo congeló²⁴. En todo caso y previamente a la Orden de 1996 hay que mencionar necesariamente la Ley 19/1995, de 4 de julio, de modernización de las explotaciones agrarias, texto muy importante y que ha marcado, en general, la evolución posterior de la agricultura en España²⁵. En su desarrollo puede verse el Real Decreto 204/1996, de 9 de febrero, sobre mejoras estructurales y modernización de las explotaciones agrarias²⁶.

A continuación, la cita obligada es la de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, texto legal en el que no existe una regulación sustantiva de la modernización del regadío (al contrario de lo que sucedía con el Anteproyecto de 1992), si bien en su anexo II, dedicado al listado de inversiones, aparecen muchas denominadas como de «modernización» de regadíos y divididas por cuencas hidrográficas. Todas estas inversiones fueron declaradas por la misma Ley 10/2001 como de interés general (*vid.* su art. 36.5).

Con ello llegamos a un paso decisivo en la evolución normativa en esta materia: el Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan

²⁴ De cualquier forma se debe colegir que algunas actuaciones se hicieron a su amparo, pues la disposición transitoria segunda del RD 329/2002, aprobador del PNR horizonte 2008, se refiere a las actuaciones e inversiones realizadas con cargo al PNR Horizonte 2005 para indicar que continuarán su desarrollo de acuerdo a sus propias fórmulas de financiación.

²⁵ Aun cuando el título de la Ley hace referencia a la «modernización», luego no se contiene en su articulado la expresión concreta de «modernización del regadío» o de la agricultura de regadío, aunque sí que la técnica estaría incluida en el ámbito de la Ley, que es muy amplio. La Ley se ampara en el art. 130 CE (transcrito en el texto en el apartado II) y lo fundamental de la misma es la incorporación del concepto de «explotación agraria» que se define como «el conjunto de bienes y derechos organizados empresarialmente por su titular en el ejercicio de la actividad agraria, primordialmente con fines de mercado, y que constituye en sí misma una unidad técnico-económica» (art. 2.2., definiciones). El primer objeto de la ley es «estimular la formación de explotaciones agrarias de dimensiones suficientes para asegurar su viabilidad y que constituyan la base permanente de la economía familiar de sus titulares» (art. 1 a). En el ámbito posterior de la evolución de la modernización de regadíos, la posible dicotomía entre el «titular de la explotación» y el miembro de la Comunidad de Regantes (que es el propietario del terreno y no tiene por qué ser el titular de la explotación), será ocasión de algunos conflictos cuando las voluntades de titular de la explotación y titular de la tierra son distintas. En desarrollo de la Ley 19/1995.

²⁶ En lo que hace referencia a lo que nos interesa, la terminología que se usa es «planes de mejora» (arts. 4 y ss) y dentro de las inversiones objeto de ayuda, el art. 5 señala «la adaptación de las explotaciones con vistas a reducir los costes de producción, *abornar energía o agua*, o la incorporación de nuevas tecnologías, incluidas las de información y telemática» (el resalte tipográfico es mío).

Nacional de Regadíos²⁷. Instrumento muy importante y de larga vigencia que conecta claramente con la normativa europea del momento (el Reglamento CE nº 1257/1999 citado anteriormente en nota) de lo que se deja testimonio en su preámbulo²⁸. En dicho preámbulo se mencionan y justifican decisiones trascendentales, como la interrupción de la política de transformación agraria (manteniendo, no obstante, las transformaciones que se están llevando a cabo amparadas en normas legales), sin excluir la posibilidad de transformación de pequeños sistemas rurales y, en su sustitución, la decisión de encaminarse a una política de modernización de regadíos que consiga una agricultura competitiva y, al tiempo, posibilite una racionalización en el uso de los recursos²⁹. Los objetivos generales que se expresan en el art. 2 del RD 329/2002 expresan muy bien esta idea³⁰ y los programas de actuación contenidos en el art. 3 la llevan a la práctica.

En este último terreno y de forma congruente con lo anteriormente dicho, uno de los programas de actuación es el de «consolidación y mejora de los regadíos existentes con la finalidad de optimizar el uso del agua disponible, modernizar los sistemas de riego, reforzar la competitividad de las producciones y empresas agrarias así como la sostenibilidad de las áreas regadas» (art. 3.1.a)³¹. Por otra parte las inversiones en modernización corrían a cargo de los particulares y de las instituciones públicas que asumían el 50 %, dividiéndose esta cantidad en partes iguales el Estado y las CCAA y teniendo en cuenta siempre la financiación europea a través del FEOGA. Debe señalarse que en esta época se crearon cuatro Sociedades Estatales de Infraestructuras Agrarias (SEIASA) dentro de cuyo objeto social estaba la «promoción, contratación y

²⁷ Para dejar constancia de todos los pasos normativos que se han ido recorriendo debo referirme también, con anterioridad al texto citado, al RD 613/2001, de 8 de junio, para la mejora y modernización de las estructuras de producción de las explotaciones agrarias. Se dicta para adaptarse a la nueva reglamentación comunitaria de las estructuras agrarias de producción, constituida por el Reglamento (CE) 1257/1999, del Consejo, de 17 de mayo, sobre ayuda al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola (FEOGA) y por el que se modifican y derogan determinados Reglamentos; reglamento donde aparece el concepto de «desarrollo rural» y se regulan tipos de inversión. Una de las finalidades de las ayudas es «la adaptación de las explotaciones con vistas a reducir los costes de producción, ahorrar energía o agua, o la incorporación de nuevas tecnologías, incluidas las de informatización y telemática» (art. 5.1.c).

²⁸ Se dice en él, así, que «en el momento presente, la planificación de estas políticas públicas (en materia de regadíos) deben encuadrarse en la ya culminada planificación hidrológica, en la asunción por las comunidades autónomas de competencias relacionadas con los regadíos y en la Política Agraria Común de la Unión Europea». Recuérdese que el Reglamento europeo introduce el concepto de «desarrollo rural».

²⁹ En el preámbulo del RD 329/2002 existe esta significativa frase: «El estado de las infraestructuras de los actuales regadíos aconseja priorizar las actuaciones para su mejora, modernización y consolidación, en especial las dirigidas a racionalizar el uso del agua».

³⁰ Por ejemplo, el art. 2 d) contiene como objetivo el de: «Modernizar las infraestructuras de distribución y aplicación del agua de riego para racionalizar el uso de los recursos, reducir la contaminación de origen agrario de las aguas superficiales y subterráneas y promover innovaciones en los sistemas de riego para reducir los consumos de agua» (el resalte tipográfico es mío).

³¹ En el art. 4 se puede observar que con este programa se trataba de consolidar y mejorar 1.134.891 ha con una inversión total de 5.024 millones de euros, donde se sumaba la pública (de Estado y CCAA), y la privada (*vid.* arts. 4 y 5), inversión que era la suma de todos los programas, no solo del de modernización de regadíos, dado que en los preceptos citados se diferenciaban las ha. para consolidación, pero no el correspondiente presupuesto. No obstante y por el número de ha. afectadas, los programas de regadíos en ejecución y de interés social eran anecdóticos en relación al de modernización y consolidación.

explotación de inversiones en obra de modernización de regadíos contempladas en el PNR, que declaradas de interés general estuvieran en unas determinadas CCAA»³². Por otra parte, el mismo RD 329/2002 preveía la suscripción de convenios entre Estado y las respectivas CCAA «en los que se precisen las actuaciones de cuya ejecución se hará cargo cada una de las Administraciones, así como la financiación, plazos y condiciones de ejecución de las obras» (art. 9.2). Igualmente se regulaban las consecuencias de la declaración de una obra como de interés general (art. 10) conteniendo el anejo III los programas de actuación de consolidación y mejora de regadíos por CCAA.

Y poco tiempo después de esta norma (y del comienzo de su ejecución) volveremos a encontrarnos con una nueva norma relacionada con la sequía. Se trata del RD-Ley 10/2005, de 20 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los daños producidos en el sector agrario por la sequía y otras adversidades climáticas, norma con rango legal situada justo en el comienzo de la sequía que se extenderá entre los años 2005-2009. El texto adopta una gran variedad de medidas (exenciones fiscales, también laborales, de seguridad social, préstamos de instituciones públicas a los agricultores...) y en el ámbito que nos interesa se declaran una serie de obras de «mejora y modernización de regadíos» como de interés general estableciéndose también su urgencia y utilidad pública a efectos de expropiación forzosa (*vid.* art. 7 y el anexo)³³.

Mucha significación tendrá el Real Decreto 287/2006, de 20 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palie los daños producidos por la sequía, más conocido como «Plan de Choque» y que se ubica también al inicio de la sequía 2005-2009, como la norma que anteriormente he mencionado. El RD 287/2006 se configura como una «aceleración» de las actuaciones ya previstas en el PNR de 2002 (Naranjo Chicharro 2010, p. 8), para lo que una serie de obras de modernización que ya estaban declaradas de interés general se califican, además, de urgentes y se disponen los medios necesarios para su financiación, especificándose las distintas cuantías y fuentes

³² A ello se refiere Naranjo Chicharro (2010, p. 7). El desarrollo –hacia la reducción o, incluso, supresión– de estas Sociedades así como de las muchas que se crearon para la construcción y gestión de infraestructuras hidráulicas puede seguirse en Embid Irujo (2016).

³³ Y poco tiempo después aparecerá el Real Decreto-ley 15/2005, de 16 de diciembre, que he mencionado en 1, y donde se contienen normas excepcionales –frente a la regulación general del TRLA– sobre el «mercado de derechos de uso de agua» para facilitar la aportación de caudales entre diversos ámbitos de planificación hidrológica de cuenca.

para ello³⁴. En cualquier caso debemos llamar la atención sobre el interés que el preámbulo³⁵ y el articulado³⁶ ponen en la necesidad de ahorrar agua como justificación de toda la operación³⁷. Debe destacarse la presencia, por primera vez, de preceptos sobre tramitación ambiental de las actuaciones y de un artículo sobre la utilización posible del agua ahorrada (art. 9) sobre el que volveré en el apartado 5.

El siguiente texto normativo a destacar es el RD 1725/2007, de 21 de diciembre, por el que se cierran las inversiones del primer horizonte del Plan Nacional de Regadíos en mejora y consolidación de regadíos, también denominado «Plan de Cierre». En realidad se trata de una norma que aporta una financiación suplementaria a las SEIASA y dispone la declaración de utilidad pública y necesidad de ocupación para una serie de actuaciones reguladas en el anexo del RD 1725/2007 y que ya estaban declaradas de interés general. Continuando con la tónica del anterior «Plan de Choque», también este RD contiene preceptos sobre la tramitación ambiental de las actuaciones y otras consideraciones ambientales sobre las mismas.

De nuevo, pero ahora en el epígrafe de la sequía 2005-2009, aparece un texto sobre medidas urgentes que contiene muy diversas técnicas a aplicar a la situación de sequía y, entre ellas, las actuaciones consabidas de mejora y consolidación de regadíos. Se trata del RD-ley 14/2009, de 4 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en determinadas cuencas hidrográficas. En este texto legal hay medidas de muchos tipos: exenciones fiscales, regulación de excepcionalidades de la ordenación general del mercado del agua, y una declaración de interés general y de utilidad pública de determinadas actuaciones, en las que se incluyen variados proyectos de modernización de regadíos (contenidos en el anexo III titulado, significativamente, «obras urgentes de mejora de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palíe los daños producidos

³⁴ Es el objeto del importante art. 4 donde aparece tanto el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, como las Sociedades Estatales de Infraestructuras Agrarias, la empresa pública TRAGSA (que recibiría una encomienda de gestión como medio propio instrumental de la Administración), el Ministerio de Medio Ambiente y las sociedades estatales de infraestructuras hidráulicas. Es decir, se pone toda la carne en el asador en este momento para concluir el PNR con prontitud.

³⁵ El preámbulo expresa significativamente que: «Por otra parte, el Plan Nacional de Regadíos constituye un instrumento básico para el desarrollo de la política de regadíos. Dado el tiempo transcurrido desde su puesta en marcha, se hace necesaria una nueva orientación más acorde con las necesidades y sensibilidades actuales, y, en particular, con la situación de sequía, que ha puesto no solo al sector agrario, sino a toda la sociedad en una situación de escasez de agua, que en algunas comunidades autónomas ha generado situaciones dramáticas. Por ello la necesidad imperiosa de ahorrar agua a la hora de modernizar nuestros regadíos se convierte en una cuestión prioritaria» (el resalte tipográfico es mío). También se habla más adelante de incorporar recursos alternativos, aguas residuales, desalación.

³⁶ La necesidad de ahorrar agua aparece ya en el art. 1 cuando se indica que el objeto del RD, a través de un programa de acciones, es el de «obtener un ahorro de agua capaz de mitigar los efectos de la sequía en el regadío».

³⁷ Se menciona en el preámbulo que se pretende actuar sobre 866.898 has. obteniendo un ahorro aproximado de 1.162 hm³.

por la sequía», y en el que aparecen listas de actuaciones clasificadas según el ámbito de actuaciones de las cuatro SEIASA existentes).

Llama la atención que el texto por su fecha ya está incluido plenamente dentro de la crisis económica iniciada en Estados Unidos en 2007 y en Europa en 2008, pero es anterior a los primeros días de mayo de 2010 en donde cambió decisivamente la estrategia de España (y de la UE) de enfrentarse a la crisis económica pasándose de actuaciones expansivas, de inversión pública, que eran las seguidas hasta ese momento (al estilo keynesiano) a tendencias absolutamente contrarias, reduciendo las inversiones públicas o, incluso, suprimiéndolas por las exigencias imperativas de cumplir los parámetros de deuda y déficit público, tiempo histórico en el que todavía nos encontramos³⁸.

Con posterioridad a lo indicado hay que decir que se tramitó una llamada Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, Horizonte 2015, con fecha de julio de 2010, pero no se llegó a aprobar.

Al margen de lo que más adelante se indicará sobre la normativa europea y su traslación al plano español, hoy podemos resaltar como textos normativos españoles a tener en cuenta las menciones que a la modernización de regadíos puedan existir en los *Planes hidrológicos de cuenca con ámbito de demarcación*, lo que en todo caso nos presentará normas de validez territorial limitada. En la actualidad los vigentes son los correspondientes al segundo ciclo de planificación, y de ellos los correspondientes a las cuencas (demarcaciones) hidrográficas intercomunitarias han sido aprobados por el RD 1/2016, de 8 de enero mientras que los de algunas cuencas (demarcaciones) hidrográficas intracomunitarias lo han sido por el RD 11/2016, y el de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears lo fue el primero de todos, por el RD 701/2015.

En la parte normativa de estos planes es donde pueden encontrarse preceptos relativos a la modernización de regadíos. A título ejemplificativo voy a indicar algunas características de los Planes Hidrológicos del Guadalquivir y del Ebro indicando previamente que las referencias a considerar son escasísimas pareciendo que los Planes hidrológicos han renunciado a llevar a cabo regulaciones sustantivas en este ámbito remitiéndose a lo que pueda derivarse de otras medidas normativas, como veremos expresamente en el Plan del Ebro.

Así, en el Plan Hidrológico del Guadalquivir solo existe mención a la modernización en el art. 15 de su normativa, pero es muy inconcreta dado que se dice, simplemente, que «los regadíos de la cuenca deberán hacer un uso

³⁸ Estudio pormenorizadamente las dos fases de lucha contra la crisis económica en España (separadas por esa referencia temporal a los primeros días de mayo de 2010) en Embid Irujo (2012).

eficiente del agua e incorporar mejoras por modernización» a lo que se une alguna referencia a las dotaciones establecidas en el art. 14.

Una mayor densidad normativa existe en el Plan Hidrológico del Ebro. Así, en el art. 54 de su normativa hay referencias a la necesaria revisión concesional cuando exista modernización o mejora de regadíos con auxilio o financiación pública «de modo que los recursos hidráulicos inscritos se ajusten a las dotaciones de este Plan», lo que quiere decir, frente a las primeras lecturas posibles y en una lectura simplemente literal del precepto, que si se ajustaren a dichas dotaciones no es precisa la revisión concesional. Igualmente en el apartado 3 del citado artículo se prevén convenios del Organismo de cuenca con las comunidades de usuarios «con el objetivo de mejorar la gestión de los sistemas de riego» lo que no equivale a hablar de que a través de esos convenios pueda producirse la modernización, obviamente³⁹. Finalmente y como muestra de lo que indicaba acerca de la renuncia consciente a más amplias regulaciones, el apartado 5 indica que «se asumen los criterios y actuaciones que establezcan el Plan Nacional de Regadíos (inexistente en este momento) y los planes de regadío aprobados por las comunidades autónomas o administraciones forales competentes» añadiéndose, eso sí, que dichos planes «deberán contar con asignación de recursos en este Plan Hidrológico».

Por lo demás en el momento actual y a falta de nuevas normas generales sobre modernización en España, hay que atender, además de a las hipotéticas convocatorias de ayuda que puedan producirse, a las directrices derivadas del derecho europeo y a los desarrollos que conforme al mismo se hagan en el Estado y en las CCAA atendiendo al orden constitucional y estatutario de reparto de competencias. Ese derecho europeo, como hemos podido contemplar en esta rápida evolución histórica, está desde un Reglamento CE de 1999 presidido por el concepto de «desarrollo rural» dentro del que tiene que entenderse también la modernización de regadíos. Ello será objeto de atención en el siguiente apartado.

³⁹ Es de interés reseñar que este art. 54.3 se prevé que las infraestructuras hidráulicas de interés general del Estado y, en particular las acequias del Estado que gestiona el Organismo de cuenca y que hayan quedado fuera de uso como consecuencia de la ejecución de un proyecto de modernización de regadíos declarado de interés general, se considerará que no serán necesarias para el servicio público a los efectos de la desafectación regulada en la Ley 33/2003, de 3 de noviembre, de Patrimonio de las Administraciones Públicas. La norma creo que es muy estimable porque está orientada a solventar problemas evidentes de gestión para las comunidades de regantes que han ejecutado proyectos de modernización.

4. El papel del derecho europeo. La consideración esencial de la reducción en el consumo de agua en las inversiones subvencionables con cargo al FEADER

Sin más apuntes previos, porque esta cuestión ya ha sido tratada de forma general en el apartado 1 de este trabajo, paso a examinar el derecho europeo vigente que está constituido por el Reglamento (UE) n.º 1305/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 1698/2005 del Consejo. DOUE L. 347/487, de 20 de diciembre de 2013. Se trata de un texto regulador de ayudas económicas a distintas actuaciones y en el que se van a integrar también las «inversiones en instalaciones de riego» (art. 46) que es la parte de este Reglamento (UE) que me interesa estudiar a los efectos del presente trabajo.

Dada la terminología utilizada por ese precepto no hay en él una mención específica a la modernización, consolidación o mejora (tampoco a la transformación) sino una regulación general para esta materia, repito, de «inversiones en instalaciones de riego». En el precepto citado se contiene una especificación de los gastos subvencionables con cargo al FEADER (y de las condiciones a respetar para obtener dicha subvención) y que puede referirse tanto a actuaciones de las que en España llamamos de modernización de regadíos como de transformación de terrenos de secano en regadío, si bien ya anticipo que esta última actividad está configurada con cierto recelo en el art. 46 del Reglamento (UE) 1305/2013 a efectos de considerar tales inversiones como subvencionables.

Esa regulación está precedida por un importante considerando 35 que especifica las razones que van a conducir a una determinada redacción del artículo 46 y que por contener significativas novedades sobre lo hasta ahora conocido, es conveniente reproducir textualmente con unos resaltes tipográficos que pueden ayudar al lector a dirigir inmediatamente su atención a lo más significativo de esta nueva normativa. El cdo. 35 dice así:

«El FEADER debe poder apoyar las inversiones en regadío para obtener beneficios económicos y medioambientales, siempre que la sostenibilidad esté asegurada. Por tanto, en cada caso la ayuda se debe conceder únicamente si existe un plan hidrológico de demarcación en la zona de que se trate en las condiciones establecidas en la Directiva marco del agua, y si ya se ha instalado un contador de agua en el momento de la inversión, o va a instalarse como parte de la inversión. Una inversión en la mejora de una instalación o de un equipo de riego

existente debe conducir a una ganancia mínima de eficiencia del agua, expresada como ahorro potencial del agua. Si la masa de agua afectada por la inversión se encuentra bajo presión por razones relacionadas con la cantidad de agua de conformidad con el marco analítico establecido por la Directiva marco del agua, la mitad de la ganancia en eficiencia del agua debe traducirse en una reducción real del uso del agua en el momento de la inversión objeto de la ayuda, a fin de reducir la presión sobre la masa de agua. Es preciso establecer determinados supuestos en los que no sea posible o necesario aplicar los requisitos de ahorro potencial o efectivo de agua, como en los de inversiones en el reciclado o la reutilización del agua. Además, para apoyar las inversiones en mejoras del equipo existente, debe disponerse que el FEADER apoye las inversiones en nuevas instalaciones de riego sujetas a los resultados de un análisis medioambiental. Sin embargo, y con algunas excepciones, no debe concederse la ayuda a nuevas instalaciones de riego cuando la masa de agua de que se trate ya se encuentre bajo presión, al existir un alto riesgo de que la concesión de ayuda en estas circunstancias agrave los problemas medioambientales existentes».

Como se habrá podido colegir del anterior texto, las condiciones que se predicen para que pueda tener la ayuda con cargo al FEADER son rigurosas a partir de la premisa general de la sostenibilidad, que en el contexto creo que quiere decir sostenibilidad económica y ambiental, expresiones que siempre son tan difíciles de interpretar y concretar cuando se atiende a supuestos específicos.

Pues bien, y partiendo de la citada sostenibilidad, en el considerando 35, y resumiendo lo allí dicho, podemos observar: la necesidad de existencia de un Plan hidrológico adecuado a la DMA, que haya contador de agua existente o por instalarse, previsiones sobre una ganancia de eficiencia del agua y su traducción en una reducción real del consumo de esta en las masas sometidas a presión por razón de la cantidad de agua, realización de un análisis ambiental previo y prohibición de ayuda cuando la dicha masa ya se encuentre bajo presión.

Y es el art. 46 el que va a traducir a lectura normativa las anteriores condiciones; la mayor parte de ellas lo hace en sus apartados 2 y 3. Y en el apartado 4 del precepto es donde se encuentra lo que, en mi opinión, es la razón de ser de las nuevas condiciones que se ponen para que puedan subvencionarse inversiones en este ámbito. Lo transcribo, también con resaltes tipográficos, para poder llevar a cabo luego los necesarios comentarios:

«4. En una inversión que constituya una mejora de una instalación de riego existente o de un elemento de la infraestructura de irrigación, se debe haber evaluado previamente que la misma permite llevar a cabo un ahorro potencial de agua de entre un 5 % y un 25 % con arreglo a los parámetros técnicos de la instalación o infraestructura existente.

»Si la inversión afecta a masas de agua subterránea o superficial cuyo estado haya sido calificado como inferior a bueno en el correspondiente plan hidrológico de demarcación, por motivos relativos a la cantidad de agua, la posibilidad de optar a una ayuda del FEADER se supeditará a que:

- a) La inversión garantice una reducción efectiva del consumo de agua a escala de la inversión que ascienda, como mínimo, al 50 % del ahorro potencial de agua posibilitado por la inversión; y
- b) En caso de que se trate de una inversión en una única explotación agrícola, esta suponga también una reducción del volumen total de agua utilizado por la explotación que ascienda, como mínimo, al 50 % del ahorro potencial de agua posibilitado por la inversión. El volumen total de agua utilizado por la explotación incluirá el agua vendida por la misma⁴⁰.

»Ninguna de las condiciones del apartado 4 se aplicará a las inversiones en una instalación existente que solo afecten a la eficiencia energética o a las inversiones para la creación de un embalse o a las inversiones en el uso de agua regenerada que no afecten a una masa de aguas subterráneas o superficiales».

El lector del precepto habrá observado que su elemento de referencia es el ahorro de agua⁴¹. Las menciones a tal ahorro, algo complejas, podríamos estudiarlas sistemáticamente diferenciando una regulación general, otra que llamo especial y que es derivada del estado de la masa de agua a que afecta la inversión, y otra, finalmente, dedicada a actuaciones en las que no se exige reducción de consumo por las propias características de la inversión, que son valoradas positivamente por el precepto y no tienen por qué estar vinculadas, conceptualmente, con la reducción del consumo, con el ahorro de agua.

La regulación general es simple de leer: debe haber un ahorro potencial de agua de entre un 5 y un 25 % como consecuencia de las inversiones que pueden ser subvencionadas. Nunca menos de un 5 % y se supone –lo supongo para poder entender bien el precepto– que conforme se eleve ese ahorro po-

⁴⁰ El precepto está copiado literalmente del DOUE aunque no entiendo qué es lo que se quiere decir con la expresión «el agua vendida por la misma» como no sea una llamada a que se compute dentro de la explotación y como agua consumida por esta la que, hipotéticamente, pueda cederse (¿venderse?) por parte del titular de la misma a otro titular. Si es así, la mención del precepto representaría una forma indirecta de asunción por parte del documento europeo de la existencia de un «mercado de derechos de agua» que en el ámbito de la UE y hasta este momento, solo existe en la regulación de aguas española.

⁴¹ En el documento titulado «Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa», Bruselas 14.11.2012, COM (2012) 673 final, y que era una Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones (documento conocido abreviadamente como *Blueprint*), ya aparecía en el contexto que entonces se llevaba acabo de reforma de la PAC, la necesidad de elevar la eficacia de la irrigación y de conseguir reducciones del consumo de agua. En ese mismo lugar se hablaba del efecto «rebote» (aumento del consumo, tendencia a evitar para la Comisión) que determinadas actuaciones llevaban consigo (p. 13). Por otra parte estas preocupaciones ambientales de la normativa europea que observamos en esta regulación conectan, en general, con condicionamientos ambientales que aparecen en otras partes de la política agrícola y sobre las que Setuáin Mendía (2015, pp. 43 y ss.) ha notado hablando de la «ecologización de los pagos directos y su condicionalidad» (p. 43).

tencial (ahorro potencial que sería el derivado de las mismas características del proyecto y antes de pasar a su ejecución material) se irán otorgando ventajas adicionales a ese proyecto en la competición que, se supone también, existirá necesariamente entre distintos proyectos para poder acceder a la subvención (que económicamente es siempre limitada, de ahí que deban establecerse criterios para resolver la competencia entre distintos proyectos).

Y la regulación especial lo es en cuanto afecta a masas de agua con problemas, que en el texto se expresa con las palabras: «estado [...] inferior a bueno» según el correspondiente plan hidrológico adecuado a la DMA (que es de donde proviene esta terminología). Aquí se elevan los porcentajes a alcanzar de ahorro de agua utilizándose, además, la mucho más precisa expresión (y de contenido diferente, obviamente, de la de ahorro potencial de agua) de «reducción efectiva del consumo»⁴² que debe equivaler, como mínimo, al 50 % del ahorro potencial de agua.

Por fin, son subvencionables sin exigirse ahorros de agua una serie de actuaciones que el precepto valora especialmente como aquellas que incrementen la eficacia energética, la utilización de aguas regeneradas o la creación de un embalse, siempre y cuando no afecten esas actuaciones a las masas de agua.

Como decía estas son las condiciones a aplicar a una modernización de regadíos (el precepto habla de «mejora»). Pero el precepto tiene también unos apartados 5 y 6 que se refieren a una posibilidad (que creo que está configurada en la normativa europea como excepcional) de poder computar también como gastos subvencionables los dedicados al aumento de la superficie irrigable (transformación en la terminología española). Es decir, la normativa europea no se niega en principio a apoyar económicamente (con cargo al FEADER) la transformación de terrenos, pero pone unas condiciones que son muy exigentes en relación al ahorro potencial de agua y la reducción de consumos. Dado que este trabajo se dedica exclusivamente a la modernización, prefiero no entrar en este ámbito no sin repetir que en el derecho

⁴² En los términos estrictos con los que, creo, debe abordarse esta importante cuestión, consumo es el que se produce exclusivamente mediante la evapotranspiración de la planta; distinto a ello es el volumen de retorno (por percolación), que no puede considerarse consumo, en cuanto el agua vuelve al ciclo y es, por tanto, susceptible de otras utilidades (en la cuenca). Y el consumo, en los términos que indico, es lo que debería reducirse en los términos de las letras a) y b) del apartado 4 del art. 46 del Reglamento que se refieren a dicha reducción computada sobre el ahorro potencial del agua y exclusivamente para las masas de agua subterránea o superficial con estado inferior al bueno. Por su parte, el ahorro potencial del agua se medirá en relación al caudal concesional (o autorizado) efectivamente suministrado, sin distinguir entre evapotranspiración o retorno. Por ello no es exactamente lo mismo hablar de reducción de consumo que de ahorro de agua y es a lo que se refiere, en general, el primer párrafo del art. 46.4 del Reglamento. El agua que por percolación retorna al ciclo del agua no se consume, aunque, globalmente, se puede tener en cuenta desde el punto de vista del ahorro potencial (que opera, como digo, sobre el agua concesionada o autorizada efectivamente suministrada). Preveo, en cualquier caso, bastantes conflictos en el futuro en torno a estas cuestiones que no están completamente aclaradas en el Reglamento debiendo entenderse estas líneas como una mera interpretación personal y que puede estar sometida a revisión en función de criterios más exactos técnicamente.

europeo considerado, no hay olvido para las actuaciones de transformación si bien se consideran de una forma muy estricta desde el punto de vista de la financiación con cargo al FEADER.

Y un último comentario: como ya dije al final del apartado 2, la normativa europea no se preocupa de la titularidad de las instalaciones que van a ser modernizadas, lo que deja en completa libertad a la posibilidad de que los derechos nacionales, y en concreto el español, sigan introduciendo en las respectivas regulaciones (y convocatorias de ayudas) la referencia a las CCRR. Serán los programas de las CCAA sobre desarrollo rural y las convocatorias que les sigan, los que concreten esa cuestión –y otras, obviamente– para la operatividad en el futuro de la modernización de regadíos⁴³.

Como hemos podido concretar en este apartado, el ahorro de agua (o la reducción de consumos, y repito otra vez la diferencia entre ambos conceptos que expresé en nota) es la clave de la ayuda económica en la regulación del derecho europeo. Ello concuerda con diversos preceptos de la normativa española que hemos podido ir observando a lo largo de los tres primeros apartados del trabajo. Por tanto merece la pena hacer, a partir de las referencias de la normativa europea ahora vigente, una valoración conjunta de cómo se ha ido contemplando esta capital cuestión en la evolución del derecho español de la modernización del regadío.

5. El ahorro (o reducción de consumo) de agua como presupuesto y justificación de la regulación de la modernización de regadíos. Una consecuencia no siempre presente: la revisión concesional

Las directrices derivadas del derecho europeo son bien claras en torno al ahorro de agua (potencial) y a la reducción del consumo, expresiones que, como ya he dicho, no son equivalentes, aun cuando sí suenan como semejantes. Y como hemos visto en el apartado anterior sin reducciones de consumo (medidas, en ocasiones, sobre el ahorro potencial de agua) y en determinados porcentajes, no podrían computarse determinadas inversiones como subven-

⁴³ Es claro que en este punto la apertura a la narración de los programas de las CCAA abriría una cita casi interminable de referencias. Prefiero centrarme, por razones obvias, en solo una de ellas: el de la Comunidad Autónoma, de Aragón, en la que resido. *Vid.*, así, la Resolución de 2 de junio de 2015, del Director General de Desarrollo Rural, por la que se publica la aprobación del Programa de Desarrollo Rural de Aragón 2014-2020. Esa aprobación, conforme a la normativa pertinente, tuvo lugar mediante Decisión de Ejecución de la Comisión de 26 de mayo de 2015, Bruselas 26.5.2015 C (2015) 3531 final. En el programa se contemplan ayudas para la financiación de inversiones de modernización de 4.400 explotaciones agrarias. Como habrá podido observarse, el Programa es muy reciente y está pendiente de su concreción en futuras convocatorias de ayudas.

cionables a efectos del FEADER. Las normas europeas citadas son, en mi opinión, contundentes en cuanto al objetivo perseguido.

Y como he anunciado anteriormente, también la referencia al ahorro de agua ha estado presente en la historia normativa de la modernización de regadíos en España; sin embargo no existe consenso en que, efectivamente, la técnica de la modernización haya llevado consigo tales reducciones de consumo. Más bien existe una clara discrepancia sobre esa cuestión de lo que es muestra señera un crítico informe de WWF publicado recientemente, en 2015, y de significativo título: «Modernización de regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad». En dicho informe se llama la atención sobre ese efecto del aumento del consumo (medido a nivel de cuenca hidrográfica, sobre todo, no de parcela) que ha tenido la modernización de regadíos.

Y los autores que desde diversos prismas observan la cuestión, no son tampoco taxativos sobre que se produzca en realidad tal ahorro, sino que existe, al contrario, evidencia, aun en los favorables a la modernización, acerca de que tiene lugar, en determinadas circunstancias, un aumento en los consumos como consecuencia de las políticas de modernización de regadíos. En ese sentido puede verse a Berbel *et al.* (2014) que citan también bastante bibliografía sobre el particular y establecen en sus conclusiones las condiciones en las que, efectivamente, se produce tal aumento de consumo⁴⁴. Olona Blasco (2015), incluso, llega a afirmar que no se puede hacer política de modernización que exija, indefectiblemente, el ahorro del agua en el conjunto de la cuenca, porque eso no va a tener lugar, aunque sí como consecuencia de la modernización se aumenta la eficacia en parcela⁴⁵.

En este apartado voy a comenzar por estudiar las referencias que en la normativa española sobre modernización existen al ahorro de agua (que es la

⁴⁴ Destaco, en particular, estas dos conclusiones: «cuando se restringe la superficie regada y el agua es suficiente, la introducción de sistemas de riego más uniformes no incrementa significativamente la evapotranspiración (consumo de agua). Si el suministro de agua es limitado y se aplicaba riego deficitario antes de la modernización, la introducción de un riego más eficiente incrementa la evapotranspiración (consumo de agua) al disminuir las pérdidas». Y la segunda: «Cuando no hay restricciones de aumento de la superficie de riego, la modernización probablemente conduzca a nuevas extracciones de agua incontroladas, iniciando potencialmente un círculo vicioso en el que la superficie regada se expanda mientras que se sobreexplotan los recursos hídricos. Por tanto las medidas de ahorro de agua tienen que venir acompañadas de mecanismos de control de las extracciones de agua y de expansión de la superficie regada. La clave para la política es entender la diferencia entre reducción de la presión (agua aplicada) y reducción del impacto (agua consumida), que es la diferencia entre ahorros secos (concesiones que no se utilizaban, o «agua de papel») y ahorros húmedos (reales), respectivamente» (y en este punto se cita a un autor). Las dos conclusiones en las pp. 4 y 5 de su trabajo.

⁴⁵ Cfr. Olona Blasco (2015). Señala este autor, sobre todo con referencia, a la cuenca del Ebro que «es imposible que, reduciendo el volumen de agua total actualmente utilizado, nuestra agricultura pueda afrontar los retos que le exigimos». Y más adelante: «sin cuestionarla, debe aceptarse que la modernización de regadíos no ahorra necesariamente agua en el conjunto de la cuenca. Aunque aumenta la eficiencia de riego en parcela, la intensificación productiva imprescindible para rentabilizar las elevadas inversiones exigidas por la modernización tiende a aumentar el consumo de un recurso que no nos falta...». Para concluir en que: «el enfoque de la vigente política de regadíos, exclusivamente basada en el ahorro de agua, es completamente desacertado en la cuenca del Ebro y debe reorientarse si queremos ser coherentes con la realidad y con nuestros propios intereses económicos, sociales y ambientales».

expresión normalmente utilizada y normativa en la que no observo separaciones en las referencias a ahorros y reducción de consumos, pues se utilizan indistintamente ambas expresiones siendo el derecho europeo el decisivo para diferenciar) para pasar en una segunda parte a observar cómo se contempla en la normativa española lo que debería ser, teóricamente, una consecuencia de los ahorros o reducciones de consumo: la revisión concesional.

5.1. El aborro de agua en la normativa española de modernización de regadíos. Referencia a las normas que prevén el destino de los caudales ahorrados

He destacado en diversos momentos cómo se conecta el origen de la normativa de modernización con las situaciones de sequía. Pues bien, esa conexión solo puede conducir a un resultado: se hace modernización (se utilizan caudales públicos para la modernización) por la razón de que debe conseguirse agua de la agricultura para otras finalidades o, simplemente, se debe reducir el consumo de la agricultura de regadío a través de las técnicas de la modernización, porque no existe suficiente agua para atender las demandas agrarias.

Como decía anteriormente, las referencias al ahorro de agua están en todos los textos que se han ido estudiando en el apartado 3 del trabajo, indicándose en algunos, incluso, el volumen de agua (medido en hectómetros cúbicos) que se ahorraría, como sucede en las normas extraordinarias de sequía, pero no solo en ellas. En algunos textos, sin embargo, las referencias son más completas y, por tanto, las menciono aquí especialmente.

Y comienzo con la referencia a un texto que no llegó a convertirse en Ley pero que ha tenido una evidente influencia en el desarrollo de la normativa posterior. Me refiero al Anteproyecto de PHN de 1992. En este texto hay dos artículos a destacar. El primero es el art. 30, dedicado a la mejora y modernización de los regadíos existentes, precepto que encarga a los planes hidrológicos de cuenca que incluyan un programa de mejora y modernización de los regadíos existentes «orientado por los principios de ahorro y eficacia en el uso del agua» debiendo las actuaciones de modernización incluir contenidos de control de los volúmenes realmente utilizados.

El segundo artículo, el 31, condiciona los auxilios económicos a que se revisen las concesiones «para el ajuste de las dotaciones a las que figuren en los planes hidrológicos de cuenca». Con lo que podemos observar la hilazón

entre modernización, ahorro de agua y revisión concesional que se produce desde el primer momento.

Enorme significación va a tener con posterioridad (y saltando otras posibles referencias) el hecho de que sea el PNR, aprobado por el RD 329/2002, el que contenga como elemento distintivo del mismo que la política de modernización debe servir a distintos objetivos, pero todos ellos concluyen en la finalidad de «reducir los consumos de agua» (art. 2. d)⁴⁶.

De nuevo el ahorro de agua aparece en el RD 287/2006 («Plan de Choque» que, como se recordará, se sitúa en el comienzo de la sequía 2005-2009) donde se menciona en su art. 1 que es el que trata del objeto del texto normativo. Expresamente se habla en él de la «finalidad de obtener un ahorro de agua capaz de mitigar los efectos de la sequía en el regadío».

Pero en este texto me parece del máximo interés el contenido de su art. 9 que bajo la rúbrica de «Ahorro de agua» trata, en realidad, de la finalidad a que se puede destinar el agua ahorrada. Transcribo su contenido:

«El ahorro de agua producido se podrá utilizar para consolidar la superficie regable existente o la garantía de riego en los términos que se establezcan, en su caso, en el correspondiente convenio con los concesionarios– inversores privados del área y de acuerdo con las determinaciones del texto refundido de la ley de aguas.

»En ningún caso se podrá aumentar la delimitación de los polígonos y superficies de riego existentes, aplicándose, asimismo, el ahorro producido a la satisfacción de las necesidades medioambientales en el ámbito considerado y en la mejora de la garantía del abastecimiento a las poblaciones».

El texto, como digo, es del mayor interés y puede ser contemplado desde una perspectiva positiva y otra negativa. En la primera, positiva, aparece la posibilidad de «consolidar la superficie regable existente» o «la garantía de riego» en los términos que se establezcan. Pero, negativamente, se expresan bien los límites de esa consolidación: en ningún caso se permite aumentar la superficie del polígono de riego. Y a ello, además, se suma la posibilidad de utilizaciones ambientales del agua (recarga de acuíferos sobreexplotados, por ejemplo) o, incluso, proveer a otro uso desde la perspectiva también de la garantía: mejorar la garantía del abastecimiento a las poblaciones.

⁴⁶ El texto concreto en el que se resume uno de los objetivos del PNR es «modernizar las infraestructuras de distribución y aplicación del agua de riego para racionalizar el uso de los recursos, reducir la contaminación de origen agrario de las aguas superficiales y subterráneas y promover innovaciones en los sistemas de riego para reducir los consumos de agua» (el resalte tipográfico es mío).

Es claro que con estas perspectivas si bien puede producirse un ahorro de agua como consecuencia de la modernización, el mismo podrá dedicarse a finalidades agrarias propia de la tierra modernizada, ambientales o de otros usos. Pero nunca aumentar la superficie de riego porque ello, evidentemente, representaría nuevos consumos, nunca ahorro.

Esta orientación del derecho español de construir normas que prevean el destino de los ahorros de agua de alguna forma vinculados a los intereses de los que los generan (aunque no exclusivamente) está también presente en el art. 54 del Plan Hidrológico del Ebro aprobado por RD 1/2016. Su apartado primero, que dispone la revisión concesional de la forma que luego veremos tras la modernización o mejora de regadíos, indica que con carácter previo y en colaboración con la CR respectiva, se definirán «las alternativas de cultivo a incluir y las demandas de las mismas», lo que puede significar la atribución de los caudales ahorrados con la modernización a esos nuevos cultivos (que pueden ser de superior consumo). Ello se remacha indicando que «aquellos caudales liberados por una mejor utilización del agua y *no afectando a las garantías de los regadíos modernizados*, serán destinados preferentemente al régimen de caudales ecológicos o a asignaciones que se especifiquen dentro del Plan Hidrológico» (el resalte tipográfico es mío).

Constatada esta tendencia del derecho español y recordando el Reglamento europeo examinado en el apartado 4 (que es de directa aplicación como tal), paso a examinar las previsiones sobre la revisión concesional que se encuentran en distintas normas del derecho español.

5.2. La revisión concesional. Regulación general en el texto refundido de la ley de aguas y en normas autonómicas. El papel de los planes hidrológicos

Dado que la revisión concesional, como técnica, forma parte del articulado del TRLA de 2001, viene bien recordar que el art. 65 trata de esta cuestión y que en el mismo no se produce ninguna mención expresa a la modernización de regadíos sino que se trata de una regulación general, aplicable en abstracto para cualquiera de las situaciones, también generales, que allí se den. En todo caso creo que existiría una parte del mismo, que podría ser perfectamente aplicable al supuesto de la modernización. Transcribo el apartado 2 de dicho art. 65:

«Asimismo, las concesiones para el abastecimiento de poblaciones y regadíos podrán revisarse en los supuestos en los que se acredite que el objeto de la concesión puede cumplirse con una menor dotación o una mejora de la técnica de utilización del recurso, que contribuya a un ahorro del mismo».

Es decir, si la voluntad del Organismo de cuenca (que es el ente que debería actuar a estos efectos) fuera la de revisión concesional, podría perfectamente llevarla a cabo siempre, claro está, que se dieran las circunstancias que se refieren en este precepto: poder cumplir el objeto de la concesión con menor dotación o una mejora técnica (la modernización) que hace que se ahorre el recurso. Lo previsto en este artículo, que es legislación básica, sería aplicable en todas las cuencas hidrográficas españolas y es evidente, en el contexto del artículo, que no habría ninguna indemnización como consecuencia de esta revisión.

También existen algunas referencias a la posibilidad de aplicar la revisión concesional en normativa autonómica. Obviamente lo allí previsto solo podría considerarse legítimo en cuanto fuera desarrollo de la legislación básica estando en perfecta sintonía con ella y, además, aplicarse exclusivamente a las cuencas de gestión de la correspondiente comunidad autónoma.

Este sería el caso del art. 45 de la Ley 9/2010, de 30 de julio, de aguas para Andalucía, cuyo apartado 8 dispone que:

«En los usos agrarios, urbanos e industriales en los que haya tenido lugar una modernización de regadíos, de redes de abastecimiento o de las instalaciones industriales, respectivamente, la consejería competente en materia de agua, conjuntamente con la consejería competente por razón de la materia, revisará las concesiones para adecuarlas a la nueva situación existente, destinando los recursos obtenidos a las dotaciones del Banco Público del Agua.

»No obstante, la consejería competente en materia de agua destinará *parte del agua* al usuario de las mismas, cuando quede acreditado el cumplimiento de los criterios establecidos en el art. 24.4.a) de esta Ley, siempre que no existan en el correspondiente sistema de explotación desequilibrios entre las dotaciones de recursos y las demandas de agua.

»La revisión de las concesiones de acuerdo con lo establecido en el párrafo primero no conllevará indemnización alguna para su titular».

Mandato indubitable en el primer párrafo de revisar la concesión y destino específico de los recursos obtenidos pero posibilidad de que el usuario de las mismas obtenga «parte» de esos recursos cuando se cumpla lo previsto en un artículo que supone respeto, en los planes hidrológicos, de las necesidades

básicas del consumo doméstico y las ambientales para alcanzar el buen estado ecológico de las aguas. La conclusión de la falta de indemnizabilidad está en línea directa con la falta de indemnizabilidad que también se desprendería del art. 65 TRLA. Otra Ley autonómica se sitúa en la misma órbita que la Ley andaluza reseñada⁴⁷.

Por otra parte ya se ha advertido en el punto anterior que en la planificación hidrológica existen también referencias a la revisión concesional. Así, en esa línea hay que ver el art. 54 del Plan Hidrológico del Ebro que se refiere a la revisión de la concesión para que «los recursos hidráulicos inscritos se ajusten a las dotaciones de este plan», con lo que si ya se ajustaren, no habría que hacer revisión aun existiendo una modernización. También este plan, como hemos visto, dispone una posibilidad de uso por parte del titular de la concesión revisada, de los caudales liberados, al margen de su destino a caudales ecológicos o a las necesidades, en general, del plan.

No hay referencias a la revisión concesional en el actual Plan Hidrológico del Guadalquivir (solo se dice en el art.15 que los regadíos deberán incorporar mejoras por modernización) aunque, curiosamente, sí que existía en el plan del primer ciclo (aprobado por RD 355/2013, de 17 de marzo) un artículo, el 33. Su texto era muy semejante al art. 45 de la Ley 9/2010 andaluza, antes comentado⁴⁸.

6. Comentarios finales

La problemática jurídica de la modernización de regadíos no se agota aquí sino que un tratamiento más exhaustivo debería haberse referido también a las cuestiones de tratamiento ambiental de las actuaciones de modernización, a problemas de régimen energético (tarifas, energías renovables...) y, sobre todo, a la actuación de las CCRR en este ámbito, tema en el que se han producido múltiples dificultades que se han traducido en una intervención

⁴⁷ El art. 70 de la Ley 10/2014, de 27 de noviembre, de Aguas y Ríos de Aragón, copia lo establecido en la Ley andaluza sin más. Hay que advertir que bastantes preceptos de esta Ley están recurridos ante el TC por la razón esencial de que no existen cuencas hidrográficas de gestión de Aragón (es una comunidad de interior).

⁴⁸ Transcribo el precepto: «1. En los casos en que haya tenido lugar una modernización de regadíos, el Organismo de cuenca revisará las concesiones para adecuarlas a la nueva situación, destinando los recursos obtenidos a asegurar los objetivos del presente Plan Hidrológico. La revisión de las concesiones de acuerdo con lo establecido en el párrafo anterior no conllevará indemnización alguna para su titular. 2. En las ayudas que los distintos organismos, de las Administraciones central y autonómica, concedan para la modernización de infraestructuras y regadíos, se establecerán los objetivos del ahorro que se pretenden conseguir con el proyecto de modernización, en consonancia con lo establecido en el presente Plan Hidrológico. Estos objetivos deberán ser aceptados por los beneficiarios de la subvención y el Organismo de cuenca revisará las concesiones de acuerdo con dichos objetivos de ahorro, una vez que hayan finalizado las actuaciones contempladas en el correspondiente proyecto de modernización, teniendo en cuenta, asimismo, lo indicado en el apartado 1».

judicial muy profunda respondiendo a los recursos contencioso-administrativos interpuestos por distintos interesados. En todo caso, en algún momento hay que decir basta a la prosecución del estudio (no estaba en mi intención escribir una monografía) y las necesarias limitaciones de espacio que toda obra colectiva lleva consigo para sus partícipes, tienen mucho que decir sobre el particular y creo que, en general, los objetivos que formulé en el apartado 1 para este trabajo, ya han sido cubiertos⁴⁹.

En el momento presente los retos planteados lo son, fundamentalmente, de desarrollo y ejecución de una normativa europea (el Reglamento (UE) n.º 1305/2013 cuyo art. 46 se ha estudiado en el apartado 4) que plantea con sus condiciones para el apoyo a las actuaciones de modernización (inversiones en infraestructuras de regadío) retos inequívocos para los nuevos proyectos que se quieran realizar en función de sus prescripciones, en bastantes sentidos novedosas, sobre ahorro de agua y reducción de consumo.

Todo esto deberá llevarse a cabo en un contexto de notables reducciones de inversiones públicas que también afectan a la materia que tratamos y, en general, a las infraestructuras agrarias, no solo a las de modernización⁵⁰. Están abiertas, por tanto, unas incógnitas sobre el desarrollo futuro de la modernización, sobre todo en relación a su intensidad⁵¹. No cabe duda de que existen todavía muchos regadíos en el agro español por modernizarse y que el juicio positivo de las CCRR que han expresado en distintas ocasiones sobre esta técnica, animará a los sectores interesados a postular la prosecución de estas actuaciones. En ese futuro contexto sería de desear una mejor sistematización del ordenamiento jurídico de la modernización que debería tener en la legislación de aguas, su base fundamental.

⁴⁹ Las cuestiones ambientales las trato en Embid Irujo (2016), trabajo de próxima publicación.

⁵⁰ La Comunidad Autónoma de Aragón ha intentado poner en marcha nuevos mecanismos de financiación de actuaciones agrarias en la disposición adicional 8ª de la Ley 2/2016, de 28 de enero, de medidas fiscales y administrativas de la Comunidad Autónoma de Aragón, llamando, sobre todo, a una participación mucho más activa de las comunidades de regantes que anticiparían los importes de ciertas obras que les correspondería asumir en las zona regables de interés nacional íntegramente sitas en Aragón. Habrá que observar cuál es el desarrollo efectivo del precepto.

⁵¹ Remito a otros de los trabajos incluidos en este libro, en los que aparece muy palmariamente la fuerte reducción de inversiones en modernización que se prevé para el futuro.

Abreviaturas y acrónimos

CCAA	Comunidades autónomas.
CE	Constitución española (primera acepción) y Comunidad Europea (segunda).
CCRR	Comunidades de regantes.
CR	Comunidad de Regantes.
DIA	Declaración de Impacto Ambiental.
DOUE	Diario Oficial de la Unión Europea.
DMA	Directiva Marco de Aguas (Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre).
EEAA	Estatutos de Autonomía.
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental.
FEADER	Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural.
FEOGA	Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola.
PAC	Política Agraria Común (ahora de la Unión Europea).
PHN	Plan Hidrológico Nacional.
PNR	Plan Nacional de Regadíos.
RD	Real Decreto.
RDPH	Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
RPH	Reglamento de Planificación Hidrológica.
SEIASA	Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias.
STC	Sentencia del Tribunal Constitucional.
STS	Sentencia del Tribunal Supremo.
TRAGSA	Empresa de Transformación Agraria Sociedad Anónima.
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.
UE	Unión Europea.
WWF	World Wildlife Fund. (Fondo Mundial para la Naturaleza).

Referencias bibliográficas

- ABAD PIRACÉS, J. (2010): *Problemática de la modernización de regadíos en las Comunidades de Regantes*. Comunicación presentada en el XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España. Tarragona.
- ABAD PIRACÉS, J. (2011): «La sostenibilidad del regadío»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *Agua y Agricultura*. Navarra, Cizur Menor. Thomson-Reuters.
- BALLARÍN MARCIAL, A. (2007): *Problemas jurídicos de la transformación de secano a regadío y mejora de los regadíos*. Comunicación presentada en Foro de Derecho Aragonés. Actas de los decimosexto encuentros. Zaragoza, El Justicia de Aragón.
- BALTANÁS GARCÍA, A. (1993): «El Plan hidrológico Nacional»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *El Plan Hidrológico Nacional*. Madrid, Civitas.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678.
- CASTELLANO PRATS, J. L. (2005): *Régimen Jurídico de los Regadíos*. Zaragoza, El Justicia de Aragón.
- CASTELLANO PRATS, J. L. (2007): *Problemas jurídicos de la transformación de secano a regadío y mejora de los regadíos. Agua y regadío, desarrollo rural y medioambiente*. Comunicación presentada en Foro de Derecho Aragonés. Actas de los decimosexto encuentros. Zaragoza, El Justicia de Aragón.
- COMISIÓN EUROPEA (2012): Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa. COM(2012) 673 final.
- DEL CAMPO GARCÍA, A. (2011): «Problemática de la modernización del regadío»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *Agua y Agricultura*. Navarra, Cizur Menor. Thomson-Reuters.
- EMBID IRUJO, A. (1991): *La Planificación hidrológica. Régimen jurídico*. Madrid, Tecnos.
- EMBID IRUJO, A. (Ed.) (1993): *El Plan Hidrológico Nacional*. Madrid, Civitas.
- EMBID IRUJO, A. (2011): «La crisis del agua, de la agricultura y de las finanzas públicas: el papel del Derecho»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *Agua y Agricultura*. Navarra, Cizur Menor. Thomson-Reuters.

- EMBID IRUJO, A. (2012): *La constitucionalización de la crisis económica*. Madrid, Iustel.
- EMBID IRUJO, A. (2014): «El sector agrario»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *Derecho Público Aragonés*. Zaragoza, 5.ª edición. El Justicia de Aragón.
- EMBID IRUJO, A. (2016): «La empresa pública en el ciclo del agua. Infraestructuras hidráulicas, distribución y depuración»; *Presupuesto y Gasto Público* (83); pp. 105-122.
- EMBID IRUJO, A. (2016, próxima publicación): La modernización de regadíos en sus aspectos ambientales.
- EMBID IRUJO, A. y MARTIN L. (2016, próxima publicación): *El nexo agua-energía-alimentación en América Latina y el Caribe: planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias*. Santiago de Chile, Cepal.
- ENRECH VAL A. (2007): *Planteamiento del problema. La aplicación de la Directiva Marco de Aguas. Plan Hidrológico Nacional y Plan nacional de Regadíos*. Comunicación presentada en Foro de Derecho Aragonés. Actas de los decimosexto encuentros. Zaragoza, El Justicia de Aragón.
- ERRUZ I SEALL, J. (2011): «Programación pública de la reutilización de las aguas para riego agrícola»; en EMBID IRUJO, A., ed.: *Agua y Agricultura*. Navarra, Cizur Menor. Thomson-Reuters.
- GÓMEZ ESPÍN, J. M., LÓPEZ FERNÁNDEZ, J. A. y MONTANER SALAS, M. E. (2011): *Modernización de regadíos: sostenibilidad social y económica. La singularidad de los regadíos del trasvase Tajo-Segura*. Murcia, Universidad de Murcia.
- HORTA, M. A. (1998): *Modernización de regadíos: aspectos medioambientales, económicos y legales*. Comunicación presentada en IX Congreso de Comunidades de Regantes. Zaragoza.
- LAVILLA, J. J. (2008): *Comunidad General de Riegos del Alto Aragón*. Comunicación presentada en Aspectos legales de la modernización de regadíos. Huesca.
- NARANJO CHICHARRO, J. E. (2010): *Problemática de la modernización de regadíos*. Comunicación presentada en XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España. Tarragona.
- OLONA BLASCO, J. (2015): *Retos de la política de regadíos*. Blog iagua (acceso el 31 de octubre de 2015).

- SETUÁIN MENDÍA, B. (2015): «Las buenas prácticas agrarias como técnica de protección frente a la contaminación por fertilizantes: alcance y operatividad en las normas hídricas y agrícolas» en EMBID IRUJO, A., ed.: *Agua, energía, cambio climático y otros estudios de derecho ambiental. En recuerdo a Ramón Martín Mateo*. Navarra, Cizur Menor. Thomson Reuters Aranzadi.
- SUMPSI VIÑAS, J. M.; GARRIDO COLMENERO, A.; BLANCO FONSECA, M.; VARELA ORTEGA, C. e IGLESIAS MARTÍNEZ, E. (1998): *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Madrid, Mundi-Prensa.
- WWF (2015): *Modernización de Regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*.

La Política Agraria Común y la modernización de regadíos

José A. Gómez-Limón y Anastasio J. Villanueva

Universidad de Córdoba

1. La Política Agraria Común: una política europea con dos pilares

La Política Agraria Común (PAC), desde su creación en 1962, ha constituido la principal política común de la Unión Europea (UE). Esto implica que esta política es aprobada por las instituciones comunitarias para su posterior implementación en todos los Estados miembros y financiada a través del presupuesto de la UE.

La PAC nació en un entorno económico de escasez alimentaria tras la II Guerra Mundial. Este hecho justificó que sus primeros objetivos fuesen mejorar la productividad agraria, de forma que los consumidores dispusiesen de un suministro estable de alimentos a precios asequibles, y garantizar a los agricultores un nivel de vida razonable. De esta manera, hasta los años noventa del siglo pasado esta política tomó una orientación claramente proteccionista, caracterizada por medidas de mercado implementadas a través de sistemas de intervención (compras públicas y ayudas al almacenamiento privado) e impuestos a las importaciones de productos agrarios, que permitía tener precios interiores muy por encima de los mercados mundiales. Dichas medidas dieron sus frutos, de tal manera que la situación comunitaria de autoabastecimiento alimentario tornó de deficitaria a excedentaria.

Así, durante las primeras cuatro décadas de la PAC, esta se centró en uniformizar la *política de sostenimiento de rentas y regulación de mercados agrarios* implementada en el seno de la UE, pero dejando a los gobiernos nacionales autonomía para el diseño y aplicación de las políticas de estructuras agrarias y desarrollo rural que considerasen más conveniente. Este hecho justifica que España tuviese su propia política agraria en este ámbito, la cual se centró de manera especial en la expansión del regadío, como mejor medio para mejorar la competitividad de la agricultura (incremento de la productividad) y

el desarrollo socioeconómico de territorios rurales (generación de empleo y actividad económica en los sectores secundario y terciario asociados a este tipo de agricultura).

Sin embargo, de la mano del éxito de la PAC en incrementar la productividad agraria se generaron también efectos negativos. Por una parte, al emplear instrumentos de política acoplados a la producción, se produjo un crecimiento desmedido del presupuesto agrario como consecuencia de la aparición de excedentes de producción. Por otra parte, la excesiva orientación productivista de los agricultores fomentada por la PAC en este periodo llevó aparejada la producción de externalidades negativas importantes, tales como la emisión difusa de contaminantes, la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad, etc. Ambas circunstancias motivaron la primera gran reforma de la PAC, la reforma de 1992 (o *reforma MacSharry*), que vino a cambiar el sistema de ayudas ligadas a la producción por unas ayudas a la renta de los agricultores mediante pagos por hectárea y cabeza de ganado.

La segunda reforma de calado de la PAC ocurrió en el año 1999 (llamada *Agenda 2000*), cuando se avanzó en el sistema de apoyo a la agricultura basado en pagos por superficie y cabeza de ganado, pero donde la principal novedad fue el establecimiento de la *política común de desarrollo rural*, orientada a la reestructuración de las explotaciones y la diversificación de la producción agraria, la mejora de la transformación y comercialización de productos agrarios, y el fomento de iniciativas para la diversificación económica de los territorios rurales. Desde entonces la PAC cuenta con dos pilares:

- *Pilar I* (política de sostenimiento de rentas y regulación de mercados), que recibe la mayor parte del presupuesto, y que integra medidas anuales obligatorias de aplicación general orientadas a apoyar las rentas de los productores (pagos directos) y regular la gestión de los mercados agrarios (subsidios a la exportación, subvenciones al almacenamiento, etc.).
- *Pilar II* (política de desarrollo rural), que ha ido creciendo su presupuesto hasta el 20 % actual, y que se basa en medidas voluntarias adaptadas a las especificidades nacionales y regionales, dedicadas a la mejora de la competitividad de las explotaciones y agroindustrias, la preservación del medioambiente y la dinamización de los territorios rurales a través de la diversificación económica.

En el año 2003 la PAC volvió a reformarse estableciendo un nuevo sistema de ayudas directas a los agricultores denominado *pago único*, calculado –en el caso de España– individualmente en función de las ayudas que cada uno de estos productores recibió con anterioridad (modelo histórico). Este nuevo sistema de apoyo a las rentas agrarias permitió «desacoplar» las ayudas del nivel de producción o de la orientación productiva de los agricultores (García-Álvarez-Coque y Gómez-Limón, 2010). Posteriormente, los cambios introducidos en esta reforma recibieron leves ajustes en la revisión intermedia de la PAC del 2009 (llamada *chequeo médico*), que vinieron a profundizar en el desacoplamiento de las ayudas con la directriz de simplificar la política.

Más recientemente, en 2013, se aprobó la última reforma de la PAC, cuya principal novedad ha sido la sustitución del pago único por un nuevo sistema de pagos directos basados en el *pago básico y el pago verde* (Bardají, 2014). En el caso de Estados miembros donde –todavía– no se estuviese aplicando el modelo territorial, caso de España, esta reforma obliga a la adopción de dicho modelo de manera que la cuantía de los pagos establecidos dependa fundamentalmente de la región agraria en la que el productor desarrolle su actividad.

En todo caso, lo más destacable en relación con las dos últimas grandes reformas antes mencionadas para este capítulo es que, a través de ambas, se ha consolidado la política de desarrollo rural como segundo pilar de la PAC, incrementando su presupuesto y profundizando en su armonización en el conjunto de la UE mediante normas cada vez más vinculantes para los Estados miembros.

Dentro de este contexto, el objetivo de este capítulo es doble. En primer lugar se pretende presentar al lector cómo ha sido la evolución de la política de modernización de regadíos en España desde su implementación como una política nacional de estructuras hasta su reciente integración en el segundo pilar de la PAC. En segundo lugar se trata de exponer cómo va a ser la futura implementación de la política de modernización dentro de la programación de la PAC para el periodo 2014-2020.

Con el propósito de conseguir el objetivo antes comentado, este capítulo se estructura como sigue. Tras esta sección introductoria, en el segundo apartado se hace un repaso de la evolución de la política de regadíos acaecida en España hasta la actualidad, explicando cómo durante las últimas décadas se ha pasado de una política expansionista del regadío, a otra más enfocada a la conservación de los limitados recursos de agua existentes a través de la modernización del mismo. El tercer apartado se centra en explicar el marco normativo

comunitario para el nuevo periodo de programación 2014-2020, que determina las directrices a seguir por la política europea de desarrollo rural, y más concretamente por los programas de desarrollo rural, instrumentos operativos de esta política donde se incluyen las medidas de modernización de regadíos a implementar en los próximos años. En el cuarto apartado se presentan los detalles sobre la planificación de la política de modernización en España para el periodo 2014-2020, presentando las principales características de las medidas que se ha considerado con tal fin: objetivos, presupuesto, beneficiarios de las ayudas, porcentajes subvencionables y condiciones de admisibilidad de las inversiones a financiar. El capítulo termina con un apartado final dedicado a presentar las principales conclusiones que se derivan del mismo.

2. Política agraria y regadíos en España: antecedentes

2.1. *Expansión del regadío durante el siglo XX*

La transformación en regadío tiene como consecuencia directa una intensificación de la actividad agraria, que permite el aumento de los rendimientos de los cultivos existentes, así como la posibilidad de desarrollar nuevos cultivos imposibles bajo condiciones climáticas naturales (cultivos de verano y ciertos cultivos permanentes –p. ej., frutales). Ambos factores han hecho que, desde la antigüedad, el regadío se considere una actividad básica para la supervivencia de la humanidad (incremento de la producción de alimentos) y para su progreso económico y social (aumento de rentas y empleo). Se explica así cómo desde entonces la superficie regada en el mundo no ha parado de crecer, hasta llegar hoy en día a los 320 millones de hectáreas, haciendo del regadío un elemento clave para la alimentación del planeta y el desarrollo de las zonas rurales donde se localiza.

España no ha sido ajena al desarrollo de la agricultura de regadío. Este tipo de agricultura comenzó ya su andadura en nuestro país en tiempos anteriores a la dominación romana, evolucionando lentamente hasta llegar al millón de hectáreas al comienzo del siglo XX. No obstante, ha sido en el pasado siglo, y muy especialmente en su segunda mitad, cuando la expansión del regadío ha sido más intensa, gracias a la iniciativa de los poderes públicos. De esta forma, España se ha situado como el decimotercer país del mundo y el primero de la UE en superficie regada, con algo más de 3,5 millones de hectáreas.

El incremento de la producción agraria consecuencia del riego hace que la transformación en regadío haya sido una inversión altamente rentable, tanto desde una perspectiva privada (incremento de rentas de los agricultores) como pública (mejora de bienestar social a través de la generación de riqueza y empleo). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estas transformaciones han requerido de elevadas inversiones (infraestructuras de regulación, transporte, distribución y aplicación del agua), las cuales necesitan largos periodos de tiempo para su amortización. Ambas características han dificultado que estas inversiones hayan sido realizadas por la iniciativa privada. Por este motivo el proceso expansivo del regadío ocurrido en España, al igual que en el resto del mundo, solo se explica por las políticas de fomento de estas inversiones impulsadas desde los poderes públicos. Así, se puede afirmar que la transformación de secanos en regadíos fue durante todo el siglo XX *la principal política de desarrollo rural en España*, la cual ha permitido que los territorios rurales donde se ha implantado este tipo de agricultura hayan experimentado importantes cambios socioeconómicos, que en la mayoría de casos explican su actual viabilidad en términos demográficos.

En líneas generales cabe señalar que la política expansiva de los regadíos en España ha sido un éxito, en la medida que esta ha generado importantes impactos positivos:

- *Microeconómicos*: el regadío permite a los agricultores disfrutar de una mayor renta; una hectárea de regadío en España genera un margen neto promedio de 1.881 euros anuales, cifra que es 4,4 veces superior al margen neto medio generado por una hectárea de secano (MIMAM, 2007). Y, además, este mayor nivel de renta es más estable, gracias a que el regadío posibilita una mayor diversificación de los cultivos y reduce los riesgos derivados de la variabilidad de las precipitaciones.
- *Macroeconómicos*: a pesar de representar únicamente el 14 % de su superficie agraria útil, la elevada productividad del regadío hace que este aporte el 64 % de la producción vegetal española (Gómez-Limón, 2008). Además, debe tenerse en cuenta que esta actividad también impulsa de manera igualmente decisiva la producción de otras industrias y sectores económicos asociados: agroindustria, insumos agrarios, transportes, etc. (Duarte *et al.*, 2002).
- *Sociales*: la agricultura de regadío es una importante fuente de empleo en las zonas rurales, multiplicando por cuatro las necesidades

de mano de obra directa con respecto al secano (una hectárea de regadío emplea en promedio 0,141 UTA, mientras que una hectárea de secano necesita solo 0,037 UTA) (MAPA, 2001). La importancia social de la agricultura de regadío debe valorarse, asimismo, teniendo en cuenta la generación de puestos de trabajo indirectos en otras industrias y la mayor estabilidad de los puestos creados, dado que la producción de regadío es menos estacional (Gómez-Limón *et al.*, 2007). Ambas circunstancias fortalecen el vigor demográfico de las zonas rurales donde el regadío está presente, permitiendo que en estos territorios haya un mayor porcentaje de ocupados, una población más joven y una relación de géneros más equilibrada que en los territorios con predominio del secano (Sancho-Hazak, 2001).

2.2. Agotamiento del modelo expansionista

Tras décadas de intensa política desarrollista en materia hidráulica y de regadíos, en los años ochenta del pasado siglo comienzan a apreciarse en España los primeros síntomas de «madurez de la economía del agua», caracterizados por (MIMAM, 1998):

- Una demanda alta y creciente de agua.
- Una oferta inelástica del recurso a largo plazo, ya que las posibilidades de contar con nuevos recursos hídricos de calidad son cada vez más limitadas.
- Una intensa y creciente competencia por el uso del agua entre los distintos sectores económicos (agricultura, industria, producción de energía y ocio), los usos urbanos y el medioambiente (mantenimiento de caudales ecológicos).
- La aparición de las externalidades ambientales negativas, tanto de carácter cuantitativo como cualitativo, derivadas del uso abusivo (p. ej., sobreexplotación de acuíferos o disminución de flujos en los caudales naturales) o inadecuado (p. ej., contaminación difusa y puntual de masas de agua o su salinización) del recurso.
- Un coste de suministro del recurso cada vez mayor, debido a las crecientes inversiones necesarias para mantener en buen estado las infraestructuras hidráulicas existentes (embalses, sistemas de distribución)

y el elevado coste de las nuevas fuentes de agua (desalación, reutilización, etc.), que han tenido que desarrollarse ante la imposibilidad de contar con más recursos convencionales.

El avance de este proceso de madurez ha llevado a provocar el «cierre» de la mayor parte de las cuencas del sur y el este peninsular (Berbel *et al.*, 2013), situación descrita como aquella en la que no existe margen para la satisfacción de nuevas demandas, sin que ello provoque la reducción de otras demandas ya existentes (Molle *et al.*, 2010).

Este cambio en la situación hidráulica, que coincidió en el tiempo con la entrada de España en la UE, motivó un cambio paulatino en la política de regadíos. Efectivamente, tras años de expansión del sector hidráulico, en la que la construcción de nuevas infraestructuras fue la manera habitual de satisfacer las crecientes demandas de agua (orientación de la política hidráulica denominada como «política de oferta»), la entrada en la fase de madurez exigió un cambio en las directrices políticas con relación a la gestión del agua, sustituyendo paulatinamente la aplicación generalizada de la política de oferta por la llamada «política de demanda», enfocada hacia la satisfacción de las nuevas necesidades de agua mediante la reasignación de los recursos ya existentes. En este nuevo contexto de la implementación de políticas de gestión de la demanda han tomado protagonismo los denominados *instrumentos económicos*, basados en incentivos monetarios para promover la reducción de los usos actuales (la modernización de infraestructuras hidráulicas y la tarificación del agua) y la reasignación de los derechos de uso de manera voluntaria (los mercados de agua).

En relación con el regadío, este cambio de orientación política se constató por primera vez en Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2005 (PNR-2005), aprobado en 1996, donde ya reconocía la necesidad de acabar con las nuevas transformaciones como principal política de desarrollo rural (si bien contemplaba la terminación de las zonas regables que se encontraban en curso en ese momento). De esta manera, el incremento de la superficie de regadío durante las dos últimas décadas se ha moderado notablemente respecto a periodos anteriores. Sin duda, la creciente escasez del recurso y las mayores exigencias ambientales en relación al uso del agua como consecuencia de la aplicación de la Directiva Marco de Agua (DMA), agudizarán esta tendencia, por lo que no es de esperar que la superficie de riego en el conjunto del territorio nacional se incremente de manera significativa en un futuro.

Además, el PNR-2005 optó por reorientar la política de desarrollo rural, *priorizando la modernización de regadíos* como instrumento económico preferente dentro la nueva orientación de la «política de demanda». Esta política de modernización se implementaría a través de subvenciones para la renovación de instalaciones y sistemas de gestión de los regadíos, como vía para mejorar su eficiencia técnica y fomentar así el ahorro del recurso, tal y como se comenta en el próximo apartado.

2.3. La política de modernización de regadíos

Abandonada la estrategia de expansión del regadío, la política española de desarrollo rural se ha venido focalizando en la modernización de los regadíos existentes. En este sentido, durante el periodo 1996-2008 se aprobaron e implementaron diferentes instrumentos legales para gestión de esta política:

- El Plan Nacional de Regadíos (PNR) Horizonte 2005, aprobado mediante la Orden MAPA de 14 de marzo de 1996.
- El Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008, aprobado mediante el Real Decreto 329/2002, de 5 de abril.
- El Real Decreto-Ley 10/2005, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los daños producidos en el sector agrario por la sequía.
- El Plan de Choque, aprobado mediante el Real Decreto 287/2006, de 10 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palie los daños producidos por la sequía.
- El Plan de cierre del primer horizonte del PNR en modernización, aprobado mediante el Real Decreto 1725/2007, de 21 de diciembre.

Los objetivos que se pretendían alcanzar con estos instrumentos fueron (Naranjo, 2010):

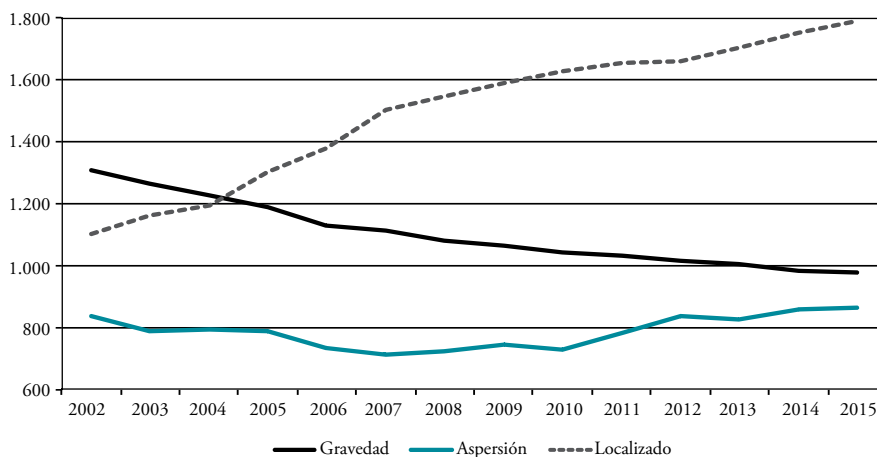
- a) Modernizar infraestructuras de distribución y aplicación de agua, para alcanzar un ahorro y una eficiente gestión del recurso.
- b) Incorporar criterios ambientales a la gestión de la zona de riego, al objeto de mejorar medioambientalmente las zonas regables y sus zonas de influencia (reducción de los procesos de contaminación y salinización).

- c) Consolidar el sistema agroalimentario asociado al regadío.
- d) Vertebrar los territorios rurales, contribuyendo a fijar población y mejorando la calidad de vida de la zona de influencia.
- e) Mejorar el nivel socioeconómico de los regantes.

Con carácter general, la financiación de las actuaciones realizadas para la modernización de regadío durante este periodo fueron 50 % pública y 50 % privada. De la parte pública, el 50 % correspondió a la Administración General del Estado a través de diferentes organismos dependientes del Ministerio de Agricultura (Subdirección General de Regadíos y Sociedades Estatales de Infraestructuras Agrarias, SEIASA) y el Ministerio de Medio Ambiente (Confederaciones Hidrográficas y Sociedades Públicas de Agua), y el otro 50 % lo aportaron las CCAA afectadas, de acuerdo con los convenios que suscritos entre las administraciones estatal y autonómicas. La mayor parte de la financiación pública, tanto estatal como autonómica, procedía de fondos de sus propios presupuestos, como corresponde a lo que entonces era una política nacional. No obstante, la modernización de regadío durante este periodo también se benefició de la financiación que aportaron los Programas de Desarrollo Rural (PDR), financiados por el FEOGA-Orientación. Esta cofinanciación comunitaria supuso el 30 % del total de la financiación pública de esta política.

Fruto del impulso de la política de modernización, durante la primera década del siglo XXI, el regadío español ha experimentado una auténtica revolución tecnológica, que ha permitido renovar los sistemas de distribución y aplicación de riego de 1,5 millones de hectáreas, con una inversión de 3.815 millones de euros, de los cuales 2.643 millones se corresponden a la inversión pública y 1.172 millones a la privada, todo ello sin contar con la inversión en el sistema de riego dentro de las parcelas (MARM, 2010).

El Gráfico 1 muestra los efectos de la modernización sobre las técnicas de riego. Efectivamente, puede comprobarse cómo durante los últimos años la tradicional técnica de riego por superficie está siendo sustituida paulatinamente por la técnica de riego localizado, pasando a ser esta última la más extendida en la actualidad, ocupando el 49,3 % de la superficie regada en España (MAGRAMA, 2015).

Gráfico 1. Evolución de la superficie regada en España según el sistema de riego (2002-2015). En miles de hectáreas

Fuente: MAGRAMA (2015). Elaboración propia.

Según estimaciones oficiales, el ahorro de agua conseguido durante el periodo 2002-2010 gracias a esta política cabe estimarlo en 1.925 hm³ al año (Naranjo, 2010). No obstante, diferentes autores han mostrado sus dudas sobre si la mejora de la eficiencia técnica del riego a resultas de la modernización se ha traducido verdaderamente en ahorros de agua (para una revisión al respecto véase Berbel *et al.*, 2015, así como el capítulo 8 de esta misma obra), dado que estos procesos normalmente han venido acompañados de aumentos en los consumos unitarios por superficie y en las superficies regadas. En cualquier caso, las cifras oficiales parecen corroborar el efecto de conservación del agua de la política de modernización implementada, pues a pesar que durante el periodo 2002-2010 la superficie de regadío se incrementó en un 6,7 % (MAGRAMA, 2015), el uso de agua por el sector agrario se redujo en un 8,3 % (INE, 2013).

El modelo de éxito de la política de modernización en España se ha tratado de perpetuar durante la segunda década del siglo XXI, diseñando los siguientes nuevos instrumentos:

- Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural.

- Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos. Horizonte 2015 (ENMSR-2015).
- Los PDR del periodo de programación 2007-2013.

A pesar de ello, el impulso de la política de modernización de regadíos se ha ralentizado de manera importante a partir de 2010 como consecuencia directa de la crisis económica y las restricciones presupuestarias que viene padeciendo España desde entonces. Efectivamente, terminada la ejecución del Plan Nacional de Regadíos y del Plan de Choque de Modernización de Regadíos, la continuidad de la política de modernización de regadíos durante el periodo 2010-2015 estaba prevista que se realizase mediante la denominada *Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos Horizonte 2015*, a desarrollar en coordinación con la Ley para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural y los PDR autonómicos. No obstante, las necesidades de ajuste en el gasto público de los últimos años han provocado que esta nueva estrategia de regadíos (con el correspondiente plan de inversiones y financiero) no se aprobase. De igual manera, la *Ley de Desarrollo Sostenible del Medio Rural* apenas se ha desarrollado por falta de dotación presupuestaria, haciendo que la implementación del primer programa de desarrollo rural sostenible para el periodo 2010-2014 (aprobado mediante Real Decreto 752/2010, de 4 de junio) y de los planes de zona esté prácticamente paralizada. De esta forma, *los PDR han quedado en la práctica como únicos instrumentos financieros para el fomento de la modernización de regadíos.*

Efectivamente, ante las dificultades de las administraciones españolas durante los últimos años para financiar las costosas inversiones de la modernización, las actuaciones emprendidas en esta materia se han limitado a aquellas que han podido contar con el respaldo financiero del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), instrumentalizado a través de los PDR. Estos programas son elaborados por los Estados miembros (CCAA en España conforme a su marco competencial, contando con la coordinación del gobierno central a través del documento de Marco Nacional) siguiendo las directrices marcadas a nivel comunitario. Así, para contar con la financiación del FEADER se requiere que estos PDR sean aprobados por la Comisión Europea (en adelante, simplemente Comisión), quien supervisa que la implementación de los mismos se ajusta a la normativa comunitaria.

De esta manera, la política de modernización en España ha dejado de ser una política de desarrollo rural de carácter eminentemente nacional, para pa-

sar a ser parte del segundo pilar de la PAC. Así, ante la falta de capacidad presupuestaria propia, la participación de los gobiernos central y de las CCAA se ha tenido que adaptar a los requisitos impuestos por esta política comunitaria para todos los Estados miembros. Por tanto, las aportaciones presupuestarias de los gobiernos central y autonómicos se han limitado a las estrictamente necesarias para cubrir las exigencias de cofinanciación requeridas para movilizar los recursos del FEADER con los que se financian las acciones amparadas por la política común de desarrollo rural.

Siguiendo la norma europea, los PDR del periodo de programación 2007-2013 se elaboraron al objeto de alcanzar tres objetivos o ejes fundamentales: 1) el aumento de la competitividad de la agricultura y silvicultura, 2) la mejora del medioambiente y del entorno rural, y 3) la mejora de la calidad de vida en las zonas rurales y la diversificación de la actividad económica en el conjunto del medio rural. Dentro del primero de estos ejes, España estableció a través de su Marco Nacional que en todos los programas autonómicos se incluyese como actuación prioritaria la *optimización de la eficacia hídrica en los sistemas de regadío*. Por este motivo, todos los PDR autonómicos incluyeron como medida horizontal del eje 1 la *gestión de recursos hídricos* (medida 125.1), orientada a la modernización de infraestructuras de riego públicas o gestionadas por comunidades de regantes. Esta medida ha sido complementada con la de *modernización de explotaciones agrícolas* (medida 121), igualmente incluida en todos los PDR autonómicos (aunque no es una medida horizontal establecida en el Marco Nacional), y que ha permitido financiar las inversiones de cambios de sistemas de riego a título individual (‘amueblamiento’ de la parcela).

En cualquier caso, debe comentarse que las inversiones realizadas en materia de modernización de regadíos financiadas por los PDR 2007-2013 han sido significativamente menores que las del anterior periodo de programación 2000-2006 (Martínez Arroyo, 2008). Así, sin contar con las inversiones en el sistema de riego dentro de las parcelas, durante el periodo 2000-2006 los PDR aportaron un total de 1.833 millones de euros de inversión pública a la política de modernización, cantidad que se ha reducido hasta 1.030 millones de euros (-44 %) durante el periodo 2007-2013.

Esta reducción en las inversiones está justificada por las exigencias de la normativa europea del FEADER, que pide que los PDR financien todo un conjunto de medidas de la política de desarrollo rural comunitaria, fijando unos límites mínimos para la dotación de cada eje (en España al eje 1, donde

se incluye la política de modernización de regadíos, se le asignó el 44 % de los fondos del FEADER). Esto explica que la dotación presupuestaria de la política de modernización de regadíos esté limitada por las obligaciones de gasto en otras medidas recogidas igualmente en el segundo pilar de la PAC. Además, debe señalarse que por las dificultades presupuestarias del gobierno central y de las CCAA con motivo de la crisis económica, el nivel de ejecución de estos programas ha sido menor al planificado inicialmente (falta de la cofinanciación necesaria para movilizar los recursos financieros del FEADER). A ello se ha unido también la falta de financiación por parte del sector privado para poder aportar la parte privada necesaria para la realización de este tipo de actuaciones cofinanciadas. Así, a pesar de la flexibilidad introducida por la denominada regla «n+2», que ha permitido que inversiones comprometidas para el periodo de programación 2007-2013 se puedan ejecutar con la cofinanciación nacional necesaria hasta el año 2015, la no ejecución de los PDR según lo programado ha provocado que para el conjunto nacional se hayan perdido 366 millones de euros del FEADER. En este sentido destacan negativamente las comunidades de Madrid (25,2 % de los fondos para desarrollo rural no utilizados), Comunidad Valenciana (9,7 %), Baleares (9,2 %), Andalucía (6,8 %) y Extremadura (6,7 %). Todavía habrá que esperar algunos meses para que se publiquen los datos desagregados de la ejecución de los PDR 2007-2013, y así comprobar el verdadero nivel de ejecución de las inversiones asociadas a la modernización de regadíos (medida 125.1, gestión de recursos hídricos) durante este periodo.

3. La modernización de regadíos dentro de la nueva política común de desarrollo rural

3.1. El nuevo periodo de programación 2014-2020

El diseño de la política de desarrollo rural en la UE para el siguiente periodo de programación 2014-2020 ha cambiado sustancialmente respecto al periodo anterior (Gallardo, 2014). Así, el segundo pilar de la PAC, financiado a través del FEADER, se ha integrado dentro la *política general de cohesión de la UE*, orientada a alcanzar los objetivos de la *Estrategia Europa 2020* en favor de un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Con el propósito de que el desarrollo de dicha estrategia sea lo más eficiente posible, se ha dispuesto que la planificación de todos los fondos europeos (FEADER, Fondo

de Desarrollo Regional –FEDER–, Fondo Social Europeo –FSE–, Fondo Europeo Marítimo y de la Pesca –FEMP– y Fondo de Cohesión –FC) se realice de manera coordinada. Para ello se ha elaborado el *Marco Estratégico Común* (MEC), documento donde se consignan los once objetivos temáticos (OT) a conseguir mediante la programación coordinada de todos los fondos. De estos OT, cabe destacar tres de ellos, en la medida que de ellos pueden derivarse actuaciones de modernización de regadíos (Gómez-Limón, 2014):

- OT4. Favorecer la transición a una economía baja en carbono.
- OT5. Promover la adaptación al cambio climático y la prevención y gestión de riesgos.
- OT6. Proteger el medioambiente y promover la eficiencia en el uso de recursos.

Este alineamiento de la modernización de regadíos con los OT del MEC (impacto positivo sobre la eficiencia energética, la resiliencia de los sistemas de regadío frente a la escasez creciente y los eventos extremos asociados al cambio climático, y el ahorro de agua) evidencia el encaje de esta política dentro de la estrategia general de cohesión Europa 2020 durante el próximo periodo de programación 2014-2020.

Para orientar de manera específica la programación de los fondos europeos en cada uno de los Estados miembros, la Comisión ha elaborado un *Documento de posición por país*, donde se incluyen recomendaciones sobre los principales retos a abordar en cada Estado miembro, así como las correspondientes prioridades de financiación. En el caso de España, en este documento se han señalado cuatro principales retos, entre los cuales se menciona evitar la *utilización ineficiente de los recursos naturales*, destacando en este sentido la enorme presión sobre los recursos hídricos. Al objeto de afrontar este reto, en el Documento de posición se proponen dos prioridades de financiación íntimamente relacionadas con la política de modernización de regadíos:

- La *mejora de la gestión del agua utilizando medidas sobre la demanda*. Para ello la Comisión considera prioritaria la financiación de: a) medidas que posibiliten curvar la demanda (adecuada política de precios para la recuperación de costes), b) medidas que reduzcan la presión sobre los recursos hídricos (reducir pérdidas en conducciones

y modernizar los sistemas de regadío existentes), y c) la mejora de la calidad de las aguas (en especial, reduciendo la contaminación por nitratos). En todo caso, la Comisión recomienda reducir el presupuesto asignado a esta prioridad en relación con el del periodo 2007-2013.

- La *mejora de la eficiencia energética*. Se propone que se financien prioritariamente medidas encaminadas a la eficiencia energética en la agricultura (regadíos) y en el sector agroindustrial.

Estas recomendaciones se han contemplado debidamente en el *Contrato de Asociación* elaborado por parte del Ministerio de Hacienda y aprobado por la Comisión, donde se concretan las prioridades estratégicas a nivel nacional en materia de política de cohesión, esbozando asimismo el uso previsto de los fondos europeos para lograr de manera coherente los objetivos de la Estrategia Europa 2020.

Para la elaboración de los PDR, además de lo establecido en el Contrato de Asociación, debe respetarse igualmente lo dispuesto por la norma comunitaria que regula el funcionamiento de la política común de desarrollo rural; el Reglamento UE 1305/2013, del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013 relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del FEADER. En este sentido debe señalarse en primer lugar que las actuaciones de desarrollo rural financiadas con el FEADER deben centrarse en seis *prioridades* políticas (Gallardo, 2014). Entre dichas prioridades, en relación con la política de regadíos, cabe destacar la prioridad P5: *promover la eficiencia de los recursos y alentar el paso a una economía baja en carbono y capaz de adaptarse a los cambios climáticos* en los sectores agrario, alimentario y silvícola, que a su vez se descompone en tres ámbitos de interés o *focus areas* (FA):

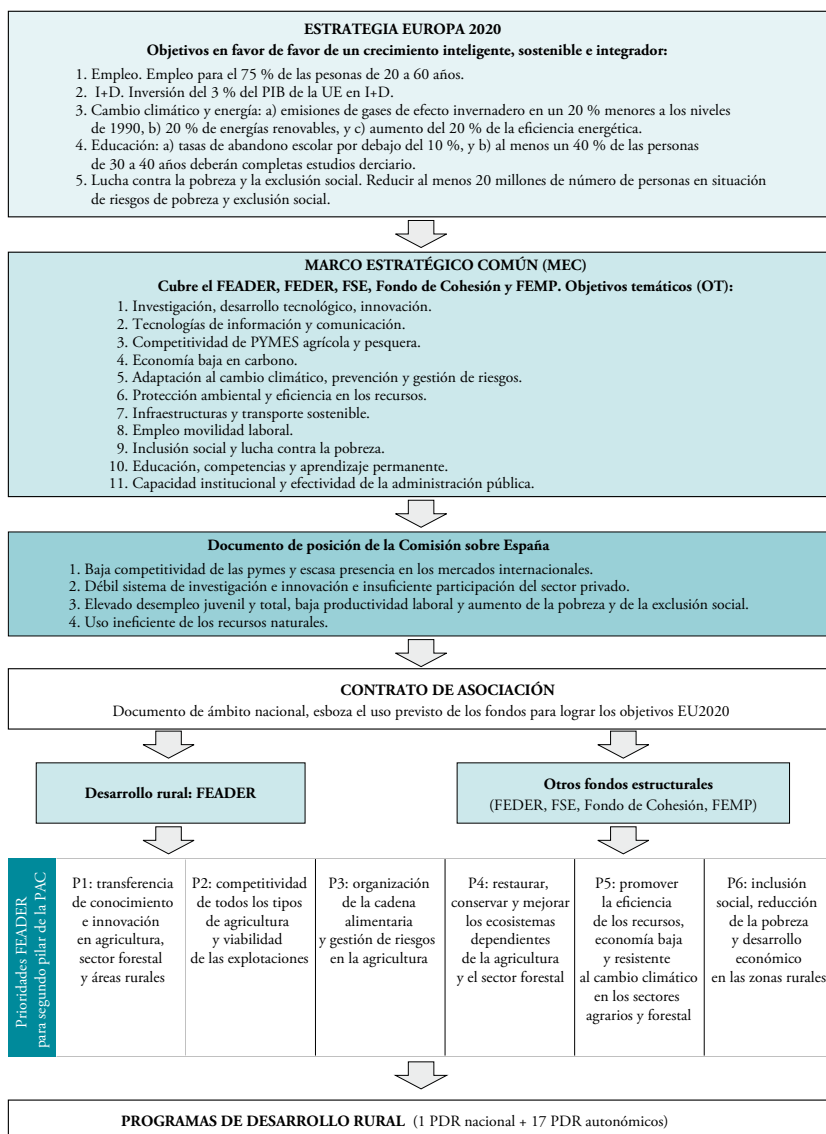
- FA 5A: *lograr un uso más eficiente del agua en la agricultura,*
- FA 5B: *lograr un uso más eficiente de la energía en la agricultura y en la transformación de alimentos, y*
- FA 5C: *facilitar el suministro y el uso de fuentes renovables de energía.*

Conjugando las recomendaciones incluidas en el Documento de posición de la Comisión y las prioridades del FEADER, resulta evidente que las medidas de modernización de regadíos continúan siendo prioritarias para el diseño de los PDR. En cualquier caso, como se ha comentado con anterioridad, la

recomendación de la Comisión es que la dotación presupuestaria para este tipo de medidas se reduzca respecto al anterior periodo de programación.

La Figura 1 viene a sintetizar el complejo nuevo marco de programación para el desarrollo rural relativo al periodo 2014-2020, comentado en los párrafos precedentes.

Figura 1. Nuevo marco de programación para el desarrollo rural



Conforme a lo dispuesto en el Contrato de Asociación y el Reglamento que regula el funcionamiento del FEADER, el gobierno central y las CCAA han elaborado sus respectivos PDR. Estos programas han tenido que ser aprobados por la Comisión, que supervisa el alineamiento de estos con respecto a la política común de desarrollo rural. El primer PDR aprobado en España fue el PDR nacional (mayo 2015), tras el cual se sucedieron la aprobación de los 17 PDR autonómicos durante el segundo semestre de 2015. En este sentido debe resaltarse que, aunque el periodo de programación es 2014-2020, el retraso en la aprobación de estos programas hace en la práctica estos deban implementarse en el periodo 2016-2020.

Para el periodo de programación 2014-2020, del total de 95.338 millones de euros de presupuesto comunitario destinados al segundo pilar de la PAC para la UE-28, a España le corresponden 8.297 millones de euros. De esta dotación del FEADER para España, el gobierno central se ha asignado 238 millones de euros para financiar el PDR nacional, repartiendo los 8.060 millones de euros restantes entre las CCAA como se aprecia en la Tabla 1.

A diferencia de las medidas del primer pilar de la PAC, que son financiadas completamente por el presupuesto comunitario, las medidas incluidas en los PDR son cofinanciadas por la UE y por los Estados miembros. Así, la dotación financiera de estos programas cuenta con las aportaciones del FEADER presentados en la tabla anterior (cofinanciación comunitaria), más la correspondiente aportación del Estado (cofinanciación nacional), que en el caso de España corre a cargo tanto de la Administración General del Estado como de las CCAA. En este sentido debe comentarse que el porcentaje de cofinanciación nacional exigido para movilizar los recursos del FEADER varía en función del grado de desarrollo de las regiones afectadas. Así, como establece el Reglamento de la UE que regula el uso del FEADER, se han fijado los siguientes porcentajes máximos de cofinanciación comunitaria sobre el total del gasto público subvencionable:

- Regiones menos desarrolladas (*Extremadura*) y regiones ultraperiféricas (*Canarias*): 85 %.
- Regiones en transición o que salen de convergencia (*Andalucía, Castilla-La Mancha y Galicia*): 75 %.
- Otras regiones en transición (*Murcia*): 63 %.
- Regiones desarrolladas (*el resto de CCAA españolas*): 53 %.

Tabla 1. Dotación presupuestaria del FEADER para los PDR

	Periodo 2007-2013		Periodo 2014-2020	
	Asignación (M€)	Reparto (%)	Asignación (M€)	Reparto (%)
Andalucía	2.117,8	26,5	1.910,5	23,7
Aragón	465,8	5,8	467,0	5,8
Asturias	306,3	3,8	325,0	4,0
Islas Baleares	47,9	0,6	61,0	0,8
Islas Canarias	157,5	2,0	157,5	2,0
Cantabria	81,3	1,0	98,8	1,2
Castilla y León	849,0	10,6	969,2	12,0
Castilla-La Mancha	1.143,1	14,3	1.147,8	14,2
Cataluña	314,0	3,9	348,7	4,3
Comunidad Valenciana	176,5	2,2	204,0	2,5
Extremadura	886,2	11,1	890,9	11,1
Galicia	888,8	11,1	889,8	11,0
Madrid	76,2	1,0	76,5	0,9
Región de Murcia	219,2	2,7	219,3	2,7
Navarra	129,0	1,6	136,5	1,7
País Vasco	85,1	1,1	87,1	1,1
La Rioja	57,9	0,7	70,0	0,9
Total CCAA	8.002,0	100,0	8.059,6	100,0

Fuente: Acuerdo de la Conferencia Sectorial de Desarrollo Rural de 21 de enero de 2014.

Los porcentajes restantes de financiación pública hasta llegar al 100 % tendrán que ser aportados por la cofinanciación nacional. De esta dotación nacional, el 30 % serán aportaciones de la Administración General del Estado y el restante 70 % saldrá de los presupuestos autonómicos.

3.2. Exigencias del FEADER para la financiación de la modernización de regadíos

El Reglamento que regula el uso del FEADER expone de manera pormenorizada en su artículo 46 las características que deben tener las inversiones en instalaciones de riego para ser financiables por los PDR. A este respecto se establece que la elegibilidad de cualquier inversión en materia de regadíos está condicionada inicialmente (condicionalidad *ex-ante*) al cumplimiento de las siguientes circunstancias:

- Disponer de *planes hidrológicos de demarcación* de conformidad con la DMA, aprobados y comunicados a la Comisión, cuyos programas de medidas contemplen las actuaciones para el sector agrícola encaminadas a la consecución del buen estado de las masas de agua.
- Disponer de una *política de precios adecuada* conforme al principio de recuperación de costes por los servicios del agua.
- Disponer (o instalarse como parte de la inversión propuesta) de *sistemas de contadores* que permitan medir el uso de agua correspondiente a la inversión objeto de la ayuda.

En el caso de medidas de *modernización de regadíos existentes*, la elegibilidad de las inversiones está condicionada a que la mejora de las instalaciones de riego permitan un *ahorro potencial de agua de entre un 5 % y un 25 % como mínimo*, siempre y cuando su realización afecte a masas de agua cuyo estado haya sido calificado como bueno en el correspondiente plan hidrológico. Si la actuación afecta a masas de agua cuyo estado haya sido calificado como inferior a bueno, la financiación FEADER de la inversión estará condicionada a que esta, además del ahorro potencial mínimo antes comentado, garantice una *reducción efectiva del uso de agua de al menos el 50 % del ahorro potencial a conseguir* con la inversión. Estas condiciones relativas al ahorro potencial y reducción en el uso de agua no son aplicables a las inversiones destinadas a mejorar la eficiencia energética, a la construcción de balsas de regulación o al uso de aguas regeneradas, las cuales serán elegibles en todo caso.

El cumplimiento de los porcentajes de ahorro potencial de agua no debería suponer obstáculo alguno para la modernización de regadíos en España, pues como se ha evidenciado durante los últimos años, estas inversiones, en su mayoría consistentes en la sustitución de sistemas de riego por superficie –poco eficientes– por riego por aspersión o localizado, podrían generar un importante ahorro en el agua usada.

En este sentido es necesario aclarar que el agua «usada» para riego es aquella que se extrae de la masa de agua origen del recurso (embalse, río o acuífero). Dicha extracción requiere de la correspondiente autorización (concesión o asignación en el plan hidrológico) por parte de la confederación hidrográfica u organismo de cuenca, quien limita dicha extracción a un volumen máximo reflejado en el título concesional o asignación en el correspondiente plan hidrológico. En cualquier caso, el volumen de agua usado para regar

anualmente o dotación se determina en función de las disponibilidades de agua existentes en cada año hidrológico. Lo relevante es que el volumen de la dotación (agua usada) no es completamente «consumida» (evapotranspirada) por los cultivos, pues existen pérdidas durante su transporte hasta la zona de riego, su distribución entre las parcelas regadas y su aplicación en los cultivos. Una parte de estas pérdidas se evaporan directamente a la atmósfera, otra parte es usada por vegetación arvense, y el resto de estas pérdidas vuelve al medio hídrico aguas abajo a través de los denominados retornos. El objetivo de la mayoría de procesos de modernización está encaminado a aumentar la eficiencia del riego (minimizar las pérdidas antes mencionadas), haciendo posible una disminución del agua «usada» (ahorro potencial). Así, es usual encontrar ahorros potenciales de agua usada del 20-30 % como resultado de la modernización. Sin embargo, en algunos casos el agua realmente «consumida» por los cultivos no se reduce tras la modernización en la misma medida que el agua «usada», pues los ahorros potenciales se emplean parcialmente para incrementar la dosis de riego efectiva (cultivos con mayores necesidades hídricas) o, incluso, incrementar la superficie regada (Berbel *et al.*, 2015). Este fenómeno se denomina ‘efecto rebote’ y es objeto de análisis en los capítulos 6 y 8 del presente libro, por lo que se recomienda su lectura para una explicación más detallada del mismo.

Por lo comentado en el párrafo anterior es fácil deducir que, si bien el cumplimiento de los porcentajes de ahorro potenciales de agua no debe suponer obstáculo alguno para la elegibilidad de las inversiones de modernización, todo lo contrario ocurre con la condición relativa a la reducción efectiva en el uso del agua, que sí podría convertirse en un serio impedimento para continuar con el proceso de modernización del regadío español. Efectivamente, habida cuenta de que la práctica totalidad del regadío español afecta a masas de agua cuyo estado no ha sido calificado como bueno en los correspondientes planes hidrológicos, la modernización deberá ir inequívocamente asociada a una reducción en el volumen de la concesión o asignación otorgada por los organismos de cuenca entre un 2,5 % y un 25 %, según el ahorro potencial conseguido con estas inversiones. Esta reducción, sin duda, supone un desincentivo para las comunidades de regantes a la hora de abordar estas inversiones, pues con ello se limitarán los beneficios que hasta la fecha estas han venido obteniendo por la modernización gracias al uso efectivo del agua potencialmente ahorrada: a) aumento del consumo de agua por hectárea en los casos de regadíos deficitarios, b) aumento en la superficie de los cultivos con

mayores necesidades hídricas (normalmente más rentables), y en ocasiones, c) pequeños incrementos en la superficie de riego de zona regable. Por este motivo, es de prever que la demanda de inversiones de modernización se reduzca, ya que los costes operativos de las nuevas inversiones (especialmente los energéticos) serán superiores a los beneficios privados derivados de la misma.

El Reglamento del FEADER también contempla la posibilidad de financiar inversiones en *nuevos regadíos y ampliaciones de los ya existentes*, aunque la elegibilidad de tales inversiones está sometida a condiciones incluso más estrictas que las de modernización. Así, según establece en la norma comunitaria, estas actuaciones solo serán financiables si el estado de la masa de agua afectada ha sido calificado como bueno en el correspondiente plan hidrológico, y la correspondiente evaluación ambiental descarta un impacto significativo. Tales exigencias harán prácticamente imposible que puedan financiarse nuevas transformaciones de regadío, dada la generalizada presión existente sobre las masas de agua (estado inferior a bueno) de las zonas potencialmente regables y el impacto ambiental inherente a las grandes transformaciones. No obstante, como excepción a esta regla general, el Reglamento sí autoriza la financiación de inversiones para la creación de nuevas instalaciones de riego cuyo suministro de agua procedan de embalses existentes antes del 31 de octubre de 2013, si así se contempla en el correspondiente plan hidrológico de conformidad con la DMA. Asimismo se contempla como excepción las inversiones que combinen la modernización de un regadío y su ampliación, siempre que la modernización permita un ahorro potencial de agua de entre un 5 % y un 25 % como mínimo, y se produzca una reducción del uso del agua para el conjunto de la inversión de al menos el 50 % del ahorro potencial de la inversión de modernización.

En resumen, la financiación de nuevos regadíos quedará limitada a transformaciones ya programadas en el pasado que tengan garantizada la oportuna reserva de agua en el plan hidrológico correspondiente, y a pequeñas ampliaciones de zonas regables ya existentes ligadas a la mejora de la eficiencia en el uso de agua de riego.

Dadas las nuevas restricciones a las inversiones en regadíos resulta evidente que la dotación presupuestaria necesaria deberá ser recortada sustancialmente respecto al anterior periodo de programación, tal y como recomienda la Comisión en su Documento de posición. En próximo apartado se ofrecen cifras concretas sobre este respecto.

4. La modernización de regadíos en los nuevos PDR

4.1. Instrumentación de la modernización de regadíos

El Reglamento UE 1305/2013 que regula el uso del FEADER, además de fijar las prioridades de la UE en relación con la política común de desarrollo rural, establece unas normas para la elaboración y estructura de los PDR como instrumentos operativos del segundo pilar de la PAC. De manera sintética, el proceso de elaboración establecido comienza con la realización de un *análisis DAFO* del medio rural del territorio sobre el que se va actuar (Estado y región), al objeto de detectar las *necesidades* que deben ser abordadas por el programa. A continuación se elabora la estrategia de actuación, definiendo los *objetivos* del programa y su correlación con las prioridades comunitarias, seleccionando finalmente la *combinación de medidas* a implementar de entre las dispuestas en el Reglamento UE 1305/2013 con este propósito a manera de menú:

- M01: acciones de transferencia de conocimientos e información (art. 14).
- M02: servicios de asesoramiento, gestión y sustitución destinados a las explotaciones agrícolas (art. 15).
- M03: regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios (art. 16).
- M04: inversiones en activos físicos (art. 17).
- M05: reconstitución del potencial de producción agrícola dañado por desastres naturales y catástrofes e implantación de medidas preventivas adecuadas (art. 18).
- M06: desarrollo de explotaciones agrícolas y empresariales (art. 19).
- M07: servicios básicos y renovación de poblaciones en las zonas rurales (art. 20).
- M08: inversiones en el desarrollo de zonas forestales y mejora de la viabilidad de los bosques (art. 21 a 26).
- M09: creación de grupos y organizaciones de productores (art. 27).
- M10: agroambiente y clima (art. 28).
- M11: agricultura ecológica (art. 29).
- M12: ayuda al amparo de Natura 2000 y de la DMA (art. 30).

- M13: pagos a zonas con limitaciones naturales u otras limitaciones específicas (art. 31).
- M14: bienestar de los animales (art. 33).
- M15: servicios silvoambientales y climáticos y conservación de los bosques (art. 34).
- M16: cooperación (art. 35).
- M17: gestión del riesgo (art. 36 a 39).
- M19: apoyo para el desarrollo local de LEADER (art. 42 a 44).

Por lo ya comentado, resulta fácil deducir que de los análisis DAFO realizados en España tanto a nivel nacional como de las distintas CCAA se han derivado importantes necesidades relacionadas con la modernización del regadío. Así, la estrategia de actuación de prácticamente todos los PDR han fijado objetivos relacionados con la quinta prioridad comunitaria (P5), y más concretamente con el ámbito de interés o *focus area FA 5A: lograr un uso más eficiente del agua en la agricultura*. Las únicas excepciones a nivel nacional han sido las CCAA de Asturias y Cantabria y Galicia, dada la poca presencia del regadío en sus respectivos territorios y la irrelevancia de los problemas relacionados con la escasez de agua.

Para conseguir el objetivo de mejorar la eficiencia del uso del agua de riego, la principal medida seleccionada en los PDR ha sido la M04: *Inversiones en activos físicos*¹. En cualquier caso, en la mayoría de PDR esta medida se propone que sea complementada por otras medidas como las orientadas a Acciones de transferencia de conocimientos e información (M01), Servicios de asesoramiento, gestión y sustitución destinados a las explotaciones agrícolas (M02) y Cooperación (M16), tal y como se aprecia en la Tabla 2.

¹ Tan solo en los PDR del País Vasco y Baleares, la medida M04 (Inversiones en activos físicos) no ha sido seleccionada como instrumento de la modernización de regadíos.

Tabla 2. Implementación de la modernización de regadíos (FA 5A) en los PDR

PDR	Medidas para consecución FA 5A	Gasto público previsto consecución FA 5A (euros)	Tierra de regadío que pasa a un sistema de riego más eficiente previsto 2024		Número de operaciones
			(%)	(ha)	
Andalucía	M04	112.500.000	8,7	66.493	74
Aragón	M04, M16	30.360.618	5,3	20.000	200
Islas Baleares	M01	193.659			
Islas Canarias	M01, M02, M04, M16	27.300.166	10,8	1.700	504
Castilla y León	M04	189.635.521	9,8	42.484	720
Castilla-La Mancha	M01, M02, M04, M16	48.644.891	2,4	10.000	531
Cataluña	M01, M02, M04, M16	32.200.000	2,3	6.000	250
Com. Valenciana	M04	53.020.000	5,6	14.872	487
Extremadura	M01, M04	38.298.196	15,6	40.000	213
Madrid	M01, M02, M04	4.491.889	7,1	1.474	67
Región de Murcia	M01, M02, M04, M16	39.725.120	9,0	12.452	17
Navarra	M01, M02, M04, M16	22.211.933	2,1	1.520	489
País Vasco	M01, M10, M16	797.696	0,9	111	
La Rioja	M01, M04, M16	20.170.000	28,0	15.000	125
Nacional	M04, M16	21.045.605	0,1	1.992	3
Total España		640.595.294	6,5	234.097	3.680

Fuente: PDR aprobados. Elaboración propia.

4.2. Presupuesto de la modernización de regadíos

Según está planificado en los PDR, durante el próximo periodo de programación 2014-2020, la política de modernización en el conjunto de España contará con una financiación pública de 641 millones de euros (Tabla 2). La mayor parte de la dotación presupuestaria para la modernización (613 millones de euros, el 96 % del total) se destinará a inversiones en infraestructuras y equipamientos (medida M04). El resto (27 millones de euros, el 4 % del total) estará dedicado a formación (medida M01) y asesoramiento técnico (medida M02) de regantes y gerentes de comunidades de regantes, así como financiar acciones de cooperación entre productores de regadío para la búsqueda de soluciones a problemas comunes (medida M16).

Comparando al dotación presupuestaria asignada a la modernización de regadíos en los nuevos PDR con la del anterior periodo de programación 2007-2013 (1.030 millones de euros de financiación pública), se aprecia cómo ha habido un nuevo recorte, concretamente del 40 %. Se comprueba

así cómo se han seguido las indicaciones de la Comisión sobre la reducción del presupuesto consignado a la modernización dentro del segundo pilar del PAC para el nuevo periodo de programación.

La Tabla 3 muestra el presupuesto establecido en los PDR españoles para las inversiones de la medida M04 en relación a la consecución de la FA 5A (modernización del regadío). Como se puede apreciar, de los 613 millones de euros de inversión pública para el sexenio 2014-2020, el FEADER aportará 336 millones de euros (55 % del total), mientras que los restantes 278 millones de euros (45 % del total) será cofinanciación nacional. En cualquier caso cabe señalar importantes diferencias entre CCAA, en función de los porcentajes cofinanciación establecidos por la norma europea.

Tabla 3. Inversiones en activos físicos (M04) para la modernización de regadíos (FA 5A)

PDR	Presupuesto FEADER M04 para FA 5A	M04 FA 5A/ Total M04	M04 FA 5A/ Total FEADER	Gasto público total M04 para FA 5A	Inversión total M04 para FA 5A
	(euros)	(%)	(%)	(euros)	(euros)
Andalucía	84.375.000	16,3	4,4	112.500.000	146.250.000
Aragón	10.342.003	6,4	2,2	19.513.213	39.026.426
Canarias	22.844.053	30,1	14,5	26.875.356	32.660.299
Castilla y León	71.921.826	20,7	7,4	189.635.521	341.752.000
Castilla-La Mancha	35.692.169	12,5	3,1	47.260.147	94.520.293
Cataluña	12.900.000	9,7	3,7	30.000.000	40.000.000
C. Valenciana	20.415.600	33,5	10,0	53.020.000	96.256.000
Extremadura	28.500.000	9,8	3,2	38.000.000	50.666.666
Madrid	3.225.000	14,4	4,2	4.300.000	8.779.167
Murcia	24.696.000	28,6	11,3	39.200.000	54.003.415
Navarra	5.969.037	12,9	4,4	19.254.958	42.897.550
La Rioja	6.250.000	24,5	8,9	18.000.000	35.000.000
Nacional	8.444.037	100,0	3,6	15.932.145	15.932.145
Total España	335.574.725	13,6	4,0	613.491.340	997.743.961

Fuente: PDR aprobados. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de ayuda para las submedidas incluidas en la M04 (ver a continuación), con estas dotaciones presupuestarias se esperan movilizar en total 998 millones de euros de inversión (pública más privada) para el conjunto del Estado durante todo el periodo

de programación. Con esta inversión se espera que se actúe sobre 234.097 ha (6,5 % de la superficie de riego nacional), que cambiarán sus infraestructuras de riego para mejorar la eficiencia del uso del agua. Este indicador de efectividad de la política de modernización también contrasta con las cifras alcanzadas en anteriores periodo de programación, en especial con el periodo 2000-2006, durante el cual tanto la cuantía de la inversión total como la superficie de regadío modernizadas fue cuatro veces superior.

Al objeto de poner las cifras anteriores en términos relativos, conviene señalar que el presupuesto FEADER asignado a la modernización de regadíos a nivel nacional (336 millones de euros) supone tan solo el 13,6 % del presupuesto destinado a inversiones en activos físicos (2.472 millones de euros) o el 4,0 % del total del presupuesto comunitario para desarrollo rural en España (8.297 millones de euros). En todo caso se aprecian igualmente importantes diferencias entre CCAA, destacando Canarias, Murcia, Comunidad Valenciana, La Rioja y Castilla y León, donde la priorización de la política de modernización es mayor a nivel presupuestario, destinando a la misma más de un 7 % del presupuesto total del segundo pilar de la PAC.

4.3. Implementación operativa de la modernización de regadíos a través de la M04

Como ponen de manifiesto los PDR (aunque no todos lo explicitan adecuadamente), la aplicación de la medida M04 para la modernización se plantea con el propósito de alcanzar conjuntamente varios objetivos. Así, además de la mejora de la eficiencia de los sistemas de riego y el ahorro de agua ya comentado (FA 5A), se establecen igualmente los siguientes *objetivos* para esta medida:

- Mejora y modernización de las infraestructuras existentes en las zonas regables para el desarrollo de una agricultura competitiva y tecnológicamente avanzada que permita incrementar la productividad de las explotaciones agrícolas.
- Mejora de las condiciones medioambientales de las masas de agua mediante la aplicación de técnicas que permitan un ajuste de la fertilización y de la aplicación de productos fitosanitarios, y la consecuente reducción de la contaminación difusa (mejora de la calidad del agua de los retornos).

- Reducción de costes energéticos, contribuyendo a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de la emisión de GEI.
- Mejora de la adaptación al cambio climático a través sistemas de gestión del agua más flexibles, aumentando la resiliencia de las zonas regables a las sequías.
- Incorporación de nuevas tecnologías de producción y elementos innovadores en las zonas regables, que redundan en la mejora del capital humano.
- Mejora de la red viaria integrada en proyectos de modernización.

Con estos objetivos, la modernización de regadíos se implementa operativamente a través de dos *submedidas* dentro de la M04:

- Inversiones en infraestructuras públicas de regadío (artículos 17.1.c y 46 del Reglamento FEADER).
- Inversiones de mejora de las explotaciones agrarias (artículos 17.1.a y 46 del Reglamento FEADER).

En aras de coordinar la aplicación de la política común de desarrollo rural, el Marco Nacional incluye los elementos comunes mínimos y condiciones de carácter general aplicables a varias medidas y submedidas –incluyendo las dos submedidas mencionadas– que deben ser tenidas en cuenta en los PDR de las CCAA. A continuación se exponen brevemente las características básicas de ambas submedidas en el mencionado Marco Nacional.

Inversiones en infraestructuras públicas de regadío (M04.0002 en el Marco Nacional)²

Esta submedida está orientada a subvencionar inversiones para la mejora, modernización, nueva transformación o ampliación de las infraestructuras de regadío cuya titularidad o gestión corresponda a personas jurídicas de derecho público (p. ej., zonas regables donde la titularidad de las infraestructuras de riego sean de las administraciones públicas –confederaciones hidrográficas, ministerio o consejerías de agricultura– o de comunidades de regantes). Se excluyen

² En la mayoría de PDR esta línea de ayuda se incluye como una o varias *operaciones* dentro de la submedida 4.3 dispuesta en el Reglamento FEADER, de «Apoyo a las inversiones en infraestructura relacionada con el desarrollo, la modernización o la adaptación de la agricultura y la silvicultura».

expresamente las infraestructuras de regadío cuya titularidad corresponda a personas jurídicas de derecho privado (regadíos privados), así como las instalaciones de regadío privadas existentes en el interior de las parcelas. En consecuencia, pueden ser *beneficiarios* de estas ayudas a la modernización de regadíos:

- Las administraciones públicas o los organismos autónomos que resulten competentes para la ejecución o gestión de las infraestructuras (p. ej., el MAGRAMA o las consejerías de agricultura).
- Los entes públicos y las entidades públicas empresariales que tengan encomendada la construcción, mejora y modernización, o la gestión y explotación de una infraestructura de regadío, por encargo de una administración pública (p. ej., la SEIASA o las empresas públicas autonómicas para inversiones agrarias).
- Las comunidades de regantes u otras comunidades de usuarios de aguas.

Al tratarse de infraestructuras de titularidad o gestión pública, el *porcentaje subvencionable* de estas inversiones puede alcanzar hasta el 100 % del gasto elegible de la inversión. En cualquier caso, se establece la posibilidad de graduar el porcentaje de ayuda pública teniendo en cuenta la intensidad de contribución de cada proyecto a los ámbitos de interés del FEADER. De hecho, en la práctica totalidad de PDR autonómicos se establece un porcentaje de subvención del 100 % cuando se trata de infraestructuras de riego generales gestionadas por la propia Administración pública (p. ej., canales para transporte de agua), mientras que cuando se trata de infraestructuras gestionadas por comunidades de regantes (p. ej., redes de distribución), el porcentaje subvencionable varía entre el 45 % y el 80 %, según casos y comunidades autónomas.

La aprobación de estas ayudas a la modernización de regadío, además de los requisitos de ahorro potencial de agua y reducción del agua utilizada (revisión concesional) según lo dispuesto en Reglamento FEADER, exige el cumplimiento de una serie de *condiciones de admisibilidad* que, con carácter general para todos PDR, son:

- Viabilidad económica suficiente para poder implementar la correspondiente recuperación de costes de los servicios del agua.
- Coherencia con la planificación hidrológica y la DMA (compatibilidad con el correspondiente plan hidrológico).

- La infraestructura hidráulica resultante debe contar necesariamente con un sistema de medición del uso del agua.
- La comunidad de regantes debe comprometerse a aplicar una tarifa binómica y contar con personal propio o externalizado para el adecuado manejo de la infraestructura.
- Evaluación de impacto ambiental acreditando ausencia de impactos significativos.
- Existencia de certificación o acta del acuerdo favorable a la iniciativa por parte de la asamblea general de regantes.

Inversiones de mejora de las explotaciones agrarias (M04.0001 en el marco nacional)³

Esta medida tiene una amplia orientación, fomentando todo tipo de inversiones que mejoren el rendimiento global y la sostenibilidad de las explotaciones agrarias, incluyendo aquellas dirigidas a la mejora de sus resultados económicos y a facilitar la reestructuración y modernización de las mismas (en términos de tamaño o de orientación productiva), y aquellas dirigirlas a afrontar retos relacionados con el medioambiente, el cambio climático y el bienestar animal. Resulta pues evidente que las inversiones de modernización de regadíos en el seno de las explotaciones (p. ej., inversiones en sistemas de aplicación de riego más eficientes) son susceptibles de ser financiados por esta medida, como complemento necesario a la anterior submedida.

Los *beneficiarios* de las ayudas de esta submedida serán agricultores o agrupaciones de agricultores, tanto personas físicas como jurídicas. La única condición es que sean «agricultores activos» en los términos establecidos para el cobro de los pagos directos del primer pilar de la PAC⁴. En cualquier caso, para a selección de solicitudes de ayuda se considerarán, entre otros, los siguientes criterios de prioridad:

³ En todos los PDR esta línea de ayuda se incluye como submedida, correspondiéndose con la submedida 4.1 dispuesta en el Reglamento FEADER, de «Apoyo a las inversiones en explotaciones agrarias».

⁴ Son «agricultores activos» aquellos que cumplan los siguientes requisitos:

- Sean titulares de una explotación inscrita en el registro de explotaciones agrícolas. El titular de una explotación puede ser persona física o jurídica, y actuar bajo cualquier régimen de tenencia de la tierra.
- Que lleven a cabo una actividad agraria que podrá consistir en la producción o cultivo de productos agrarios o la conservación de la superficie agraria en un estado adecuado para el pasto o el cultivo.
- Acreditar que, al menos, el 20 % de sus ingresos agrarios totales son distintos de los pagos directos de la PAC.
- Hacer la declaración anual del cultivo o aprovechamiento que se realiza en cada parcela.

- Ser titular, cotitular o socio de una explotación agraria prioritaria de acuerdo con lo establecido en la Ley 19/1995, de 4 de julio, de modernización de explotaciones.
- Ser agricultor profesional.

Los PDR autonómicos han establecido los *porcentajes de ayuda* para esta submedida conforme a los límites máximos establecidos en el Reglamento comunitario de Desarrollo Rural:

- Regiones ultraperiféricas (*Canarias*): 75 %.
- Regiones menos desarrolladas (*Extremadura*) y aquellas que salen de convergencia (*Andalucía, Castilla-La Mancha y Galicia*): 50 %.
- Regiones desarrolladas (*el resto de CCAA españolas*): 40 %.

Estos porcentajes de ayuda podrán incrementarse en 20 puntos porcentuales, sin que el apoyo combinado supere el 90 %, en el caso de jóvenes agricultores, inversiones colectivas y proyectos integrados (p. ej., mejora de regadíos privados colectivos o «amueblamiento» de la parcela de los integrantes de una comunidad de regantes), zonas con limitaciones naturales u otras limitaciones específicas, operaciones subvencionadas en el marco de la Asociación Europea para la Innovación, e inversiones relacionadas con operaciones contempladas en la medida agroambiental y de agricultura ecológica.

En el caso de inversiones en explotaciones agrarias que incluyan actuaciones en regadíos deberán cumplir las *condiciones de admisibilidad* dispuestas en el Reglamento FEADER en relación con el ahorro potencial de agua y la reducción del agua utilizada, además de verificarse que se dan las siguientes circunstancias:

- Viabilidad económica suficiente para poder implementar la correspondiente recuperación de costes de los servicios del agua.
- Coherencia con la planificación hidrológica y la DMA (compatibilidad con el correspondiente plan hidrológico).
- La infraestructura hidráulica resultante debe contar necesariamente con un sistema de medición del uso del agua.

5. Conclusiones

Hasta cierto punto, la PAC y la política de modernización de regadíos han transitado por caminos similares, pasando de una situación inicial donde prevalecía el objetivo de aumentar la productividad y la competitividad de la agricultura (con las implicaciones que ello supuso en términos presupuestarios), a otra actual donde este objetivo se supedita al objetivo de sostenibilidad ambiental, y donde el gasto público está sujeto a un mayor escrutinio. Esta evolución se ha tratado de plasmar brevemente en este capítulo, en el cual se han advertido varios signos que apuntan a que la política de modernización ha dejado de ser prioritaria en España. Ello queda reflejado no solo en el peso cada vez menor que presenta esta política en términos de gasto público, sino también en el hecho de que haya pasado de ser una política nacional con entidad propia a estar integrada dentro de la política europea de desarrollo rural, donde en cierta medida queda diluida y sujeta a mayores restricciones de implementación. Sin duda, este proceso ha estado motivado por el contexto de crisis económica que ha caracterizado los últimos años, que ha supuesto una importante restricción presupuestaria en el ámbito público y grandes dificultades de financiación del sector privado para acometer estas inversiones.

La aplicación de la política de modernización de regadíos en los próximos años, además de la reducción de los fondos públicos disponibles, se va a caracterizar por un cambio en su orientación, pivotando más sobre el ahorro efectivo de agua y menos sobre la mejora en la competitividad de la agricultura. Las condiciones de elegibilidad de las medidas de modernización de regadíos financiadas a través del FEADER son una buena prueba de ello. En concreto, la exigencia de una reducción efectiva del uso de agua de al menos el 50 % del ahorro potencial resultante de la modernización cuando se vean afectadas masas de agua cuyo estado no sea calificado como bueno (caso de una amplia mayoría del regadío español), supone un importante impedimento para el uso de estos fondos en este tipo de iniciativas por cuanto supone un desincentivo para las comunidades de regantes a la hora de abordar estas inversiones. Por tanto, es de prever que la demanda de inversiones de modernización tal y como se han entendido hasta la fecha (cambio de sistemas de gravedad por otros más eficientes en el uso del agua) se reduzca, ya que en la mayoría de los casos los costes operativos de las nuevas inversiones (especialmente los energéticos) serán superiores a los beneficios privados derivados de la misma.

Teniendo en cuenta que las condiciones relativas al ahorro potencial y reducción en el uso de agua no son aplicables a las inversiones destinadas a mejorar la eficiencia energética, cabe esperar una reorientación de la política de modernización de regadíos hacia iniciativas encaminadas en este sentido. Estas inversiones permitirán la realización de modernizaciones de «segunda generación» orientadas a la reducción de los crecientes costes energéticos que, a buen seguro, tendrán un papel relevante en la mejora de la competitividad de los regadíos españoles. En cualquier caso, el impacto final de esta nueva orientación de la política de modernización estará condicionado por la limitada capacidad de cofinanciación de las comunidades de regantes. Tal circunstancia es especialmente relevante en aquellas comunidades que se modernizaron hace ya una década (con diseños de impulsión de agua a la demanda sobredimensionados y poco eficientes), en las cuales las actuaciones de mejora de la eficiencia energética son más demandadas, pero sobre las cuales pesa todavía el coste financiero de la amortización de la primera modernización. Así pues, para el éxito de esta política (uso efectivo de la dotación financiera prevista en los PDR) será necesario emplear los máximos porcentajes de ayuda pública que permite el Reglamento FEADER en cada región, así como el diseño de nuevos instrumentos financieros que faciliten a las comunidades de regantes una amortización flexible de estas nuevas inversiones de modernización (p. ej., una línea de créditos públicos adaptada a esta finalidad).

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación proporcionada por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto de investigación MERCAGUA (AGL2013-48080-C2-1-R).

Referencias bibliográficas

- BARDAJÍ, I., ed. (2014): *Reflexiones en torno a la PAC*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.

- BERBEL, J.; PEDRAZA, V. y GIANNOCCARO, G. (2013): «The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir»; *International Journal of River Basin Management* 11(1); pp. 111-119. doi:10.1080/15715124.2013.768625.
- DUARTE, R.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. y BIELSA, J. (2002): «Water use in the Spanish economy: An input–output approach»; *Ecological Economics* 43(1); pp. 71-85. doi:10.1016/S0921-8009(02)00183-0.
- GALLARDO, R. (2014): «La política de desarrollo rural en el periodo 2014-2020»; en BARDAJÍ, I., ed.: *Reflexiones en torno a la PAC*. Almería, Cajamar Caja Rural; pp. 83-108.
- GARCÍA-ÁLVAREZ-COQUE, J. M. y GÓMEZ-LIMÓN, J. A., eds. (2010): *'Chequeo médico' de la PAC y perspectivas de la Política Agraria Común tras 2013*. Madrid, Eumedia-Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2008): «El regadío en España»; *Papeles de Economía Española* (117); pp. 86-109.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2014): «La agricultura de regadío en el contexto de la nueva PAC»; en BARDAJÍ, I., ed.: *Reflexiones en torno a la PAC*. Almería, Cajamar Caja Rural; pp. 109-140.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A.; BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2007): «Multifuncionalidad del regadío: Una aproximación empírica»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y BARREIRO HURLÉ, J., eds.: *La multifuncionalidad de la agricultura en España*. Madrid, Eumedia-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; pp. 207-224.
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA) (2013): *Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua*. Madrid, INE.
- MAGRAMA (MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE) (2015): *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Informe sobre regadíos en España*. Madrid, MAGRAMA.
- MAPA (MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN) (2001): *Plan Nacional de Regadíos*. Madrid, MAPA.
- MARM (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO) (2010): *Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos H2015. Informe de sostenibilidad ambiental*. Madrid, MARM.
- MARTÍNEZ ARROYO, F. (2008): «La política de desarrollo rural en el período 2007-2013»; *Presupuesto y Gasto Público* (52); pp. 143-156.

- MIMAM (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE) (1998): *Libro blanco del agua*. Madrid, MIMAM.
- MIMAM (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE) (2007): *La planificación hidrológica. Síntesis de los estudios generales de las demarcaciones hidrográficas en España*. Madrid, MIMAM.
- MOLLE, F.; WESTER, P. y HIRSCH, P. (2010): «River basin closure: Processes, implications and responses»; *Agricultural Water Management* 97(4); pp. 569-577. doi:10.1016/j.agwat.2009.01.004.
- NARANJO, J. E. (2010): *Problemática de la modernización de regadíos*. Comunicación presentada en XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, Tarragona.
- SANCHO-HAZAK, R. (2001): «Procesos de cambio social y regadío»; en COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE CENTRO Y CANARIAS, ed.: *Los regadíos españoles*. Madrid, Editorial Agrícola Española; pp. 306-317.

II. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA MODERNIZACIÓN

Costes y viabilidad económica de la modernización de regadíos en España

Javier Alarcón Luque

Dr. Ingeniero agrónomo

1. Introducción

Desde hace más de una década, en España las Administraciones públicas han adoptado una serie de estrategias para paliar la escasez de agua. Una de las más destacadas es la modernización de regadíos, impulsada por el Plan Nacional de Regadíos (PNR) (MAGRAMA, 2012) y el Plan de Choque de Modernización de Regadíos (Real Decreto 287/2006). La modernización agrupa a ciertas actuaciones dirigidas a mejorar las redes de transporte de zonas regables poco eficientes en el uso del agua. Contemplan la reparación de elementos dañados y la sustitución de los obsoletos, así como la racionalización del trazado de las redes y el cambio de los sistemas de aplicación. La modernización se justificó para ahorrar agua, si bien se tenía conciencia de otros beneficios asociados. Así, se esperaba incrementar la productividad y la competitividad de los regadíos (Plusquellec, 2009).

Durante la pasada década, se han invertido en España en torno a 7.400 millones de euros en programas de modernización de unas 2 millones de hectáreas de regadío (Lecina *et al.*, 2010b). De acuerdo con datos del MAGRAMA (2015), en los últimos 10 años la superficie con riego a presión se ha incrementado en España en aproximadamente 600.000 ha (un 90 % con riego por goteo), en buena parte a consecuencia de la modernización de muchos regadíos. Por el contrario, el riego por superficie se ha reducido en unas 250.000 ha.

La modernización se ha justificado para ahorrar agua, gracias a unos eficientes sistemas de riego. Sin embargo, ese pretendido ahorro de agua queda en entredicho cuando, al aumentar su disponibilidad, se incrementan las dotaciones, se intensifican ciertos cultivos o incluso se amplían zonas de riego, dejando menos superficie sin cultivar durante el verano (el llamado «efecto rebote»). Como consecuencia, mientras que la productividad por volumen

servido en origen aumenta, puede suceder que la productividad por volumen consumido en parcela se mantenga o disminuya. Puede suceder al mismo tiempo que, si a raíz de la modernización se pone más terreno en producción, los retornos de riego se vean menguados, afectando a las masas de agua y a los hábitats asociados (Playán y Mateos, 2006; Perry *et al.*, 2009; Lecina *et al.*, 2010a; Lecina *et al.*, 2010b; Rodríguez Díaz *et al.*, 2012; Pfeiffer y Lin, 2012). No obstante, la ocurrencia de este efecto no deseado no se debe ligar indefectiblemente a la modernización de regadíos, ya que dependerá de cada actuación (véase Berbel *et al.*, capítulo 8 en este libro).

Con la modernización también se esperaba incrementar la productividad y la competitividad del regadío. Sin embargo, el patrón predominante en España de substituir riegos por gravedad por riegos a presión, no siempre adaptado a las características del regadío y a su viabilidad económica, ha supuesto unos elevados costes de inversión y de energía, y con ello, un pesado lastre para algunas explotaciones (véase Camacho *et al.*, capítulo 9 en este libro). Seguramente, la presión existente por el recurso agua, junto con una inadecuada valoración de costes y beneficios, haya motivado que se hayan realizado modernizaciones que han resultado caras para la Administración o para los propios agricultores (Hardy *et al.*, 2012). Esto explica que buena parte de estas inversiones hayan sido subsidiadas en España y en países como Austria, Portugal, Países Bajos, Australia o México (OCDE, 2008). Además, la falta de información sobre el conjunto del proceso modernizador, en cuanto a su alcance, intensidad, inversiones y efectos sobre la agricultura de regadío, hace difícil una valoración crítica (véase Corominas y Cuevas, capítulo 11 en este libro).

La actual ayuda financiera en los Planes de Desarrollo Rural (PDR) a las infraestructuras públicas de regadío, además de los requisitos de ahorro potencial y reducción del agua utilizada, exige el cumplimiento de una serie de condiciones. Con carácter general para todos los PDR, que haya viabilidad económica suficiente como para poder implementar la correspondiente recuperación de costes de los servicios del agua. Pero, al limitarse ahora el uso efectivo del agua potencialmente ahorrada con la modernización, los regantes verán reducidos los beneficios que habían venido obteniendo gracias a ella (véase Gómez-Limón y Villanueva, capítulo 3 de este libro). Por lo tanto, la viabilidad económica de este tipo de inversiones debe ser analizada en detalle, y más a partir de ahora, que los márgenes de explotación se prevén más reducidos.

En este trabajo se estudian los costes y los beneficios asociados a la modernización de regadíos, incluyendo la adecuación o mejora de los riegos por

gravedad existentes. Según sean estos, puede ser razonable invertir en nuevos sistemas o, por el contrario, conservar los sistemas de riego tradicionales con un adecuado mantenimiento. El regadío será rentable en cualquier caso si los márgenes de explotación y el beneficio que se espera obtener del agua ahorrada compensan los costes de la inversión, debidamente anualizados, y los costes anuales de operación y mantenimiento de las instalaciones de riego.

Empleando datos medios para España, se realizan unos análisis simplificados, sin ánimo de exhaustividad aunque buscando una validez lo más amplia posible, que pueden ser útiles a la hora de tomar decisiones de inversión. Un análisis detallado requeriría una información específica también detallada, en la que se tendrían que diferenciar muchos casos. Por ejemplo, una misma opción técnica puede suponer costes y rendimientos de riego muy diversos, en función de sus características específicas. Parece más razonable, por tanto, bajar unos ciertos intervalos de costes, que nos permitan estimar los beneficios que se requieren para poder compensar aquellos y hacer que una determinada actuación pueda considerarse económicamente rentable.

2. Costes de la modernización de regadíos

2.1. Costes de inversión

Los costes de inversión en regadíos se suelen referir a la unidad de superficie regable, si bien existen elementos de diseño que, teniendo gran repercusión en los costes, no guardan una relación proporcional con la superficie. Así, en la adecuación de conducciones, resultan muy influyentes la forma de la zona regable, los materiales y los diámetros empleados, siendo más apropiado relacionar su coste con la longitud. Algo parecido puede decirse del bombeo, cuyo coste se ve supeditado a la altura requerida de elevación; los sistemas de telecontrol, cuyo coste varía con el grado de automatización y la tecnología empleada; o las exigencias de electrificación del conjunto. En consecuencia, desde un punto de vista económico, las unidades de riego deben ajustarse a unos tamaños óptimos, en función de la variante de riego a emplear.

En este trabajo, la inversión en redes de riego en alta (distribución y reparto) ha sido obtenida de CEDEX (2013), en donde se analizan 35 proyectos de modernización destinados a sustituir riegos por gravedad por riegos presurizados. Se trata por tanto de presupuestos de obra, no de costes reales. La mayoría de estos proyectos incluye entubación de redes, construcción de

balsas y estaciones de bombeo y filtrado, instalación de sistemas de automatización o telecontrol y electrificación. Sus promotores fueron las por entonces cuatro sociedades estatales de infraestructuras agrarias, las confederaciones hidrográficas y las sociedades estatales de aguas. Por zonas geográficas, un 50 % de los proyectos se localiza en el cuadrante nordeste y cuenca del Ebro; un 19 % en la zona norte y cuenca del Duero; un 15,5 % en las regiones mediterráneas de Valencia y Murcia; un 12,5 % en la zona centro o cuenca del Tajo; y el 3 % restante en la cuenca del Guadalquivir.

De estos presupuestos se ha podido extraer una cifra de inversión media en alta, por unidad de superficie regable, suma de las partidas o actuaciones más frecuentes en este tipo de proyectos. En estas partidas se han prorrateado unos costes comunes en trabajos de seguridad y salud, así como unos costes medios en medidas correctoras medioambientales. Las inversiones se refieren a costes de ejecución por contrata sin IVA, en concreto, a costes de ejecución material incrementados en un 22 %, por gastos generales y beneficio industrial (Tabla 1).

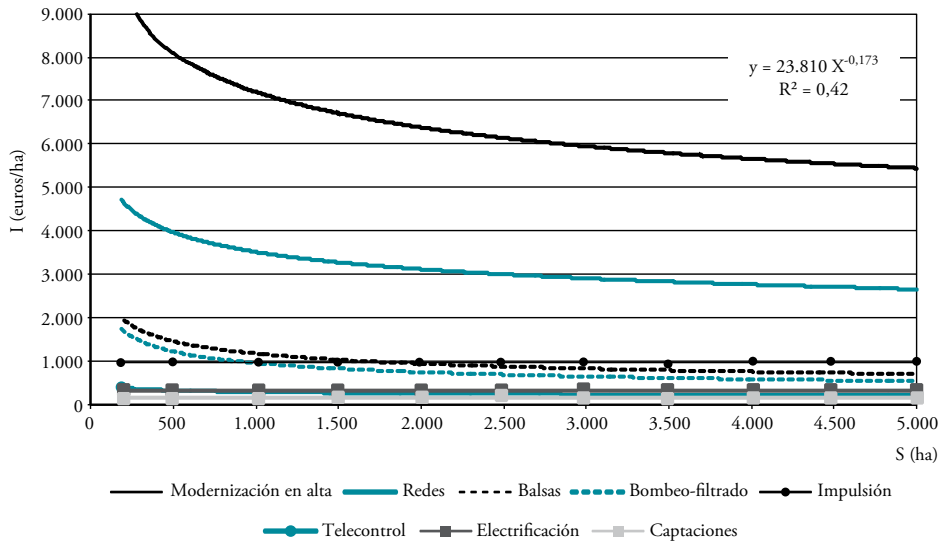
Tabla 1. Inversión media en la transformación en alta de riegos por gravedad en riegos a presión, desglosada por actuaciones de obra más comunes. Cifras correspondientes a presupuestos de ejecución por contrata sin IVA

Concepto	Inversión (euros/ha)	s/total (%)	s/parcial (%)
Obras y conducciones desde tomas	200	3,08	
Impulsiones	969	14,96	
Balsas de regulación	1.155	17,83	
Estaciones de bombeo y filtrado:	916	14,13	
<i>Obra civil y urbanización</i>	321		35,10
<i>Grupos de bombeo</i>	372		40,60
<i>Grupos de filtrado</i>	223		24,30
Redes de riego	2.669	41,20	
<i>Red de distribución</i>	1.962		73,50
<i>Red de reparto</i>	707		26,50
Telecontrol/automoción	254	3,92	
Instalaciones eléctricas	316	4,88	
Total	6.480	100	

Fuente: CEDEX (2013), con cifras actualizadas a 2016.

El Gráfico 1 muestra, en términos medios, la contribución de estos capítulos de obra a la inversión final en alta, en función de la superficie de riego.

Gráfico 1. Inversión según superficie en la transformación en alta de riegos por gravedad en riegos a presión, desglosada por actuaciones de obra. Cifras correspondientes a presupuestos de ejecución por contrata sin IVA



Fuente: CEDEX (2013), con cifras actualizadas a 2016.

Las regresiones que se pudieron calcular en CEDEX (2013) para la inversión por superficie no fueron muy significativas, a causa de la amplia casuística y particularidades de este tipo de proyectos. Además de los aspectos antes aludidos, cabe reseñar que los presupuestos de obra varían según los organismos que los elaboran y las zonas geográficas a las que se dirigen. Relacionando la inversión por hectárea (en euros del año 2016) con la superficie beneficiada (en hectáreas), se obtuvieron estas regresiones:

$$\text{Modernización con balsas: } I = 23.810 \cdot S^{-0,173}; R^2 = 0,42$$

$$\text{Modernización sin balsas: } I = 14.588 \cdot S^{-0,122}; R^2 = 0,43$$

Por otra parte, en este trabajo, la inversión en parcela (baja) ha sido acotada a partir de varias referencias, principalmente López-Cortijo (2008), CHG (2010) y Camacho (2012). La inversión en adecuación de riegos por gravedad, a falta de proyectos específicos, ha sido tomada de Playán *et al.* (2000) y Díaz Barcos (2001). De toda esta revisión bibliográfica, se han obtenido unos valores medios, promediados por la superficie de la muestra de CEDEX (2013), así como unos intervalos de variación, que han resultado ser bastante amplios. Unos y otros se muestran en la Tabla 2.

2.2. Costes de operación y mantenimiento (O&M)

Los costes corrientes de un sistema de riego agrupan, por un lado, los costes de operación, funcionamiento o explotación, y por otro, los costes de conservación y mantenimiento. Estos costes se pueden dividir en fijos y variables. Como costes fijos, tenemos los de gestión y administración, términos fijos de la energía eléctrica y la línea de comunicaciones, actualización de software, renovación de licencias, seguros, impuestos, etc.; los costes fijos de conservación o mantenimiento periódico, que pueden incluir valores medios para las reparaciones, reposiciones y limpiezas; y los costes de amortización de las inversiones. Como costes variables, estarían los de consumo de agua, energía y datos, las contribuciones temporales o extraordinarias (derramas), y aquellos costes procedentes de otros posibles suministros, servicios bancarios, imprevistos, etc.

En este trabajo los costes corrientes del riego han sido estimados tras consultar, principalmente, las siguientes referencias: Montero y Tarjuelo (2004), Corominas (2010), CHG (2010), Rodríguez Díaz *et al.* (2011) y Camacho (2012). En la Tabla 2 se muestran los valores medios obtenidos; las cifras entre paréntesis se refieren a los valores mínimos y máximos.

En el Gráfico 2 se representa la función de distribución correspondiente a la inversión en la transformación de riego por gravedad en riego localizado. Se ha obtenido de sumar las inversiones asociadas a los presupuestos estudiados en CEDEX (2013), para la modernización en alta, y los costes de inversión en baja o parcela, siguiendo el rango de variación expresado en la Tabla 2.

Tabla 2. Inversiones y costes de O&M para la modernización de regadíos en España. Valores medios y rangos de variación

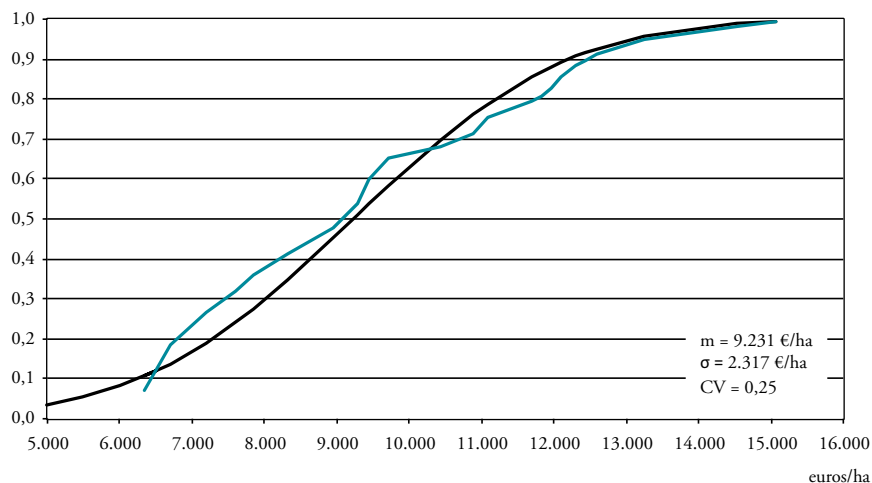
Tipo de modernización	Inversión (euros/ha)	Coste O&M* (euros/ha/año)
Sustitución de riego por gravedad por riego localizado:	9.231 (6.355-15.059)	279 (217-397)
<i>Modernización de redes de distribución y reparto</i>	<i>6.480 (4.522-10.553)</i>	
<i>Cambio de sistema de aplicación en parcela: goteo</i>	<i>2.751 (1.833-4.507)</i>	
Sustitución de riego por gravedad por riego por aspersión:	8.786 (5.381-14.759)	289 (219-422)
<i>Modernización de redes de distribución y reparto</i>	<i>6.480 (4.522-10.553)</i>	
<i>Cambio de sistema de aplicación en parcela: aspersores</i>	<i>3.206 (2.683-4.206)</i>	
<i>Cambio de sistema de aplicación en parcela: pivots</i>	<i>1.406 (858-2.452)</i>	
Adecuación de riegos por gravedad	5.042 (3.853-7.312)**	108 (89-145)

* Coste anual de operación o funcionamiento, conservación y mantenimiento.

** Incluye concentración parcelaria, nivelación mediante subsolado, embaste y capaceo, construcción de acequias, caminos y desagües perimetrales.

Fuente: Alarcón (2014) y Alarcón *et al.* (2016), con cifras actualizadas a 2016.

Gráfico 2. Función de distribución de la inversión en transformación de riego por gravedad en riego localizado. Ajuste a una distribución normal (línea suavizada). Cifras correspondientes a presupuestos de ejecución por contrata sin IVA



m: media ponderada; *σ*: desviación típica; *CV*: coeficiente de variación ($CV = \sigma/m$).

Fuente: Alarcón *et al.* (2016), con cifras actualizadas a 2016.

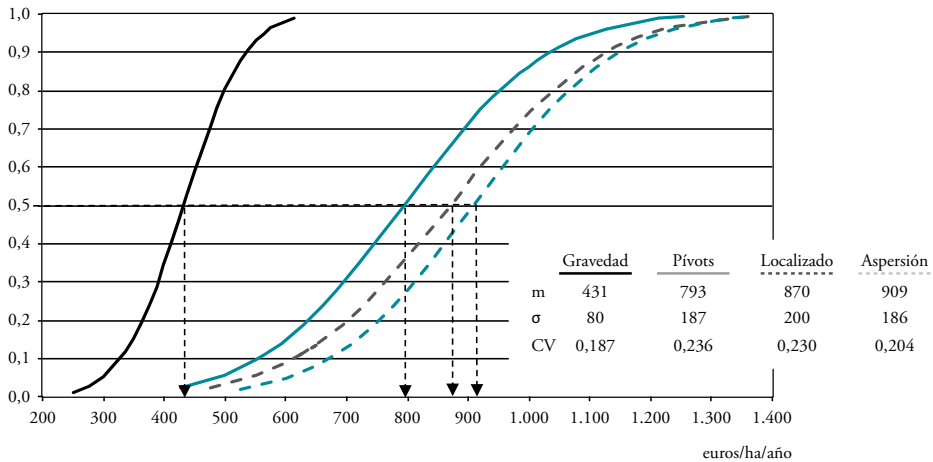
Los costes de inversión de la Tabla 2 se han anualizado, para una tasa de descuento e interés $r = 4\%$, a 20 y 25 años, con unos factores a de $0,064 \text{ años}^{-1}$ (20 años) y $0,073 \text{ años}^{-1}$ (25 años). Sumando las inversiones así anualizadas a los correspondientes costes de operación y mantenimiento, se han obtenido los valores que se reflejan en la Tabla 3, que son los costes anuales equivalentes de cada una de las transformaciones de riego estudiadas. Los valores medios están ponderados por la superficie de riego de la muestra analizada.

Tabla 3. Costes anuales equivalentes para la modernización de regadíos en España a 20 y 25 años. Valores medios y rangos de variación. $r = 4\%$ (2016)

Tipo de modernización	Coste anual (euros/ha/año)	
	A 20 años	A 25 años
Sustitución de riego por gravedad por riego localizado	958 (684-1505)	870 (624-1361)
Sustitución de riego por gravedad por riego con aspersores	1001 (749-1508)	909 (680-1366)
Sustitución de riego por gravedad por riego con pivots	869 (615-1379)	793 (563-1254)
Adecuación de riegos por gravedad	479 (373-683)	431 (336-613)

Tomando como referencia los promedios y los rangos expresados en la anterior Tabla 3, para una vida útil de 25 años, en el Gráfico 3 se representan las funciones de distribución de costes anuales de las cuatro modernizaciones analizadas, en las que se incluye la adecuación de riegos por gravedad (primera curva).

Gráfico 3. Funciones de distribución normalizadas de costes anuales equivalentes en modernización, para una vida útil de 25 años. $r = 4\%$ (2016)



m: media ponderada; σ : desviación típica; *CV*: coeficiente de variación ($CV = \sigma/m$)

3. Viabilidad económica de la modernización

La modernización de un regadío implica un cambio en el uso del agua, la energía, el capital y la mano de obra. Así mismo, las nuevas instalaciones permiten introducir cambios en la orientación productiva y en el proceso productivo. Por lo general, las nuevas explotaciones verán modificados sus márgenes de beneficio en cantidades que pueden justificar o no una determinada inversión. Para saber si una situación final 2 (con modernización) es preferible a otra inicial 1 (sin modernización), habrá que averiguar si el aumento de beneficio que se logra con aquella compensa el aumento de costes.

Siguiendo la metodología expuesta en Alarcón (2014) y Alarcón *et al.* (2016), cabe esperar que el cambio de 1 a 2 haga que aumente el beneficio de explotación, B (euros/ha año⁻¹), así como la eficiencia en el uso de agua o el rendimiento de riego, R_2-R_1 . De otro modo, seguramente no interesaría el cambio. La variación en las necesidades de agua, ET (m³ ha⁻¹ año⁻¹), dependerá de los casos, y con ello el ahorro de agua, A (m³ ha⁻¹ año⁻¹), si bien es razonable prever signo positivo para este último parámetro, debido sobre todo a una mejora en el rendimiento de riego.

Pero también se incrementarán la inversión, C_I (euros/ha), los costes anuales de conservación y mantenimiento de infraestructuras e instalaciones y los gastos de administración imputables, C_C (euros/ha/año), la potencia energética instalada, P (kW/ha) y el consumo de energía, E (kWh/m³), el cual puede expresarse en función del volumen de agua a bombear (ET/R) y la energía requerida por unidad de volumen (E_v). Por último, aumentará el coste del agua, siempre y cuando en el mismo se introduzcan tarifas que permitan recuperar los costes asociados a la inversión. Para evitar duplicidades y lograr una mayor simplicidad, incluiremos el coste del agua en C_I y en C_C .

$$\begin{aligned} \Delta B &= B_2 - B_1 & \Delta A &= \frac{ET_1}{R_1} - \frac{ET_2}{R_2} & \Delta C_I &= C_{I2} - C_{I1} \\ \Delta C_C &= C_{C2} - C_{C1} & \Delta P &= P_2 - P_1 & \Delta E &= \frac{ET_2}{R_2} \cdot E_{v2} - \frac{ET_1}{R_1} \cdot E_{v1} \end{aligned} \quad [1]$$

El ahorro de agua puede ser valorado atribuyéndole el beneficio marginal que puede obtenerse para un cierto uso, BM (euros/m³); o bien, el coste marginal de producirlo de forma alternativa, CM (euros/m³). Otra opción menos precisa podría ser atribuirle la productividad del agua en la zona, para el cultivo o alternativa de que se trate. No obstante, conviene diferenciar el beneficio marginal que puede conseguirse del agua ahorrada, del valor productivo del agua que se espera alcanzar tras la modernización, VP . La productividad final resultará de restar al beneficio de explotación los costes de inversión, funcionamiento, conservación y mantenimiento, y dividir el resultado entre el volumen de agua que será suministrada a la red de riego:

$$VP_2 = (B_2 - C_I \cdot a - C_{C2} - P_2 \cdot C_{P2} - E_2 \cdot C_{E2}) \cdot \frac{R_2}{ET_2} \quad [2]$$

En consecuencia, y obviando otros posibles efectos de la modernización que aquí no se abordan, la actuación estará justificada si se cumple:

$$\Delta B + \Delta A \cdot BM - \Delta C_I \cdot a - \Delta C_C - \Delta P \cdot C_P - \Delta E \cdot C_E \geq 0 \quad [3]$$

en donde a (años⁻¹) es el factor que permite anualizar la inversión, C_P (euros/kW/año) es el término fijo por contratación de potencia eléctrica

(los costes de inversión de la instalación de bombeo se incluyen en C_I) y C_E (euros/kWh) es el precio de la energía. Considerando un único término para los costes corrientes anuales, C_A , la expresión anterior se puede simplificar así

$$\Delta B + \Delta A \cdot BM \geq \Delta C_I \cdot a + \Delta C_A \quad [4]$$

Obsérvese entonces que la *vida útil* de las obras e instalaciones tiene un papel importante en la rentabilidad de los sistemas de riego. En proyectos como los que se integran en el Plan de Choque de Modernización de Regadíos, la vida útil para la obra civil se suele estimar en 20-25 años, mientras que para los equipamientos se consideran 10-15 años. Autores como Scherer y Weigel (1993) recomiendan 15-20 años para sistemas presurizados. En este trabajo se ha considerado una vida útil de 20 y otra de 25 años, las cuales, para una tasa de descuento e interés del 4 %, suponen unos factores de anualización, a , de 0,0736 y 0,0640 (años⁻¹), respectivamente. Cabe puntualizar a este respecto que en los costes de conservación y mantenimiento han sido incluidos los de reposición, reparación y limpieza de los equipamientos de riego.

3.1. Beneficio de explotación que rentabiliza una modernización

A partir de la expresión [4] y conocidas el resto de variables, se puede despejar el incremento de beneficio de explotación que se precisaría para poder justificar una determinada actuación de modernización. De una manera más explícita, podemos expresar el ahorro de agua, ΔA , como en [1], en función de las necesidades de agua y de los rendimientos de riego antes y después de la transformación. Así pues:

$$\Delta B \geq \Delta C_I \cdot a + \Delta C_A - \left[\frac{ET_1}{R_1} - \frac{ET_2}{R_2} \right] \cdot BM \quad [5]$$

3.2. Ahorro de agua que rentabiliza una modernización

De la expresión [4] se puede despejar también el valor del ahorro de agua, ΔA , que sería necesario para poder justificar una cierta transformación. Expresándolo en función de las necesidades de agua y de los rendimientos de riego inicial y final, resulta:

$$\Delta A = \frac{ET_1}{R_1} - \frac{ET_2}{R_2} \geq \frac{\Delta C_I \cdot a + \Delta C_A - \Delta B}{BM} \quad [6]$$

Conocidas todas las variables menos una, los puntos de igualación en estas inecuaciones permiten determinar los valores de la variable desconocida a partir de la cual empezaría a interesar el cambio. Para ello, puede ser útil hacer que algunas variables adopten valores fijos de referencia, o bien que puedan despreciarse. Así, podríamos suponer una transformación en la que la situación inicial no requiera energía ($E_{v1} = 0$), y en la que las necesidades netas de agua coincidiesen ($ET_1 = ET_2 = ET$). Bajo este supuesto, las expresiones y los cálculos se simplificarían notablemente.

4. Aplicación a un estudio de caso con valores medios

El método expuesto previamente ha sido aplicado de forma genérica a la modernización de regadíos, a partir de las cifras medias de costes para España contenidas en la Tabla 2. Con ello, se pretende buscar una cierta representatividad a nivel nacional en los resultados obtenidos. Posteriormente, se estudian algunos casos particulares.

En los Gráficos 4 y 5 se muestran los beneficios a los que se refiere la expresión [4]. Es decir, los beneficios que se deberían alcanzar para compensar los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O&M) de una modernización cualquiera, y con ello hacerla viable económicamente. La tasa de descuento e interés aplicada ha sido $r = 4\%$ y la vida útil considerada de 20 y 25 años ($a = 0,073$ y $0,064$ años⁻¹, respectivamente), como es habitual en la evaluación de este tipo de proyectos.

Gráfico 4. Beneficios requeridos para compensar inversiones en modernización a 20 años. $r = 4\%$ ($\alpha = 0,073 \text{ años}^{-1}$)

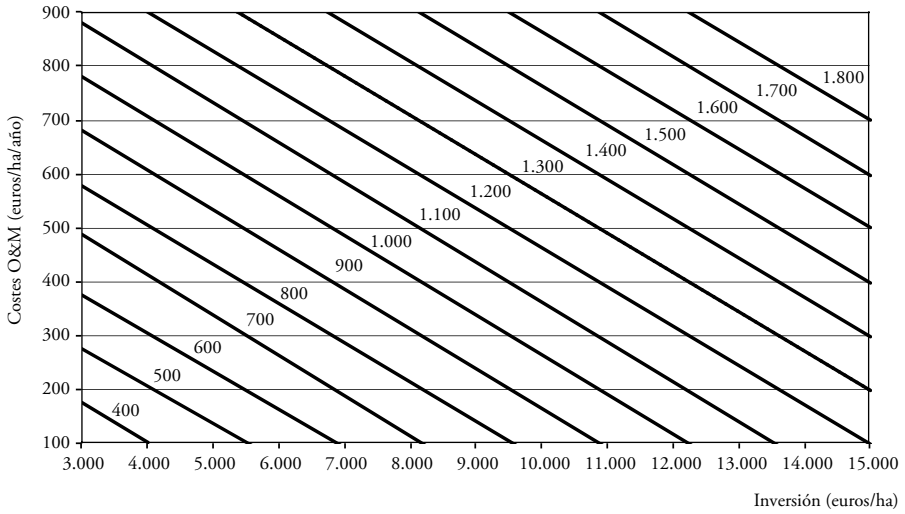
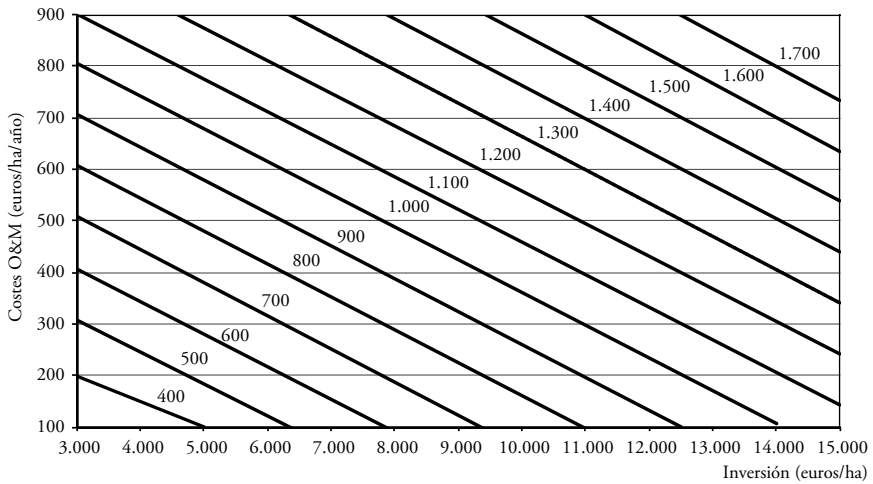


Gráfico 5. Beneficios requeridos para compensar inversiones en modernización a 25 años. $r = 4\%$ ($\alpha = 0,064 \text{ años}^{-1}$)



Si bien la relación entre las respectivas anualidades, a_{20}/a_{25} , es igual a 1,15, las relaciones entre los beneficios requeridos para compensar las inversiones y los costes analizados varían entre 1,04 y 1,14, según puede verse en la Tabla 4. Es decir, que con una vida útil de 20 años, los beneficios deberían ser de entre un 4 y un 14 % superiores a los conseguidos para una vida útil de 25 años.

Tabla 4. Relación entre beneficios requeridos para compensar inversiones en modernización a 20 y 25 años. $r = 4\%$

		Costes O&M (euros/ha/año)											
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
Inversión (euros/ha)	3.000	1,10	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	
	4.000	1,11	1,09	1,08	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	
	5.000	1,11	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	
	6.000	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	
	7.000	1,12	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,06	
	8.000	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07
	9.000	1,13	1,12	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07
	10.000	1,13	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08
	11.000	1,13	1,12	1,12	1,11	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08
	12.000	1,13	1,13	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09	1,08
	13.000	1,13	1,13	1,12	1,11	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09
	14.000	1,13	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09
	15.000	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09

A continuación se analiza, mediante unos ejemplos, el incremento de beneficio que se requeriría para poder compensar una determinada actuación. Como se ha dicho, puede tratarse de un beneficio de explotación y del beneficio potencial del agua ahorrada (expresiones [5] y [6], respectivamente). En el primer caso, habremos de suponer un determinado beneficio marginal o una determinada productividad para el agua ahorrada; en el segundo, lo que spondremos será un cierto beneficio de explotación.

Pensemos en estudiar la conveniencia de sustituir un riego por gravedad tradicional en buen estado por otro a presión localizado. Como datos medios de partida, se pueden tomar unas necesidades anuales de agua $ET_2 = 4.116 \text{ m}^3/\text{ha}$, acordes con el dato de demanda media neta que para España proporciona el PNR (MAGRAMA, 2012). Podemos asumir además un

rendimiento medio de 0,54 para riego por gravedad y otro de 0,79 para riego localizado, de acuerdo con Alarcón (2014) y Alarcón *et al.* (2016); y estimar que la vida útil de ambos sistemas es de 25 años.

Con estos datos, el ahorro de agua en cabecera de la red sería de 2.412 m³/ha cada año; y el agua ahorrada en parcela sería 1.906 m³/ha. Pensemos ahora que a esa agua que deja de ser consumida gracias a un riego modernizado se le pudiera atribuir un valor de 0,29 euros/m³, en referencia al dato de productividad media en España dado en MIMAM (2007): se podría obtener hasta 553 euros/ha. Si se decidiera no obstante reservar un 50 % de esa agua ahorrada para otros usos, como los ambientales u otras producciones, quedaría un beneficio potencial de 276 euros/ha/año.

De acuerdo con la Tabla 3, por término medio, la implantación de un riego localizado supondría un coste anual de 870 euros/ha, a 25 años. Por su parte, un riego por gravedad en buen estado, sin necesidades de mejora o adecuación, repercutiría, según la Tabla 2, un coste anual de 108 euros/ha. Así pues, la diferencia, 762 euros/ha/año, debería poder ser compensada con un mayor beneficio en la situación final, para que el cambio resultase rentable. Un incremento de beneficio de tal magnitud podría ser difícil de conseguir, salvo quizás con un cambio radical en los patrones de cultivo. En efecto, si, de un modo orientativo, atribuyéramos al agua su productividad media en España (0,29 euros/m³), el consumo neto considerado (4.116 m³/ha) arrojaría un beneficio de explotación de 1.194 euros/ha; con lo que, para compensar esos 762 euros/ha/año, el incremento de beneficio debería ser de casi un 64 % (y de más del 71 %, si fuese a 20 años).

Ahora bien, el atribuir un beneficio potencial al agua ahorrada ayudaría sin duda a rentabilizar esa inversión. Así, reservando un 50 % del agua y dándole el valor apuntado de 0,29 euros/m³, tendríamos, como se ha dicho, un beneficio potencial de 276 euros/ha/año, por lo que el beneficio de explotación mínimo requerido se reduciría a 487 euros/ha. Es decir, que, si se valora el beneficio potencial del agua tal y como se ha dicho, los costes del nuevo sistema de riego exigirían un incremento de beneficio de un 41 %, para una vida útil de 25 años (de un 48 %, a 20 años).

No obstante, para el caso de un riego por gravedad en mal estado, pongamos con un rendimiento $R_1 = 0,33$, el ahorro de agua al que se podría aspirar con un sistema modernizado sería mucho mayor. Tomando $R_2 = 0,79$ y el resto de datos anteriores, y valorando de la misma manera el agua ahorrada, el incremento de beneficio de explotación debería ser de solo 16 euros/ha, o

de poco más de un 1 % sobre el beneficio orientativo, a 25 años (un 9 %, si la vida útil fuese de 20 años).

Si la intención fuese sin embargo adecuar o mejorar un riego tradicional, pasando por ejemplo de un rendimiento de 0,33 a otro de 0,54, el coste anual se cifraría en 431 euros/ha, de acuerdo con la Tabla 3 (a 25 años). Para unas necesidades de 4.116 m³/ha, se podría ahorrar en cabecera hasta 5.043 m³/ha, y en parcela unos 2.723 m³/ha. Suponiendo, como antes, que se utilizase un 50 % de esa agua, y con el mismo valor, se podría aspirar ahora a un beneficio de 395 euros/ha/año. De este modo, el beneficio de explotación orientativo debería aumentar en 36 euros/ha o en un 3 %, a 25 años (7 %, si fuese a 20 años).

De manera inversa a cómo se ha hecho en estos ejemplos, y fijando un cierto valor para el incremento del beneficio de explotación esperado, se podría calcular el beneficio económico que se debería obtener del agua ahorrada para hacer que una actuación resultase rentable. De una forma u otra, vemos que la producción que se espera obtener en las explotaciones es claramente determinante en la rentabilidad de la posible inversión. Y, en el caso de valorar el agua que previsiblemente se ahorra con la modernización, también lo son las eficiencias iniciales y finales de riego, al igual que el valor que se conceda a esa agua ahorrada.

5. Conclusiones

A partir de una amplia compilación de datos, se han estimado unos valores medios y unos rangos de variación para los costes de inversión y para los costes de operación y mantenimiento de los distintos sistemas de riego. Dichos valores se aproximan a los que se manejan en varias referencias, entre las que se incluyen las de la Administración. Aunque la realidad es compleja y podría haber situaciones individuales que no estén representadas adecuadamente, a gran escala, estos valores pueden ser tomados como referencia para el estudio que aquí se plantea.

Un sistema de riego, como cualquier inversión, será rentable si sus beneficios compensan sus costes. De modo que cuanto más precisos y adaptados a cada caso sean esos beneficios y costes, más útiles y acertadas serán las estimaciones que se hagan. En este trabajo se han considerado como beneficios los de explotación y aquellos que se esperan obtener del agua ahorrada; si bien una modernización conlleva una serie de beneficios sociales e indirectos que también deberían y podrían ser tenidos en cuenta, como puede ser el tener un

riego automatizado o el disponer de más agua para usos ambientales. Algunos de ellos pueden ser difíciles de valorar económicamente. Por ello, más que llegar a la conclusión de que una opción es preferible a otra, lo que se pretende es ver qué nuevos márgenes y qué ahorros de agua o rendimientos de riego justificarían una transformación a costa de la otra. Y, como consecuencia, si hay expectativas de que, en un caso concreto, pueda concluirse que esa opción es o no interesante.

Los resultados de este trabajo ponen de manifiesto que la rentabilidad de cualquier actuación de mejora o modernización de regadíos se ve supeditada al beneficio que se pretenda obtener de ella. En consecuencia, será esencial prever las diferencias en la producción, ante un más que probable cambio en los patrones de cultivo y una diferente respuesta de los cultivos al agua aplicada. Además, se ha visto el papel significativo que tiene la vida útil de las obras e instalaciones en su viabilidad económica, exigiéndose mayores incrementos de beneficio cuanto menor sea esta. Este aspecto debería ser más estudiado en la práctica real, para luego poder ser precisado con un mayor rigor en la evaluación de los distintos proyectos.

El método empleado permite estimar los incrementos de beneficio que justificarían unas ciertas inversiones. Con los costes medios manejados, se puede ver que probablemente en algunos regadíos españoles no estaba justificada la transformación en riego a presión, de no haber tenido lugar una reorientación productiva que ha aumentado considerablemente el margen de las explotaciones. Cabe suponer entonces que las presentes y futuras modernizaciones quedarán supeditadas a la viabilidad de unos cultivos más rentables, como pueden ser los cítricos o los hortícolas, así como a la buena gestión y reparto de los recursos hídricos disponibles.

Por su parte, si el objetivo de la modernización es ahorrar agua, a causa de una mejora en la eficiencia de riego, resultará determinante el valor que se conceda a esa agua. Este valor dependerá del uso o usos que se le vaya a dar; y, en particular, de si puede ser utilizada o no para poner en riego nuevas tierras. El ahorro de agua y su beneficio derivado vendrá condicionado claramente al rendimiento de riego inicial, parámetro esencial en esta evaluación. Como se ha visto en el estudio de caso, a no ser que los rendimientos iniciales sean bajos o las necesidades de riego elevadas, los costes de la modernización difícilmente podrán ser compensados con el beneficio que del agua ahorrada pueda obtenerse. Como consecuencia, muchos regantes deberán aprovechar las posibilidades que les ofrecen las modernas instala-

ciones, para asignar de manera óptima el agua disponible a sus cultivos, y, si acaso, intensificar sus explotaciones.

Estas cuestiones abren la puerta a alternativas más económicas a la modernización que en España se ha venido haciendo en los últimos años; alternativas como la mejora en la gestión y el reparto de los recursos hídricos o la adecuación de sistemas de riego por gravedad, que aquí también se estudia. Seguramente, si las explotaciones no se reconvierten en su conjunto, la actuación más eficaz en estos momentos sea la evaluación y el adecuado mantenimiento de las instalaciones ya existentes, para que sigan funcionando tal y como fueron proyectadas.

Hay aspectos de la modernización que no han sido tratados en este trabajo, como pueden ser la mejora de la calidad de vida de los regantes, los retornos de riego y la posibilidad de reutilizar el agua no consumida, o los efectos sobre la vegetación hidrófila y los hábitats que los regadíos tradicionales suelen albergar. Esto invita a elaborar un estudio más complejo y preciso, que tuviera en cuenta en lo posible esos aspectos y esas externalidades no abordadas. Aún con sus dificultades, los resultados ayudarían en la toma de decisiones, tanto de acometer o no obras de modernización, como de gestionar los recursos hídricos. Para ello, los costes de cualquier técnica que permita transformar un agua improductiva en productiva, y los posibles beneficios del agua, se convierten en valores de referencia necesarios; y, en la medida que puedan precisarse mejor, las valoraciones serán de mayor utilidad.

Agradecimientos

Este capítulo procede en parte de un artículo publicado en la revista *International Journal of Water Resources Development*, 28 enero 2016, copyright Taylor & Francis, disponible online en <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07900627.2015.1123142>.

El autor agradece al Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX por haber facilitado el acceso a una serie de proyectos de modernización de regadíos, a través de los cuales se pudieron obtener algunos datos aquí utilizados. Y a las confederaciones hidrográficas, las sociedades estatales de infraestructuras agrarias y las sociedades estatales de aguas que en su día proporcionaron esos proyectos.

Referencias bibliográficas

- ALARCÓN, J. (2014): *Tarifificación, asignación, rentabilidad y ahorro de agua: propuestas para un nuevo marco económico del regadío*. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid.
- ALARCÓN, J.; GARRIDO, A. y JUANA, L. (2016): «Modernization of irrigation systems in Spain: Review and analysis for decision making»; *International Journal of Water Resources Development* 32(3); pp. 442-458.
- CAMACHO, E. (2012): «La modernización de regadíos: Ahorro de agua versus incremento en el consumo de energía»; Comunicación presentada en *Jornada técnica sobre coste energético y producción de energía en comunidades de regantes*, FENACORE. Madrid, 28 de marzo de 2012.
- CEDEX (2013): *Proyecto I+D sobre Caracterización de medidas en materia de regadío que contribuyan a la consecución del buen estado de las aguas, e indicadores de eficacia y sostenibilidad*. Madrid, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- CHG (2010): *Documento del taller territorial: Tramo Medio del Guadalquivir y Bajo Genil. Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir*. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). Recuperado de http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41332/taller11_documento2_documento_trabajo.pdf/b7913134-3c87-46ed-96ac-e2ddd3fb0a31.
- COROMINAS, J. (2010): Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua* 17(3). Septiembre 2010.
- DÍAZ BARCOS, A. (2001): «Beneficios derivados de la modernización de regadíos. El ejemplo de Caparrosa (Navarra)»; *Navarra Agraria* (126); pp. 46-50.
- HARDY, L.; GARRIDO, A. y JUANA, L. (2012): «Evaluation of Spain's Water-Energy Nexus»; *Water Resources Development* 28(1); pp. 151-170.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜES, R. (2010a): «Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality. A conceptual approach»; *International Journal of Water Research Development* 26(2); pp. 265-282.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜES, R. (2010b): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* (97); pp. 1663-1675.

- LÓPEZ-CORTIJO, I. (2008): «Una visión general de los equipamientos en parcela, como obras de interés agrícola privado»; Comunicación presentada en *Jornada técnica sobre pivot, Estación de Viticultura y Enología de Navarra (EVENA)*. Navarra, Olite, 29 de abril de 2008.
- MAGRAMA (2012): *Plan Nacional de Regadíos*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de <http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/plan-nacional-regadios/texto-completo/>.
- MAGRAMA (2015): *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Informe sobre Regadíos en España, 2014*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Recuperado de <http://publicacionesoficiales.boe.es/>.
- MIMAM (2007): «El agua en la economía española: Situación y perspectivas»; *Informe integrado del análisis económico de los usos del agua en España, artículo 5 y anejo III de la Directiva Marco de Agua*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM).
- MONTERO, J. y TARJUELO, J. M. (2004): «Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems»; *Irrigation Science* (23); pp. 103-110.
- OCDE (2008): *Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990*. París, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Recuperado de www.oecd.org/tad/env/indicators.
- PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R. G. y BURT, C. M. (2009): «Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities»; *Agricultural Water Management* (96); pp. 1517-1524.
- PFEIFFER, L. y LIN, C. Y. C. (2012). «Groundwater pumping and spatial externalities in agriculture»; *Journal of Environmental Economics and Management* 64(1); pp. 16-30.
- PLAYÁN, E.; SLATNI, A.; CASTILLO, R. y FACI, J. M. (2000): «A case study for irrigation modernisation: II. Scenario Analysis»; *Agricultural Water Management* (42); pp. 335-354.
- PLAYÁN, E. y MATEOS, L. (2006): «Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity»; *Agricultural Water Management* (80); pp. 100-116.

- PLUSQUELLEC, H. (2009): «Modernization of large-scale irrigation systems: Is it an achievable objective or a lost cause?»; *Irrigation and Drainage* (58); pp. 104-120.
- REAL DECRETO 287/2006, de 10 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palie los daños producidos por la sequía. *Boletín Oficial del Estado* (60); 11 de marzo de 2006.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y BLANCO, M. (2011): «Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Southern Spain»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 137(10); pp. 644-650.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; PÉREZ, L.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2012): «The Paradox of irrigation scheme modernization: More efficient water use linked to higher irrigation demand»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1000-1008.
- SCHERER, T. y WEIGEL, J. (1993): *Planning to irrigate... A checklist*. EEUU, North Dakota State University. NDSU Extension Service.

La modernización del regadío español desde el punto de vista social

Andrés del Campo García

Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE)
y Euromediterranean Irrigators Community (EIC)

1. Introducción

Se especifica en el preámbulo de la Carta de la Tierra: «Estamos en un momento crítico de la historia de la Tierra, en el cual la humanidad debe elegir su futuro». «Los pueblos de la Tierra, declaramos nuestra responsabilidad unos hacia otros, hacia la gran comunidad de vida y hacia las generaciones futuras». Se debe desarrollar y aplicar la visión de cualquier actividad, como pudiera ser la modernización del regadío, desde un enfoque de vida sostenible a nivel local, nacional, regional y global en beneficio de toda la sociedad.

Desde la historia de la humanidad ha existido en cada generación un grupo de hombres encargados de garantizar la supervivencia de sus congéneres, practicando agricultura y con la ayuda del agua. Hombres ingeniosos primero e ingenieros después, curiosos al principio y científicos más tarde, jefes de tribus antes y responsables públicos hoy, así como agricultores entonces y continúan siendo agricultores todavía, que se han dedicado a manejar el agua, llevarla a las comunidades y transformarla en alimentos.

Gracias a su labor, se ha podido regar la tierra, abastecer a las poblaciones, evitar inundaciones y disponer de agua en épocas de sequía. Hoy día la humanidad no sería lo que es si no hubiesen existido estas personas, que hoy son como una gran familia compuesta por agricultores, técnicos de la Administración, investigadores, misioneros y religiosos, profesores, fabricantes y distribuidores de equipos relacionados con el regadío y los productos agrarios, entidades financieras y un largo etc. De modo coloquial, se les podría denominar: «la familia del agua».

El hecho de que se cuestione el regadío tiene su raíz en el medioambiente. Parece que el amor y respeto a la naturaleza son incompatibles con el uso del agua para riego y, sobre todo, con las obras hidráulicas. Y, sin duda, hoy nada más lejos de la realidad debido al nivel de tecnología ya existente.

En muchos países de climas áridos y semiáridos, ante la posibilidad de un cambio climático, se van a agudizar las condiciones naturales que obligaron en su día a los países con recursos económicos a construir embalses, debido a una mayor variabilidad interanual de la pluviometría y a una peor distribución espacial y temporal. De igual modo, la agudización del carácter torrencial de los ríos y la prolongación de periodos secos derivados del posible cambio climático, también se podrán equilibrar mejor si se dispone de infraestructuras suficientes para poder regular las cuencas hidrográficas y así minimizar los impactos negativos de dicho cambio, especialmente en países de clima árido y semiárido, por su escaso o irregular régimen pluviométrico. Además, y también en beneficio de toda la sociedad, se podría producir energía hidráulica poco contaminante a lo largo de todo el ciclo de vida desde su instalación, incrementándose la productividad de las tierras y la seguridad alimentaria. El desarrollo del I+D+i hoy permite utilizar medidas correctoras del impacto ambiental para minimizar los efectos negativos que pudiesen derivarse de estas actuaciones.

Frente a las energías de origen fósil, la energía hidroeléctrica y las energías renovables con carácter general tienen la ventaja de no consumir combustibles finitos ni emitir a la atmósfera dióxido de carbono, gas de efecto invernadero y principal contribuyente al cambio climático, ni otros contaminantes procedentes del proceso de combustión como pueden ser los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre o partículas.

Por otra parte, la producción de energía renovable de forma distribuida para autoconsumo en las zonas regables, haría disminuir sensiblemente los costes energéticos para los usuarios de sistemas de riego de presión altamente tecnificados, y estaría disponible para otros usuarios en la época de no riego.

2. El agua y la distribución de recursos hídricos

Los recursos hídricos de España para los 504.645 km² de superficie vienen condicionados por su orografía, su clima y su situación geográfica. La precipitación media anual es de 665 mm (equivalente a 336.400 hm³) según el resultado del modelo SIMPA del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y para la serie 1940/41-2009/10. Sin embargo, esta cifra está sujeta a una gran variabilidad temporal y espacial.

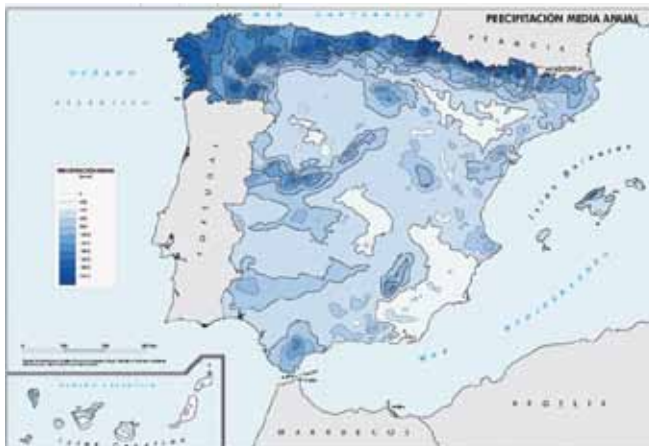
Por otro lado, la escorrentía media es de 220 mm, que proporciona un volumen de recursos naturales en un año medio de 111.000 hm³, de los cuales

algo más de 82.000 hm³ son superficiales y unos 29.000 hm³ subterráneos, de los que 2.000 hm³ aproximadamente corresponden a acuíferos drenados directamente al mar.

De los recursos totales del país, solo son aprovechables en su estado natural, con una demanda uniforme, el 9 % de ellos. Este porcentaje se reduce a menos del 5 % para una demanda variable para riego, en la que las necesidades en los meses secos supera notablemente a la de los húmedos, lo que ha obligado a ejecutar numerosas presas (aproximadamente unas 1.300) con una capacidad de embalse, incluyendo las pequeñas, de 56.000 hm³, aunque los recursos regulados disponibles quedan reducidos a 43.000 hm³. No todos los recursos naturales podrían ser regulados económicamente, estimándose el techo potencial de regulación en unos 70.000 hm³.

Sin embargo, la distribución geográfica de los recursos hídricos es muy irregular. La zona norte, con solo el 11 % de la superficie peninsular española aporta el 40 % de los recursos, pero con un coste elevado para su aprovechamiento. El 89 % de la superficie restante suministra el 60 % de los recursos, tiene una escorrentía inferior a la media y presenta dentro de ella unos valores variados (Ebro, Duero, Tajo y Pirineo oriental son superiores) y así mismo, una cobertura por habitante variable (litoral de Levante y Canarias presentan los índices más bajos).

Figura 1. Precipitación media anual en España



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

3. Evolución y transformación del regadío

3.1. Antecedentes históricos

Resulta de creencia histórica que los fenicios (siglo VII ac), cartagineses y griegos introdujeron las primeras nociones de riego en la península Ibérica, ya que las condiciones naturales de sus países originarios les habían obligado a desarrollar técnicas de regadío. Todas estas técnicas fueron posteriormente desarrolladas por romanos y árabes. Precisamente durante el Imperio romano se realizaron las primeras grandes obras públicas hidráulicas en España y se sentaron las bases para el desarrollo del regadío en Levante, Cataluña y Andalucía oriental.

Posteriormente los regadíos, a base de acequias, canales, azudes y norias, fueron impulsados y desarrollados por los musulmanes, así como las asociaciones de usuarios para el riego con instalaciones de distribución de agua en común.

Durante los siglos XVI y XVII, la necesidad de explotar tierras improducitivas obliga a desarrollar obras hidráulicas para mejorar la productividad de la agricultura y permitir el sostenimiento de una población creciente.

El principal impulso a nuestra política hidráulica se produce en el siglo XVIII, cuando la ley agraria de Jovellanos considera las transformaciones en regadío como esenciales para el desarrollo agrario. También coincide con el impulso de la legislación específica de aguas. En 1879 se redactó la primera Ley de Aguas, que ha estado vigente nada menos que durante 106 años.

3.2. Etapas y desarrollo

A muy grandes rasgos, se podrían diferenciar tres etapas en la historia del regadío español; una *primera* o de «iniciación» que abarcaba desde los primeros regadíos de la historia de España hasta las últimas décadas del siglo XIX, en la que coexistían diferentes sistemas de riego por inundación y por surcos, que podrían denominarse «riegos históricos». Merece un lugar destacado la época del rey Carlos III por la construcción de canales que primero fueron utilizados para la navegación y transporte de mercancías, abastecimiento de agua a poblaciones y, en menor proporción, para el riego de los cultivos en los siglos XVIII y XIX. Esta etapa concluye, después de varios siglos de duración

con poco más de un millón de hectáreas regadas en nuestro país, antes de comenzar el siglo XX.

Los sistemas de distribución de agua procedían de la época romana, cristiana y árabe. Se trataba de riegos de escorrentía superficial que fueron utilizados generalmente para cultivos hortícolas, situados en las vegas de los ríos y próximos a los núcleos de población, donde el agua se tomaba y se devolvía al río.

No obstante, el gran continuador de la obra de Carlos III y del pensamiento ilustrado de Jovellanos, –quien clamaba ya por los riegos y la necesidad de grandes obras hidráulicas por tener España un clima «ardiente y seco»– fue Joaquín Costa, casi un siglo después. Se le considera el padre de nuestra política hidráulica y originó el inicio de la segunda etapa del regadío español.

Debido a la falta de alimentos que había en nuestro país, y que coincidía con el periodo de las posguerras coloniales, el siglo XX comenzó con un cambio radical en la política hidráulica que dio lugar al inicio de esa *segunda etapa* de nuestra historia, que podría denominarse como la de «expansión del regadío», como consecuencia del desarrollo de las grandes infraestructuras hidráulicas para la regulación de las cuencas hidrográficas españolas, en la que se pasó de ese poco más de un millón de hectáreas a más de 3.400.000 ha, antes de finalizar el siglo XX.

La puesta en práctica de las teorías regeneracionistas de principios del siglo pasado sirvieron para debatir primero, e iniciar después las grandes zonas regables de procedencia estatal. Aquí comenzó el desarrollo hidrológico de España, todo ello motivado por los momentos de hambruna que soportaba nuestro país, todavía al final del siglo XIX.

Las ideas de Costa, aunque no eran nuevas, las defendió con rigor y fuerza, lanzando mensajes como el de 1880 ante los partidos políticos: «regad los campos, si queréis dejar rastro de vuestro paso por el poder: los árabes pasaron por España, ha desaparecido su raza, su religión, sus códigos, sus templos, sus palacios, sus sepulcros, y sin embargo su memoria está viva porque han subsistido sus riegos».

De este modo defendió sus tres grandes proyectos: el Canal de Tamarite, más tarde llamado de Aragón y Cataluña, con 104.000 hectáreas de Aragón, La Litera y Cataluña. El de Sobrarbe que regaría 102.000 hectáreas de Barbastro y Somontano, así como el embalse del Gállego que regaría los Somontanos de Huesca y los Monegros.

Se desarrollaron decretos específicos, como el de 1908 por el que se crearon diversas zonas regables en Andalucía; las comunidades de regantes del Viar, Valle Inferior del Guadalquivir y Pantano del Guadalquivir.

Posteriormente, y después de la encomiable labor que hizo el Instituto Nacional de Colonización, transformado después en IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario) en el siglo XX, se concluyó con cerca de 3,5 millones de hectáreas, y no solo se solucionó el problema del hambre en nuestro país, sino que a partir de 1982 fuimos exportadores de alimentos, lo que supuso unos beneficios, qué duda cabe, para toda la economía del país y se contribuyó también a reducir el déficit alimentario global. Recientemente se ha podido demostrar, tanto por los resultados económicos de las producciones como por los sociales debido a los empleos generados, la importancia del regadío español respecto a la economía de la nación durante la crisis económica que comenzó en España en 2007 y de la que todavía en 2016 estamos saliendo de ella. Ha sido la agricultura el sector menos afectado por esta crisis de carácter mundial.

En la última década del siglo pasado se podría diferenciar el comienzo de una *tercera etapa*, que se denominaría como de «maduración o mejora de los regadíos», basada en la transformación de los sistemas de riego ya existentes, generalmente de riego de superficie o gravedad por sistemas de presión, de mayor eficiencia hidráulica pero con superiores costes energéticos. En esta etapa, que todavía estamos viviendo, y que supuso en su día el primer ejemplo de colaboración público-privada, se destaca como hecho diferencial la modernización del regadío, a través de instrumentos legales como el Plan Nacional de Regadíos, los planes hidrológicos de las cuencas hidrográficas, y el conflictivo por su excesiva politización, Plan Hidrológico Nacional.

Las ideas regeneracionistas de principios del siglo XX tuvieron suma importancia para la política hidrológica de España porque también se desarrolló y se puso en práctica por gobiernos posteriores el concepto de la cuenca hidrográfica, como unidad de gestión. Se creó la primera confederación hidrográfica, en la cuenca del río Ebro en 1926, pocos años después la del Guadalquivir y a continuación todas las restantes.

Hoy podemos sentirnos orgullosos de que fuimos «los creadores y pioneros» de este novedoso sistema de gestión del agua a nivel de cuenca. Esta, no solo ha demostrado bien su utilidad, sino que la propia Directiva Marco de Aguas, ya en el siglo XXI, impone a todos los países miembros de la UE

que el agua se gestione por demarcaciones hidrográficas, que son copia de la gestión realizada por las confederaciones hidrográficas españolas, pero añadiendo también las aguas costeras colindantes del mar en la desembocadura de los ríos.

3.3. La inversión en modernización de regadíos

El mayor equilibrio logrado entre superficie regada y consumo de agua se ha conseguido, en gran parte, gracias a las obras de modernización de regadíos acometidas desde el final del pasado siglo, cuando se comenzaron las actuaciones del Plan Nacional de Regadíos (PNR-2001). Unas actuaciones que han afectado a más de un millón de hectáreas.

Desde entonces se han realizado inversiones por valor de casi 5.000 millones de euros. Esta cifra corresponde a la inversión pública que ha ascendido a más de 2.600 millones de euros más la inversión privada por parte de las comunidades de regantes. Del mencionado importe, el 67 % ha correspondido a la Administración General del Estado y el 33 % a las comunidades autónomas.

Los fondos europeos (FEDER) recibidos se cifran en un 35 % de la inversión pública. El resto ha correspondido a la parte privada, aportándolo directamente las comunidades de regantes y los propios regantes, sin incluir el equipamiento de la parcela regada.

Estas inversiones han permitido hacer un uso más eficiente del agua al poder aplicarla en la cantidad y en el momento idóneo para la explotación de regadío y disminuir la presión sobre las masas de agua, tanto por detracción, como por contaminación, ya que los retornos de riego se han minimizado.

También se han incorporado en muchos casos recursos hídricos no convencionales, disminuyendo la presión sobre los convencionales y se han introducido elementos, como el telecontrol, que permiten una gestión óptima del binomio agua-energía.

Las actuaciones llevadas a cabo han conseguido mejorar el nivel de vida de los agricultores al incorporarlos a la sociedad de la tecnología, la información y la innovación y han favorecido la fijación de la población al territorio, haciendo atractivo el trabajo en el medio rural.

Por otra parte, permiten mantener y mejorar la competitividad de la agricultura de regadío pues se incrementan los rendimientos y la garantía en las producciones, potencian la diversificación de las producciones para poder

adaptarse a nuevos escenarios económicos y/o climáticos y refuerzan la agroindustria dependiente al tener mayor garantía y diversidad en las producciones.

De igual modo, contribuyen al sostenimiento y conservación del medioambiente en el territorio, armonizando las necesarias actuaciones de regadíos con la conservación y el mantenimiento de los ecosistemas. Todas las modernizaciones han superado el procedimiento de evaluación ambiental y cumplen con los condicionantes y con las medidas propuestas por el órgano ambiental.

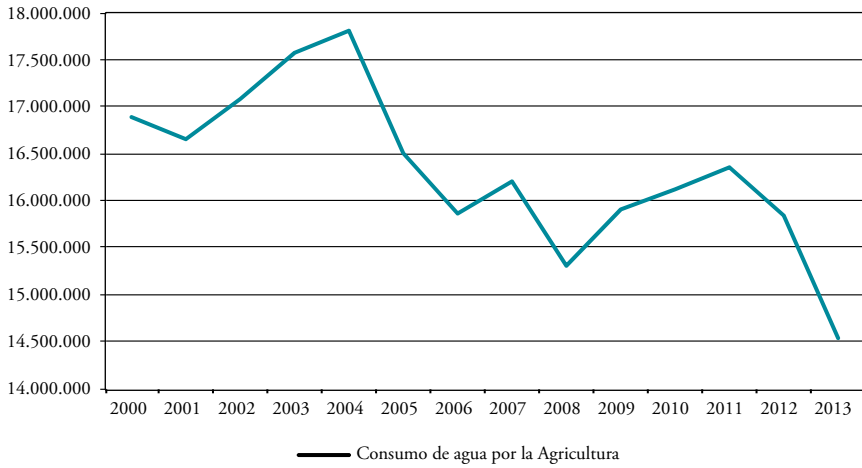
3.4. Superficie de regadío y demanda de agua

La superficie geográfica de España es de 50,5 millones de hectáreas (Mha), dividiéndose en 6,2 Mha de eriales, terrenos baldíos, improductivos y no agrícolas y 44,3 Mha para uso agrario, lo que representa casi un 88 % del territorio nacional. De esta superficie, 18,8 Mha están ocupadas por montes arbolados, 8,4 Mha son prados o pastizales y 17,1 Mha se utilizan como tierras de cultivo, de las cuales el 78 % (13,5 millones) se cultivan como secano y el resto (3,6 millones) se dedican a agricultura de regadío. De estas, solo 0,9 millones se riegan con aguas subterráneas, mientras que el resto son regadas con aguas procedentes de cauces superficiales.

Sin embargo, la productividad del regadío español es muy superior a la de los cultivos de secano, como se puede comprobar en el siguiente apartado.

El regadío español es el uso que más agua demanda: 15.833 hm³/año para el año 2012 según las estadísticas del INE. Hasta hace unos veinte años representaba casi un 80 % (24.000 hm³/año) de los usos consuntivos de nuestro país, si bien estudios realizados recientemente por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente afirman que la demanda agraria está disminuyendo, hoy puede ser del orden del 63 % de consumo neto, mientras que la del abastecimiento a poblaciones está aumentando, así como la demanda para usos ecológicos.

Gráfico 1. Uso del agua en el sector agrícola. En miles de m³



Fuente: Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario (2000-2013). INE. Elaboración propia.

3.5. Importancia del regadío en la renta agraria nacional

En los informes anuales que emite el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se publica el valor de la renta agraria. Para este cálculo se parte de la producción de la rama agraria, que a su vez se compone de: producción vegetal, producción animal, producción de servicios y las actividades secundarias no agrarias.

Descomponiendo la producción vegetal por grupos de cultivos, se observa que los regadíos aportan, de media, un 67 % de dicha producción vegetal. En años secos aumenta su peso hasta cerca del 70 % y en años húmedos aporta en torno al 66 %.

En cuanto a la contribución de los regadíos a la renta agraria nacional, también tienen mucha importancia, ya que aportan de media el 57,3 % del total. Sin embargo, en años secos aumenta ligeramente en torno al 60 %, mientras que en años húmedos baja hasta alrededor del 56 %.

Si se compara con la agricultura de secano, esta aporta de media en torno al 21,9 % de la renta, mientras que la ganadería supone el resto (20,8 %).

Tabla 1. Macromagnitudes agrarias (2013)

	España	Regadío	Secano	Ganadería
A. Producción rama agraria	44.064,65	17.953,27	9.083,14	17.027,99
B. Consumos intermedios	21.445,35	3.642,38	5.281,70	12.521,27
D. Amortizaciones	5.021,52	2.256,72	1.281,44	1.483,62
E. Otras subvenciones	5.877,83	1.719,27	2.727,32	1.431,25
F. Otros impuestos	314,17	128,94	63,15	122,08
G= (A-B-D+E-F) renta agraria	23.161,50	13.644,50	5.184,17	4.332,27
% sobre la renta agraria		58,90	22,40	18,70

Fuente: *Informe Anual de Indicadores: Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2015*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016).

3.6. Modernización y evolución de los sistemas de riego

Desde las últimas décadas del siglo pasado y con el incentivo del Plan Nacional de Regadíos de 2001, cuyo horizonte para finalizar las obras fue 2008, se ha venido realizando un gran esfuerzo por parte de los agricultores, incentivados por las comunidades de regantes y con la imprescindible ayuda de las Administraciones, tanto central como autonómicas, en la financiación de las obras para transformar y aplicar nuevas tecnologías a los regadíos ya existentes. Se ha conseguido una importante disminución de las zonas regadas por sistemas de riego de superficie y su transformación en sistemas de riego de presión, principalmente localizados y, en mucho menor grado, de aspersión.

En la actualidad, la disminución de la superficie regada por gravedad ha sido la más importante, pues del total de las hectáreas regadas en España, menos de un millón, concretamente 978.125 Mha, se lleva a cabo mediante el sistema de superficie, 862.189 Mha mediante aspersión y automotriz y 1.792.911 Mha mediante modernos sistemas de riego localizado que, si bien permiten un mayor ahorro de agua, exigen también un mayor consumo energético, más elevado aun cuando se trata de sistemas de aspersión.

Si se compara con lo que ocurre a nivel mundial, la superficie de regadío se estima en algo más de 330 Mha. A este nivel, el regadío supone aproximadamente el 20 % del área total cultivada y genera algo más del 40 % de la producción final agrícola mundial. Sin embargo, en España, el regadío supone alrededor del 16 % de la SAU (superficie agraria útil), y representa casi un 60 % de la producción agrícola nacional.

Tabla 2. Evolución de sistemas de riego en España

Tipo de riego	Antes del año 2000		Año 2015	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Gravedad (superficie)	1.973.336	59	978.125	26,9
Aspersión y otros	802.712	24	862.189	23,8
Localizado (goteo)	568.588	17	1.792.911	49,3
Total	3.344.636	100	3.636.519	100

Fuente: PNR (2001) y Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivo (2015).

Por otro lado, en la Tabla 3 se observa el enorme esfuerzo en materia de modernización de regadíos que ha llevado a cabo nuestro país, comparándolo con otros países, y a nivel mundial.

España representa el segundo país del mundo en porcentaje de riego localizado con un 49,3 % de la superficie regada del país a final de 2015, lo que supone un total de más de 1,79 Mha. El primer país es Israel con algo más de un 75 % de superficie de riego localizado, pero solo cuenta con un total de 169.000 ha.

Tabla 3. Superficie de riego y porcentaje de sistemas localizados

País	Hectáreas totales riego (Mha)	Hectáreas riego localizado (Mha)	Riego localizado (%)
Mundo	331		< 6
EEUU	22,9	1,7	7,4
India	65	2	3,1
China	63	0,756	1,2
Israel	0,225	0,169	75,1
España	3,6	1,79	49,3

Fuente: FAO (2006, 2007, 2008, 2009); ICID (2012); USDA (2005); ESYRCE (2015).

3.7. Beneficios de la modernización de los regadíos en las comunidades de regantes

La agricultura mediante los sistemas de riego localizado y de aspersión, en mucha menor proporción, ha posibilitado tener un control y una eficiencia en la dosificación que ha mejorado la situación de este sector y ha permitido un cambio en la forma de gestionar la agricultura, minimizando costes, optimi-

zando la eficiencia en el riego y permitiendo la optimización y racionalización de los consumos hídricos.

Los esfuerzos actuales en el regadío van encaminados hacia:

- Optimización en la gestión integral de las comunidades de regantes.
- Mejorar el mantenimiento y explotación de las instalaciones.
- Optimización y profesionalización de la mano de obra en las comunidades de regantes.
- Reducción de los costes energéticos.
- Mejora continua de las instalaciones.
- Obtención de cultivos de calidad.
- Mejora del control de todos los parámetros relacionados con el riego.
- Mejora del servicio al regante.
- Consecución de la sostenibilidad económica y medioambiental.

4. La modernización de regadíos desde el punto de vista social

La repercusión que tiene la modernización de una zona regable en la economía rural de las poblaciones desde el punto de vista social puede resumirse en varios aspectos.

4.1. Fijación de la población rural y su distribución en el territorio.

Las zonas regables en nuestro país tienen un efecto directo en la fijación de la población en el medio rural. El Plan Nacional de Regadíos H-2008 informaba que se dan crecimientos en las poblaciones rurales cuanto mayor es su porcentaje de superficie de regadío con respecto a la de secano. La Tabla 4 estudia la evolución de la población en áreas regadas en 3 decenios diferentes.

Se puede observar cómo la estructura de la población por edades de las zonas de riego, difiere en varios puntos por encima de la correspondiente a las zonas sin riego en la proporción de población joven, lo que no es sino expresión de las mayores oportunidades de empleo de las primeras. En coherencia con lo anterior, el envejecimiento de la población es más importante en las zonas sin regadío, lo que motiva que se agrave el problema del envejecimiento del mundo rural.

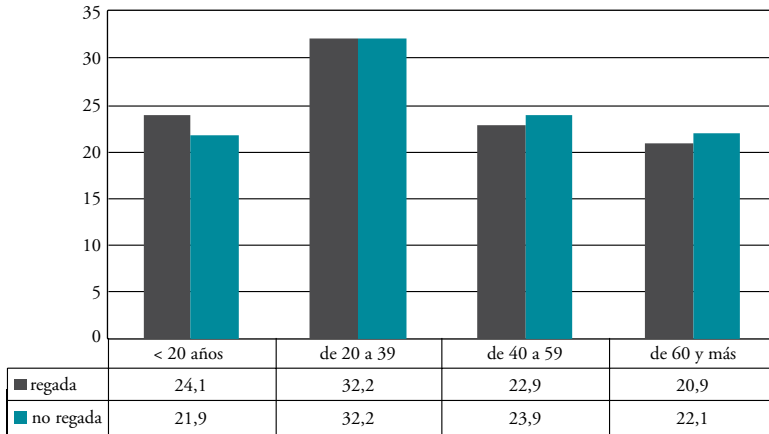
Lo anteriormente expuesto se puede observar claramente en el Gráfico 2.

Tabla 4. Evolución de la población en zonas regadas. En porcentaje

Área comarcal regada	1970-81	1981-91	1991-99
Menos del 20 %	7,8	3,4	-0,5
Entre el 20 y el 50 %	17,7	7,0	7,9
Más del 50 %	20,7	6,0	5,4
España	11,2	4,5	1,9

Fuente: Plan Nacional de Regadíos H2008.

Gráfico 2. Estructura poblacional zonas regadas (más del 20 %) y secano (menos del 2 %)



Fuente: Plan Nacional de Regadíos H2008

Por todo ello, se puede resumir que la agricultura de regadío fija población en el mundo rural, y principalmente incorpora jóvenes a la actividad agraria.

4.2. Generación de puestos de trabajo

El regadío actúa fijando la población rural por el efecto sobre la creación de empleo directo e inducido.

- Considerando la mano de obra media empleada por unidad de superficie hectárea, se tiene que el regadío genera 276.916 UTA/año. Lo que supondría 31,2 % del total del empleo agrario generado.
- Considerando la mano de obra media empleada por tamaño de explotación, el regadío supondría anualmente unas 448.956 UTA, lo que significa el 50,5 % del total de las UTA empleadas en la agricultura.

Esta última aproximación considera que una hectárea de regadío siempre supone mayor empleo de mano de obra, por lo tanto, es un valor más real que la primera consideración. La diversidad de cultivos y la productividad de las áreas regadas son mayores que en las no regadas. De media, 1 ha de regadío supone entre 5 y 6 ha de secano.

4.3. Mejora de la calidad de vida del agricultor y la del medioambiente

Con la modernización de las comunidades de regantes y las zonas regables se produce una mejora ergonómica del trabajo en la propia actividad del riego, introduciendo ahorro de trabajo y mejora de su calidad en la aplicación del agua a los cultivos mediante la automatización y la telegestión.

El agricultor mejora su calidad de vida. A día de hoy, con la modernización de regadíos, se puede permitir la gestión del riego desde cualquier dispositivo con conexión a internet (teléfono, tableta, ordenador...). Ya no es necesario estar esperando el turno de riego durante las horas nocturnas y fines de semana.

Los beneficios de la modernización también son económicos, pues se han conseguido mejorar los tres pilares de la sostenibilidad: incremento de la productividad marginal del agua al aumentar la producción con el mayor control y uso eficiente del agua, mayor diversidad en las producciones, e importantes beneficios ambientales al reducir sensiblemente los retornos del riego y evitar la contaminación difusa. Estudios recientes realizados en la cuenca del Ebro (Playán, 2015) demuestran que los retornos al río de una zona regable acabada de modernizar se han reducido en más de un 50 %, la contaminación por sales había pasado de 20 a 7 t/ha/año y la contaminación por nitratos se había reducido un 76 % respecto a la existente antes de la modernización.

4.4. Mantenimiento de las explotaciones

Según el Censo Agrario, el 42 % de las explotaciones son de regadío, aunque solo suponen en torno al 15 % de la superficie total de uso agrario.

Esto indica que el tamaño de la explotación de regadío permite ser viable con menos SAU, lo que implica una mayor distribución de la riqueza entre los profesionales de la agricultura.

El ejemplo más claro es que las explotaciones con una superficie menor de 1 hectárea, el 84 % de estas son explotaciones de regadío; y para explotaciones entre 1 y 2 hectáreas, el 41 % de las explotaciones son de regadío.

Estos datos se pueden relacionar con una actividad agraria que complementa eficazmente la renta de muchos pequeños propietarios, seguramente, con cultivos hortofrutícolas. Se evita el abandono de las explotaciones con el regadío modernizado.

4.5. Genera riqueza en la zona, aumentando el sector agroindustrial

La agricultura en términos generales, y el regadío más en particular, acentúan de manera importante la implantación de empresas relacionadas con el mundo agrario.

En los núcleos rurales donde se dan zonas de regadío es muy común encontrar un entramado empresarial asociado al riego. Entre estas empresas, se pueden detallar:

- Distribuidores de fertilizantes, semillas, fitosanitarios...
- Distribuidores de maquinaria agrícola.
- Empresas relacionadas con la transformación y conservación de los productos agrarios (cultivos hortícolas, frutales, industriales).
- Empresas fabricantes de materiales de riego e infraestructuras en las comunidades de regantes.
- Empresas y centros tecnológicos para implementar las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el regadío.
- Otras empresas de servicios: restauración, hoteles, turismo rural...
- Etc.

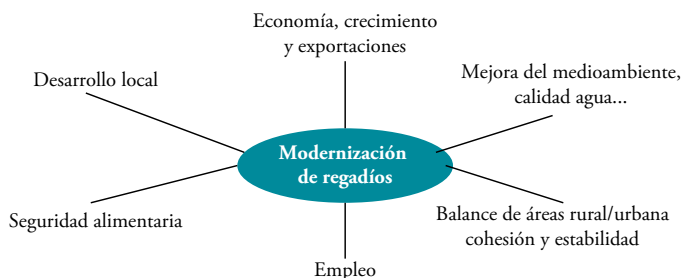
4.6. Implantación de nuevas tecnologías

La modernización de regadíos obliga de manera directa a un incremento en la capacitación de los agricultores en las técnicas de riego, con el objetivo de conseguir un mejor aprovechamiento en el uso del agua mediante las nuevas tecnologías existentes del regadío.

Las múltiples innovaciones tecnológicas disminuyen el coste asociado al riego, y por tanto ayudan a minimizar el coste del agua. Este hecho repercute directamente en la reducción de los costes de producción y consigue que el agricultor ofrezca sus productos agrícolas en condiciones más competitivas para el mercado.

La modernización de regadíos en términos generales impacta directamente en una serie de factores como se pueden observar a modo resumen en la Figura 2.

Figura 2. Factores sobre los que impacta la modernización de regadíos



5. Necesidad del regadío y retos de la agricultura del siglo XXI

Es un hecho evidente que la agricultura de regadío se encuentra en proceso de revisión. Las nuevas demandas sociales, desde la década de los ochenta, han suscitado una reflexión generalizada para conseguir un desarrollo sostenible que mejore en calidad y diversifique los productos agrícolas, tratando de afectar lo menos posible a los recursos naturales –entre los que se encuentra el agua– y al medioambiente, con carácter general.

Conviene aclarar que frecuentemente se interpreta de modo erróneo que, la protección del medio natural consiste en no desarrollar ninguna actividad, ignorándose el verdadero concepto de «desarrollo sostenible»; que enfoca el

desarrollo como: «aquél que satisfaga las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». Esta definición nos impone dos condicionantes: 1.º) satisfacer las necesidades alimenticias de la generación actual, y 2.º) utilizar unos medios de producción que sean poco agresivos con los recursos naturales.

No se puede reducir la naturaleza a términos meramente utilitaristas, como algo a lo que manipular y explotar, ni hay que obstaculizar la naturaleza, ni tampoco sobreponerla en dignidad a la persona humana. El error de la ideología ambientalista es considerar al hombre como problema. El auténtico desarrollo no es insostenible, es aquel donde las condiciones de vida del hombre mejoran y mayor es su sensibilidad y respeto por los bienes que manejamos (suelo y agua) y la defensa de la naturaleza con carácter general.

Ha de tenerse en cuenta que, a nivel global, para superar los retos de una población mundial creciente, pues está previsto que supere los 9.300 millones de habitantes en el 2050, hecho agravado porque ya existen más de 800 millones de personas por debajo de los umbrales de desnutrición, la agricultura de este siglo debe incrementar su productividad en más de un 60 % antes del año 2050, según nos advierte la FAO.

6. La demanda de alimentos en el mundo

Los datos sobre el crecimiento de la demanda y la oferta alimentaria son inequívocos. El aumento de la población, así como el incremento de los consumos en diversos países, principalmente los denominados emergentes (BRICS); Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, ha supuesto que estos últimos hayan adquirido ya más de 80 millones de hectáreas principalmente en tierras africanas y en algunos países de Sudamérica, y no como inversión sino para ponerlas en producción en el futuro, lo que se reconoce en el ámbito internacional como *land grabbing*.

Debido al incremento de la productividad del regadío respecto al secano, así como a la necesidad de garantizar el abastecimiento de alimentos a esta población mundial creciente, resulta lógico pensar que deberá ser la agricultura de regadío la responsable de garantizar a medio y largo plazo los retos del futuro de la seguridad alimentaria. Si este aumento de producción se basase en la agricultura de secano, sería en detrimento de selvas y bosques al tenerse que incrementar en mucha mayor proporción la superficie cultivada, y resultaría inadmisibles desde una óptica medioambiental.

La demanda de alimentos está aumentando a un ritmo considerable en países asiáticos como China e India y en países de Latinoamérica. El tipo de demanda también cambiará a medida que el nivel de vida aumente y el proceso de urbanización continúe. Se espera también que el consumo de maíz y otros granos gruesos cambie a arroz y posteriormente de arroz a trigo. Al mismo tiempo, se consumirán menos cereales y más carne y pescado, aumentando la demanda de maíz y de otros granos gruesos para la alimentación animal.

El aumento de población y los cambios dietéticos darán lugar a una mayor demanda de alimentos, aunque cambiarán tanto el tipo de cereales requerido para la alimentación humana y del ganado, como el balance de cereales y productos ganaderos en la dieta.

Las predicciones realizadas indican que durante los próximos 30 años la producción agrícola debe incrementarse mucho más debido al aumento de población. Aunque se estima que en los países en desarrollo aumenten las importaciones netas de alimentos, la mayor parte de la demanda será satisfecha por incrementos de la producción local.

Los aumentos de esta demanda pueden ser satisfechos de tres formas:

- Elevando la productividad agrícola.
- Aumentando la superficie cultivable.
- Incrementando la intensidad de cultivo (número de cultivos por año).

En los últimos 30 años, la mayor parte del crecimiento –más de las tres cuartas partes– se debió al incremento de la productividad, principalmente como consecuencia de la Revolución Verde. En los países en desarrollo, durante los próximos 30 años, se espera que el 69 % del aumento de la producción proceda del incremento de la productividad, el 12 % del aumento de la intensidad de cultivo y el resto de la extensión de la superficie cultivable.

De cualquier modo, la mayor parte del aumento de producción vendrá del regadío; tres cuartas partes de su superficie estarán ubicadas en países en desarrollo. Actualmente, en estos países el regadío ocupa aproximadamente el 20 % de la superficie agrícola pero suministra alrededor del 40 % de la producción final agraria.

7. La necesidad de divulgar las externalidades positivas del regadío

Todas las civilizaciones han tratado de controlar el agua, bien escaso, fuente de riqueza y motor del progreso y desarrollo de la actividad humana. El agua es, junto al suelo, el recurso más importante para la producción de alimentos, y en el mundo actual ha de ser también la base para el desarrollo rural, distribución de la población en el territorio y la conservación del paisaje y del medioambiente.

Es muy importante que las administraciones del medioambiente y Agricultura, potenciando el (I+D+i), junto con las asociaciones de regantes, analicen en profundidad y después divulguen a toda la sociedad las muchas y variadas externalidades positivas del regadío, cuantificándose estos efectos y diferenciándose entre los de tipo social, económico y medioambiental. A modo de ejemplo se podrían destacar entre otros:

- *La aportación de oxígeno a la atmósfera* por la fotosíntesis de la cubierta vegetal. Las plantas transforman la energía solar en bioquímica, gracias a la función clorofílica, absorbiendo dióxido de carbono y emitiendo oxígeno a la atmósfera. Esta función que realizan los campos cultivados y los bosques beneficia a toda la humanidad y es, de momento, gratuita como lo fue durante siglos el agua a pesar de su gran valor.
- *Los cultivos de regadío son auténticos sumideros de CO₂ atmosférico*, con el consiguiente efecto positivo sobre la disminución del efecto invernadero. Si los agricultores dejaran de cultivar los frutales, olivos, naranjos, viñas, etc. y no cuidaran y protegieran los bosques y pastos de su propiedad o de interés público que gestionan, tales sumideros desaparecerían, agravándose este problema (efecto invernadero). En Europa, la biomasa, dependiendo del cultivo, absorbe entre el 7 y el 12 % de las emisiones que generan las industrias. A modo de ejemplo, en España el cultivo de los cereales de invierno es un sumidero que puede representar, en nuestra agricultura, un almacenamiento neto de alrededor de 20 millones de toneladas de CO₂ cada año.
- *La reducción de la erosión y la desertización*, mediante el mantenimiento de la capa vegetal en regadíos eficientes.

- *La fijación de la población en el territorio*, evitando el abandono de tierras y el despoblamiento de las zonas rurales y el éxodo hacia mayores núcleos de población, cada vez más superpoblados. Como ejemplo, en España y según datos del Plan Nacional de Regadíos de 2001, la densidad de población en zonas con menos del 20 % regado tiene de media nacional 71 hab/km², mientras que en las zonas con más del 50 % de la superficie regada, la densidad es de 133 hab/km².
- *El regadío como elemento paisajístico*, sobre todo en los países de clima mediterráneo.
- *Los efectos positivos en una economía inducida por el regadío*. Hay que considerar la influencia del regadío en los servicios e industrias agroalimentarias asociadas. Ciertamente, no es el PIB (Producto Interior Bruto) un índice que cuantifique significativamente la importancia del regadío en la actividad económica de un país. En lugar de evaluarse de un modo aislado, debería incorporarse un análisis de la agricultura como soporte de todo el complejo agroalimentario y de todos los sectores que dependen de esta actividad: comercialización, cooperativismo, servicios asociados (técnicos, transportes, maquinaria, fertilizantes, fitosanitarios, embalajes, etc.) y otros. De esta forma, se alcanzarían unos valores que multiplicarían en España por más de seis veces el Producto Interior Bruto de la agricultura de regadío.
- *El regadío continúa siendo la garantía de un abastecimiento mínimo* para la población, siendo un sector estratégico para todos los países, incluso los muy desarrollados. Además puede resultar vital en situaciones de crisis.
- *La diversidad de cultivos y la productividad de las áreas regadas es muy superior* a las áreas no regadas. En el caso español una hectárea de regadío produce de media lo que seis hectáreas de secano.
- *La agricultura como productora de materias primas para la fabricación de biocombustibles*. La Unión Europea es la mayor importadora mundial de etanol, que se produce con cereales, y biodiesel, que se produce con semillas de plantas oleaginosas y aceites vegetales. Concretamente, la UE-27 tiene el objetivo de que en 2020 al menos el 10 % de la energía utilizada para el transporte proceda de fuentes renovables para así reducir un 6 % las emisiones de gases de efecto invernadero. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) prevé que

la producción de biodiesel aumente en la UE un 22 % en 2020, cifra que asciende al 40 % para el caso de etanol. Se hace hincapié en utilizar materias primas distintas a las semillas para evitar la competencia con mercados alimentarios. Por esto han surgido los biocombustibles de segunda generación, que aprovechan la materia lignocelulósica de las plantas, la que se transforma por vías fermentativas o termoquímicas en biodiesel o bioetanol de segunda generación.

Mediante el desarrollo de estas industrias para cultivos no alimentarios se conseguirán beneficios ambientales y socioeconómicos como la reducción de CO₂, la creación de puestos de trabajo en el medio rural y una mayor diversificación en las producciones. Además constituyen una fuente de energías limpias y renovable, sustitutivas de las fósiles, que son limitadas.

En definitiva, hay que intentar que los regadíos desarrollen al máximo sus efectos positivos sobre el medioambiente, dándolos a conocer a la opinión pública de forma justificada y documentada, además de reducir o eliminar los negativos.

8. Conclusiones sobre la modernización de regadíos y su necesidad

La agrupación de agricultores en comunidades de regantes, dada su gran eficacia en la autogestión –demostrada en España durante siglos– y su muy peculiar estructura organizativa, resulta de gran interés. Este modelo de asociación de regantes se está difundiendo por otros países, con el objetivo de que sus escasos recursos consuntivos de agua puedan ser distribuidos con la máxima eficiencia y equidad.

- 1.^a) La *modernización de los regadíos* ha supuesto un beneficio muy importante, no solo para los agricultores, sino también para la sociedad y el medioambiente.
- 2.^a) La mejora de la *eficiencia en el uso del agua y la energía* para el regadío es condición necesaria pero no suficiente. Cualquier transformación hidráulica relacionada con el regadío ha de tener el agua garantizada en su correspondiente demarcación hidrográfica, mediante las infraestructuras de regulación necesarias para que la actividad agraria no

se interrumpa y le permita al agricultor amortizar la transformación de los sistemas de riego tradicionales en otros más eficientes, que le posibiliten mayor calidad de vida, ahorrar agua y energía.

- 3.a) La *agricultura actual* a escala global ha de superar importantes retos; una población mundial creciente y la existencia de cerca de 800 millones de personas desnutridas, lo que ocasiona la necesidad de ejercer una importante presión sobre los recursos naturales, especialmente tierra y agua.

Habrán de tenerse en cuenta serias limitaciones:

- a) Cada vez hay menos superficie cultivable y menos agua dulce per cápita en el mundo.
- b) La nueva agricultura deberá estar construida sobre métodos y prácticas de cultivo menos emisoras de CO₂ y de metano.

De estos axiomas se pueden deducir dos conclusiones:

- Se debe *incrementar la productividad utilizando más tecnología* agronómica por hectárea en el mundo futuro.
- *El agua será vista como un bien cada vez más escaso, pero sin la cual no se podrá incrementar la productividad de las tierras* para conseguir los alimentos necesarios para la humanidad del futuro.

Las biotecnologías y la agricultura de regadío, son ya y seguirán siendo la solución a la seguridad alimentaria en el mundo actual y futuro.

- 4.a) Con respecto a los agricultores, se ha de tener muy claro que el *modelo de agricultura sostenible* de cualquier país, ha de estar basado en dos principios fundamentales:

- *Competitividad o autosuficiencia económica*: el agricultor ha de tener unos costes de producción y unos canales de comercialización que le permitan vender sus productos a precios competitivos, para poder vivir con su familia de esta actividad.

- *No agresividad al medioambiente*: ha de utilizar unos medios de producción que permitan la conservación de los recursos naturales que maneja, como son el suelo y el agua, para que puedan seguir siendo utilizados por las generaciones futuras.

De este modo se consigue una múltiple rentabilidad: social, económica, territorial y medioambiental.

Anexo

La modernización de regadíos; un éxito para la naturaleza y la sociedad

En los últimos años ha surgido el debate cuestionando el ahorro de agua en modernización de regadíos, y si estas actuaciones han sido una buena inversión en España. Más concretamente, el informe elaborado por WWF en el año 2015 bajo el título: «Modernización de regadíos, un mal negocio para la naturaleza y la sociedad» afirmaba con rotundidad el incremento en el uso del agua en las zonas regables gestionadas por comunidades de regantes tras la modernización de sus infraestructuras de riego.

Desde FENACORE se llevó a cabo un trabajo de recolección de datos relativos al uso del agua antes y después de modernizar las infraestructuras de estas comunidades de regantes. A continuación se expone una tabla resumen donde se observa la enorme diferencia entre el informe llevado a cabo por WWF y los datos reales de uso de agua en las comunidades de regantes. Estos errores tan importantes del informe de WWF y sus conclusiones han originado un grave perjuicio para la agricultura de regadío de España, pues la consecuencia puede ser la posible limitación de las futuras ayudas de la UE para el desarrollo rural y transformación de regadíos, considerando que todavía hay alrededor de un millón de hectáreas pendientes de modernizar en mayor o menor cuantía.

Tabla A1. Variación en el uso de agua antes y después de modernizar la zona regable

CCRR	Antes de modernizar (m ³ /ha)	Después de modernizar (m ³ /ha)	Datos CCRR (%)	Variación según WWF (%)
Canal Estremera (Tajo)	11.000	6.497	- 39,25	+ 9
Guadalmellato (Guadalquivir)	7.785	5.432	- 30,22	+ 4
Sector B-XII (Guadalquivir)	3.500 y 7.000	6.112	≈ - 10	+ 7
Bembézar M.D. (Guadalquivir)	7.355	4.897	- 33,42	+ 25
Sistema Riegos Alto Aragón (Ebro)	781 hm ³ ≈ 6.400	754 hm ³ 5.765	- 3,4 ≈ - 10	+ 42
Almudévar (RAA) (Ebro)	8.116	5.876	- 23,8	+ 18
La Campaña (RAA) (Ebro)	6.089	5.586	- 8,3	+ 18

Fuente: comunidades de regantes. Elaboración propia.

Con carácter general, se observan ahorros importantes del agua usada tras el proceso de modernización de la zona regable (un promedio de 19,8 %). El informe de WWF llega a la conclusión opuesta, probablemente por tomar datos sesgados e incorrectos y, en otros casos, generalizar sobre los resultados obtenidos de alguna comunidad atípica que se encontraba infradotada previamente a la modernización. Las conclusiones a las que llega WWF en su informe no pueden ser en ningún modo correctas. Los datos que aquí se aportan en la tabla anterior, son los medidos en la cabecera del canal principal o en la toma de cada comunidad de regantes, en base a la dotación que ha sido suministrada por cada confederación hidrográfica respectiva; que por otra parte han servido de base para calcular en cada confederación hidrográfica el correspondiente canon de regulación y la tarifa de utilización del agua. Estos datos son los oficiales y se pueden consultar en los archivos de las respectivas CCRR, no se entiende el origen de la información que tiene WWF.

A modo de ejemplo y para ilustrar sobre la metodología seguida en los cálculos de las dotaciones brutas de riego utilizadas por las CCRR, se detalla a continuación la información recibida de las comunidades de regantes del Guadalmellato y la de la Margen Derecha del Río Bembézar, en las provincias de Córdoba y Córdoba-Sevilla, respectivamente.

Tabla A2. Evolución de variación en el uso de agua antes y después de modernizar la zona regable

CR Pantano del Guadalquivir			CR M. D. río Bembézar		
Año	Extracciones (m ³ /ha)		Año	Extracciones (m ³ /ha)	
1997	8.759		2001	7.829	Media consumo antes de la modernización = 6.476,8 m ³ /h
1998	9.083		2002	6.765	
1999	8.955		2003	7.471	
2000	4.602	Media consumo antes de la modernización = 7.784,8 m ³ /ha	2004	6.944*	*Modernización zona regable
2001	7.851				
2002	7.825				
2003	8.193		2007	5.141*	
2004	6.974		2008	4.869	
2005	7.821		2009	5.195	
2006	3.463*	*Modernización zona regable	2010	4.444	Media consumo después de la modernización = 4.896,9 m ³ /ha
2007	2.822*				
2008	2.717*				
2009	4.531		2013	5.239	
2010	4.790	Media consumo después de la modernización = 5.431,8 m ³ /ha	2014	4.511	
2011	5.646				
2012	5.915				
2013	5.960				
2014	5.749				

Fuente: Memoria de las CRRR.

Para elaborar las dos primeras columnas de la tabla, donde se especifican las cifras referidas para antes y después de la modernización, no se han tenido en cuenta los años que ha durado en cada zona regable la ejecución de la modernización, pues el riego de esas campañas fue atípico debido a las interferencias de las obras.

En el informe de WWF hay errores de concepto, toma de datos, generalización de casos particulares de comunidades de regantes que no son representativos, se ignoran las actuaciones puramente medioambientales realizadas junto a la modernización de infraestructuras realizadas a cargo de los regantes, etc. Como ejemplo: en el caso de la Comunidad de Regantes de Estremera, se confunde el concepto de consumo con los derechos concesionales. No se considera que en la modernización de esta comunidad de regantes, que ha supuesto una inversión total de 25 millones de euros, hay una parte conside-

rable que se ha destinado a medidas medioambientales, como por ejemplo la reforestación de vías verdes, suponiendo más de un millón de euros con cargo a los propios regantes, y así ocurre en muchas de las CCRR transformadas.

No obstante, existe algún caso limitado y bastante excepcional en el que se observan ligeros aumentos de consumo, siempre por debajo de los derechos concesionales que no podían ser usados por los regantes porque el agua no llegaba a todas las parcelas antes de la modernización. En esa comunidad de regantes se ha cambiado a cultivos de mayor valor añadido, con necesidades hídricas superiores y que a su vez generan más ingresos, por lo que sería aconsejable realizar un análisis de productividad marginal del agua de riego (euros/m³) para valorar y poder justificar la situación. En algún otro caso, el aumento del uso del agua ha podido ser debido a la consolidación del número de hectáreas regables de la comunidad, pues en algunas de las zonas regables, es diferente la superficie regable de la regada, siendo superior la primera. En estos casos los proyectos de modernización tratan de consolidar la zona regable con la regada, dotando del agua suficiente para todo el perímetro regable. De este modo han desaparecido en algunas zonas regables los denominados «riegos en precario», que solo podían regar los años que había bastante agua en los embalses de regulación. Estos son casos puntuales y bastante aislados.

Como conclusión de este Anexo quisiera argumentar que, después del enorme esfuerzo económico realizado en la transformación del regadío por los agricultores españoles (muchos hipotecados por 50 años), con las imprescindibles ayudas de la UE y de las Administraciones central y autonómicas, no se merecen que un estudio de WWF, con múltiples errores en la toma de datos y mezclando a veces conceptos de modo injustificado y generalizando algún caso aislado y no representativo de alguna comunidad de regantes concreta, lleguen a conclusiones equivocadas y totalmente subjetivas. Sin duda hay que tener mucho más rigor técnico y científico antes de divulgar resultados de estudios que pueden confundir a toda la sociedad y causar graves perjuicios al sector.

Referencias bibliográficas

- UNESCO (2005): *Agua para todos, agua para la vida*. París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- BOLEA FORADADA, J. A. (2016): *Las Comunidades de Regantes*. Madrid, Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE).

- DE CASTRO, P. (2012): *Hambre de tierras: alimentos y agricultura en la era de la nueva escasez*. Madrid, Eumedia y Food Trend Foundation.
- DEL CAMPO GARCÍA, A. (2011): *La Tierra como ambiente de vida: agricultura del continente europeo*. Comunicación presentada en Giustizia e Globalizzazione. Congresso Internazionale nel 50 Anniversario della Mater et Magistra. Roma, Ciudad del Vaticano. 16-18 mayo 2011.
- DEL CAMPO GARCÍA, A. (2003): *El uso del agua para los regadíos del arco mediterráneo. Retos para el desarrollo sostenible*. Comunicación presentada en Foro Mundial del Agua. Japón, Kyoto. 20 de Marzo de 2003.
- DEL CAMPO GARCÍA, A. (2016): *Las Comunidades de Regantes en España, su Federación Nacional y el regadío*. Madrid, FENACORE.
- LAMO DE ESPINOSA, J. (2016): *El agua en el mundo-El mundo del agua (El agua en un mundo global y bajo el cambio climático)*. Barcelona, Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras.
- MAGRAMA (2016): *Informe Anual de Indicadores: Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de 2015. Análisis y Prospectiva*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPA (2001): *Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- PÉREZ GONZÁLEZ, J. L. (2011): «Centenario Joaquín Costa (1911-2011)»; *Boletín Inter Cuencas* (30); pp. 12-13.
- PLAYÁN, E. (2015): *Situación actual de la modernización de regadíos*. Comunicación presentada en la XVII Jornada informativa sobre modernización de regadíos de Riegos del Alto Aragón – Modernización de regadíos: Una cuestión de futuro. Huesca. 14 de octubre de 2015.
- RODRÍGUEZ CHAPARRO, J. (2015): *Ventajas socioeconómicas del regadío*. Valencia, Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA).
- URBANO LÓPEZ DE MENESES, J. (2016): *Evaluación de costes de los cultivos y análisis de la imputación del coste del agua desalada*. Comunicación presentada en la Jornada de Estudio sobre Uso Sostenible del Agua Desalinizada. Madrid, Foro Agrario.

III. ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA MODERNIZACIÓN

Hidrología del riego

Los efectos de la modernización

Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC)

1. Hidrología del riego

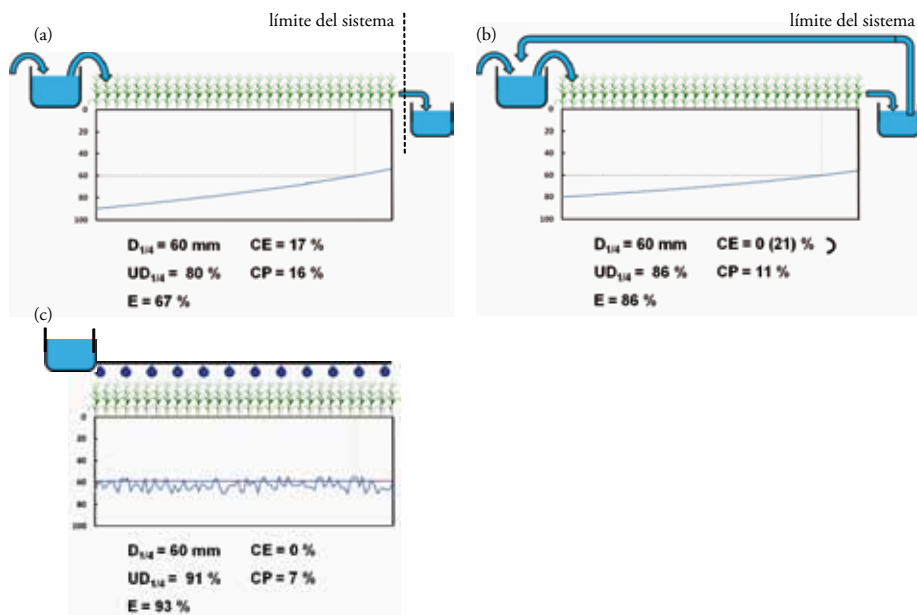
Hidrología es la ciencia que estudia la distribución, circulación y propiedades del agua en la tierra y su atmósfera. La hidrología del riego se refiere a los aspectos de los agro-ecosistemas de regadío específicamente relacionados con el agua. El dominio espacial de estudio varía desde milímetros hasta cientos de kilómetros, mientras que el dominio temporal puede abarcar desde segundos hasta siglos (Wallender y Grismer, 2002). Los flujos de agua concernientes son superficiales, subsuperficiales (zona vadosa y acuíferos) y atmosféricos (evapotranspiración, precipitación), con al menos uno de ellos controlado artificialmente con vistas a la producción de cultivos.

En una parcela de riego, la mayor parte del agua que se aplica se infiltra en el suelo para luego redistribuirse y quedar a disposición del cultivo (que la absorberá y evapotranspirará) o drenarse en profundidad. La Figura 1ab representa un ejemplo de este proceso para un riego por surcos en dos situaciones diferentes: la escorrentía que sale por la cola de la parcela se evacúa (Figura 1a) o se reutiliza bombeándola de nuevo a la cabecera (Figura 1b). En ambos casos el objetivo del riego es satisfacer la lámina requerida (60 mm) en tres cuartos del campo. La superficie que queda bajo la línea discontinua representa la percolación. La posibilidad de recircular el agua induce a usar un mayor caudal por surco, lo que permite reducir la lámina infiltrada en la cabecera de la parcela. Sin recirculación del agua se consigue una uniformidad de la distribución¹ de 80 %, mientras que la recirculación permite elevarla a 86 %. La eficiencia de la aplicación es de 67 % y 86 %, respectivamente, una diferencia notable. La recirculación del agua reduce a cero el 21 % de coeficiente de escorrentía² que se obtendría si en el caso de la Figura 1b el agua se evacuara fuera del límite del sistema por la cola de la parcela.

¹ Relación porcentual de la lámina media en el cuarto de la parcela donde menos agua se infiltra y la lámina media en el campo.

² Relación entre el agua aplicada y el agua que escurre superficialmente.

Figura 1. Esquema del resultado de dos riegos por surcos, sin y con reuso de la escorrentía (a y b, respectivamente) y de un riego por goteo (c) donde $D_{1/4}$ es la lámina requerida para tres cuartos del campo, $UD_{1/4}$ es la uniformidad de distribución, E es la eficiencia de aplicación, CE es el coeficiente de escorrentía y CP es el coeficiente de percolación



Si la misma parcela se regara por goteo (Figura 1c), paradigma del riego modernizado, podría alcanzarse una uniformidad de distribución de 91 % y elevar la eficiencia de aplicación a 93 %. Esto es sin duda una mejora importante respecto al caso de la Figura 1a, pero no lo es tanto respecto al de la Figura 1b.

Este ejemplo sencillo de hidrología del riego ilustra a pequeña escala el mismo fenómeno que comúnmente tiene lugar en cuencas donde el riego es importante y donde interesan los efectos de la modernización del riego. La Figura 2 esquematiza la hidrología de dos tipos de sistemas hidrológicos comunes (Mateos, 2008). Uno lo llamamos en serie (Figura 2a); el otro lo llamamos en paralelo o mixto (Figura 2b), según sean los flujos indicados con las flechas. Del agua derivada de la fuente principal pero no consumida (evapotranspirada) dentro de la unidad de riego, una fracción puede devolverse a esa misma fuente (fracción ρ_1), otra fracción puede circularse a la siguiente unidad de riego aguas abajo (ρ_2) y el resto ($1-\rho_1-\rho_2$) saldrá del sistema. El Grá-

figura 1a presenta la eficiencia global del sistema suponiendo que la eficiencia de las unidades de riego es 68 % y que estas unidades están, bien en serie, bien en paralelo con $\rho_1=0$, $\rho_2=0, 0,5$ o 1. Si estuvieran en serie, la eficiencia global crecería rápidamente con el número de reusos, se mantendría constante si estuvieran en paralelo puro ($\rho_1= \rho_2=0$) y alcanzaría valores intermedios (superiores al de la unidad de riego) con $\rho_2=0,5$ o 1. Un corolario es que un plan de modernización dirigido a mejorar la eficiencia de las unidades de riego tendrá tanto menos impacto en la eficiencia global cuanto más próxima esté la configuración del sistema a lo que hemos llamado configuración en serie (Gráfico 1b). En una cuenca con alta densidad de regadío, alta intensidad de reuso y donde la fuente principal de agua se concentrara en la cabecera (Figura 2c), un programa de modernización que llevara la eficiencia de las unidades de riego de 68 % a 84 % no supondría una mejora equivalente de la eficiencia global del sistema, pues el cambio sería desde 87 % a 95 % (Gráfico 1c). Esto explica el fracaso de algunos planes de modernización del riego que se formularon con el objetivo de aumentar la disponibilidad de agua en las cuencas donde se implementaron.

Figura 2. Esquema de tres sistemas hidrológicos: (a) en serie, (b) en paralelo o mixto, según sean las fracciones (ρ) de los flujos indicados con las flechas y (c) de una cuenca donde la fuente principal de agua está en la cabecera

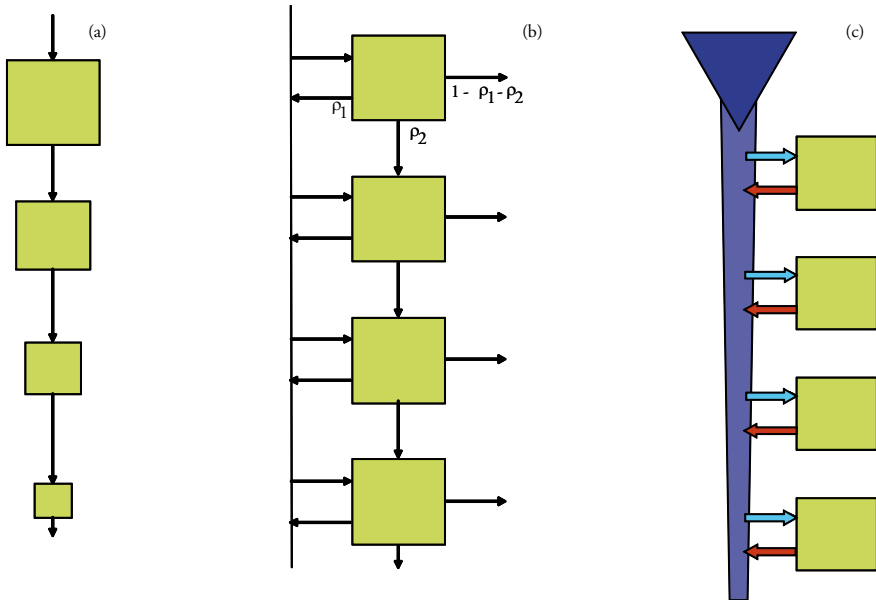
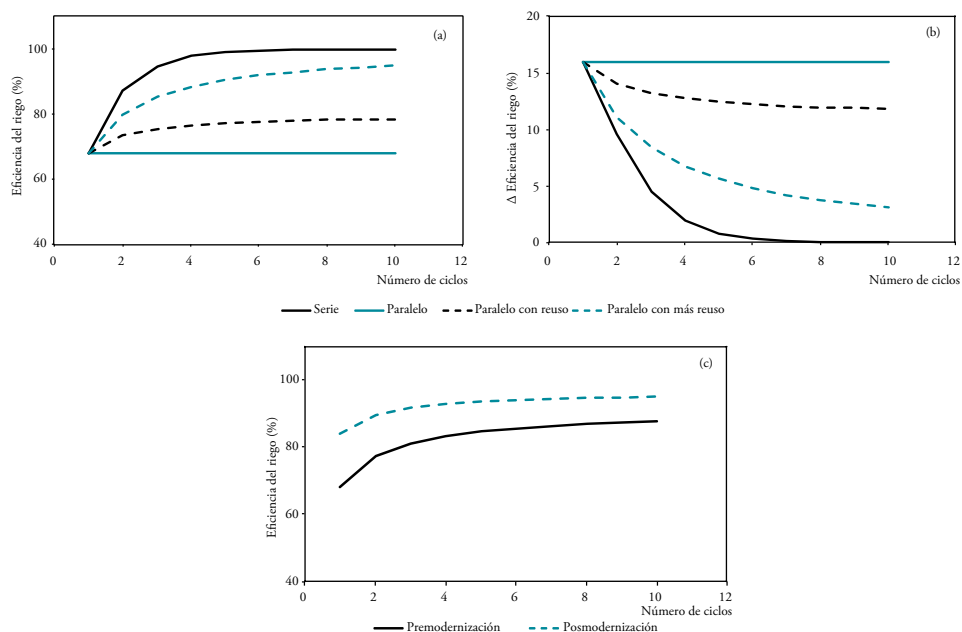


Gráfico 1. (a) Eficiencia del riego en función del número de reusos: en serie o en paralelo con $\rho_1=0$ y $\rho_2=0$ (paralelo puro), 0.5 (paralelo con reuso) o 1 (paralelo con más reuso). (b) Incremento de la eficiencia global del riego en función de la configuración del sistema y del número de reusos. (c) Eficiencia del riego en función del número de reusos en situaciones de pre- y post-modernización con $\rho_1=0,8$, $\rho_2=0$, E unidad=68 % (pre) o 84 % (post)



2. Tres estudios de caso

2.1. Zona regable Tulelake en California

La reutilización del agua en la Zona Regable Tulelake (California) es intensa y se hace mediante conexiones intrincadas. Las eficiencias de aplicación del riego estimadas por los agentes de extensión agraria de la zona varían entre 65 % y 85 % según el método de riego. Sin embargo, un balance de agua resultó en que la eficiencia del riego de la zona regable en su conjunto es de 91 %. Este efecto positivo, debido a la reutilización, tiene sin embargo una cara negativa: la salinización espacialmente diferenciada dentro de la zona regable debido a la acumulación de sales conforme los retornos recorren ciclos sucesivos de riego (Mateos *et al.*, 2000). Lo mismo ocurre a escalas mayores. Por ejemplo, en el valle del río Arkansas (Colorado), la salinidad a lo largo del

río se multiplica por un factor de 7 a 11 según la época del año (Lin y García, 2000). Esto se debe a la salinidad y la evapo-concentración de los retornos del riego, pero según las estimaciones de estos autores el aumento de la salinidad sería aún mayor si se redujera el regadío y el agua sobrante se trasvasara fuera de la cuenca.

Las relaciones descritas en este estudio de caso tienen efectos cuando sobre una zona se lleva a cabo un programa de modernización del riego. Esto es lo que se trata en los dos siguientes estudios de caso.

2.2. Zona regable del Bajo Guadalquivir

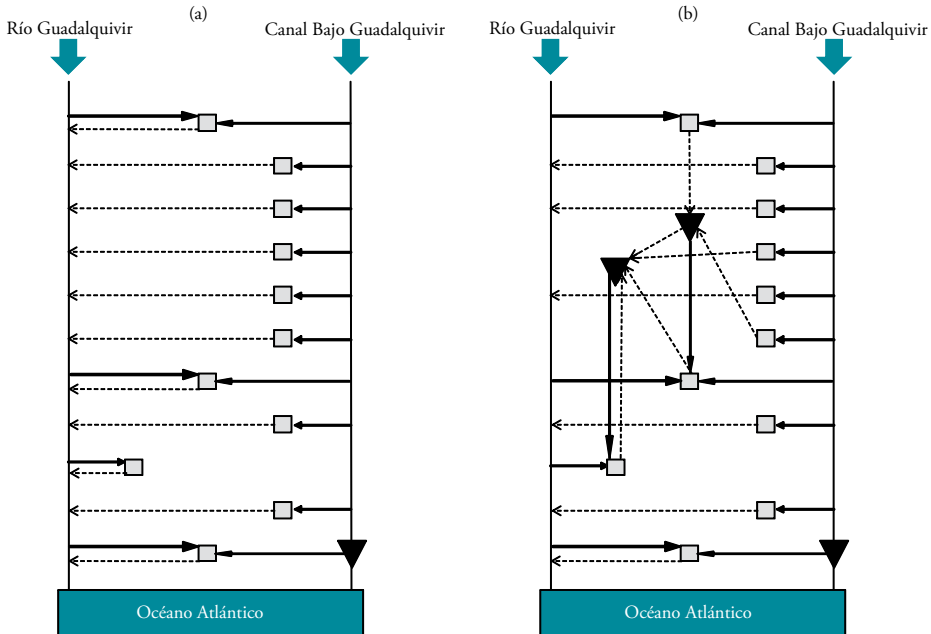
El Bajo Guadalquivir es una gran zona de regadío que, por su situación, sufre las tensiones hídricas que se generan en la cuenca y es responsable de aprovechar racionalmente un recurso que, una vez que sobrepasa la zona, se pierde definitivamente en el océano Atlántico. La gran inversión que está suponiendo la modernización de estos regadíos y las actuaciones para reutilizar el agua internamente hacen del caso un ejemplo ilustrativo de cómo distintas intervenciones modifican la hidrología del riego.

La superficie total de regadío en la zona de estudio es 76.347 ha, con dos ejes hidráulicos: el canal del Bajo Guadalquivir y el río Guadalquivir, desde cuyo estuario extraen agua varias estaciones de bombeo, principalmente para regar arroz. El regadío está organizado en varias comunidades de regantes que, a efectos de este estudio, se agruparon en 11 unidades de demanda. La mayor parte de la zona regable ha pasado por un proceso de modernización en los últimos diez años. Paralelamente, en algunas comunidades de regantes han reconfigurado los canales y las estaciones de bombeo de riego y de drenaje para poder reutilizar agua y aumentar así el aprovechamiento del suministro externo.

Los escenarios analizados consideran dos tipos de actuaciones: modernización del riego y reutilización de retornos (Figura 3). De la actuación o no en cada una de estas materias resultan 4 escenarios posibles. En este estudio, la diferencia entre modernización y no modernización significa que la eficiencia del riego en una unidad de demanda agrícola es 90 %, en el caso de regadío modernizado, o 75 %, en el caso contrario. Se trata de supuestos, es decir, las cifras elegidas no provienen de ningún tipo de medida, sino de estimaciones comunes en los planes hidrológicos de la cuenca. Reutilización significa que, en dos tramos principales de la red de drenaje, cerca ya de donde vierte al río,

concretamente los tramos denominados Colector y Canal de los Portugueses, las compuertas se cierran para retener los flujos de retorno y bombearlos a la red de riego (Figura 3b). Lógicamente, la gestión del riego depende del escenario del que se trate. Una norma común a todos los escenarios es que el agua se reparte equitativamente entre todas las demandas abastecidas desde una fuente común. La lógica de gestión del esquema que contempla reutilización se estableció con ayuda de los gestores del sistema. Los dos esquemas hidráulicos y las simulaciones de los 4 escenarios se hicieron con la herramienta AQUATOOL (Andreu *et al.*, 1995), y los detalles de la aplicación se encuentran en Fernández-Gallego y Mateos (2010) y Mateos (2011).

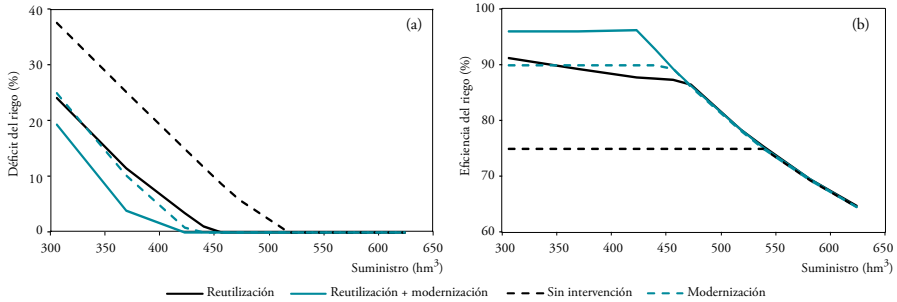
Figura 3. Esquema hidráulico del Bajo Guadalquivir sin (a) y con (b) reusos. Los triángulos indican balsas y los cuadrados, unidades de demanda



El resultado de los escenarios se analizó en términos de déficit en el suministro y de eficiencia del riego del sistema en su conjunto. El Gráfico 2a muestra lo primero. El déficit es máximo para cualquier aportación en la situación previa a cualquier intervención, y mínimo cuando los dos tipos de mejora se implementan en el sistema. En este último escenario, el suministro a las zonas regables es deficitario cuando las aportaciones anuales son inferiores a

420 hm³, mientras que en el primer escenario el suministro es ya deficitario con 520 hm³ de aportación anual. Lo interesante es que el escenario de modernización tiene un efecto en el déficit muy similar al de reutilización.

Gráfico 2. Eficiencia y déficit del riego en el Bajo Guadalquivir en función del suministro (hm³) y para 4 escenarios indicados en la leyenda



La eficiencia del riego en el sistema también se analizó en función de la aportación. Se observa que la frontera de menor eficiencia la marca el escenario sin intervención, que alcanza su tope de eficiencia (75 %) cuando las aportaciones son inferiores a 540 hm³ anuales (Gráfico 2b). Si las aportaciones superan 540 hm³, el volumen de agua disponible es superior al demandado, por lo que los excedentes se vierten a los puntos de retorno del sistema y se pierden definitivamente. En el otro extremo, el escenario que incluye modernización y reutilización marca la frontera superior de eficiencia de riego (96 %). Este máximo se alcanza cuando las aportaciones anuales son inferiores a 425 hm³, un volumen muy inferior a los 540 hm³ que marcan la inflexión en el escenario sin intervención. Al igual que se observó con el déficit, el efecto sobre la eficiencia global del riego de la modernización y de la recirculación son muy similares. Cuando las aportaciones son muy bajas, la recirculación por sí sola puede suponer mayor mejora de la eficiencia global del riego que la modernización.

2.3. Mejora del riego en la zona regable Wellton-Mohawk en Arizona

El Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU llevó a cabo medidas de mejora del riego en la Zona Regable Wellton-Mohawk (Arizona), durante los años 1975-1986, como parte del programa de control de la salinidad del río Colorado y en respuesta a la demanda de México sobre la calidad del

agua que cruza la frontera. Las mejoras consistieron principalmente en nivelar los canteros de riego usando tecnología laser, aunque la intervención incluyó también la supresión del riego en parte de la superficie de la zona regable. La eficiencia del riego en las parcelas subió de aproximadamente 60 % a aproximadamente 80 %. Ello permitió reducir el suministro por unidad de área en un 10 % y los flujos de retorno en un 30 %, aunque la evapotranspiración aumentó entre un 3 y un 4 % debido a la mejora de la producción de los cultivos. La evapotranspiración de la zona regable en su conjunto se redujo ligeramente (se conservó algo de agua), pero no debido a la mejora del riego en parcela sino a la reducción de la superficie regada. Esta conclusión está relacionada con el llamado efecto rebote, discutido profusamente en otros capítulos de este libro (Berbel *et al.*, capítulo 8; Expósito y Berbel, capítulo 12; Corominas y Cuevas, capítulo 11) y nos conduce a la siguiente materia: la gestión de la evapotranspiración.

3. Gestión de la evapotranspiración

Como pasó con la mejora de la Zona Regable Wellton-Mohawk, la política de conservación de agua viene fracasando en la mayoría de los proyectos donde se ha implementado. Si ni las medidas para conservar agua en la finca, ni la construcción de infraestructuras de riego eficientes, ni la mejora vegetal y la agronomía, ni los incentivos económicos han liberado recursos hídricos para otros usos (Mateos y Araus, 2016), entonces la única forma de conservar agua es gestionando directamente la evapotranspiración (Martin, 2009). Para ello, Wu *et al.* (2014) propusieron un proceso de 4 fases: i) un balance del agua consumida en la escala cuenca, ii) determinación de una evapotranspiración objetivo que contribuya a la productividad garantizando la sostenibilidad, iii) identificación de conflictos y medidas compensatorias en el uso consuntivo de los diferentes sectores (agricultura, industria, urbano, ambiente) y iv) monitorización exhaustiva de los usos consuntivos a la escala de cuenca. Solo siguiendo este proceso, los gestores de recursos hídricos encontrarán vías de explotar el agua productiva y sosteniblemente mediante a) la reducción de la evapotranspiración que no produce beneficios, b) la conversión de consumos no beneficiosos en consumos beneficiosos y c) el aumento de la productividad de la evapotranspiración (Wu *et al.*, 2014). Si estas medidas no fueran suficientes para garantizar la sostenibilidad, entonces no habría más remedio que recortar la evapotranspiración; y como la agricultura es el primer consumidor

de agua, priorizar medidas de recorte de la evapotranspiración del regadío será la clave para resolver las crisis hídricas.

La gestión de la evapotranspiración supone un nuevo paradigma que requiere adaptar los mecanismos legales y mercantiles y los métodos de monitorización. En cuanto a lo primero, mencionemos aquí que hoy día las transferencias de derechos de agua en Colorado se basan por ley en el uso consuntivo. Una ciudad o industria que adquiera agua de un agricultor, solo podrá utilizar la cantidad de agua que el agricultor haya consumido históricamente, es decir, el agua que sus cultivos evapotranspiraran. Por lo tanto, son necesarias estimaciones de esta evapotranspiración, algo que hoy se ha mejorado con el uso de la teledetección (Mateos *et al.*, 2013; González-Dugo *et al.*, 2013).

4. Agua subterránea: ¿hasta cuánto puede expresarse?

El agua superficial está más a mano que el agua subterránea y por eso se ha venido recurriendo a ella en primera instancia. Pero cuando se gasta, inexorablemente se recurre al agua subterránea, cuyo agotamiento es más difícil de ver y prevenir (Esteban *et al.*, capítulo 7 de este libro). Además, el agua subterránea permite más flexibilidad en el riego, una propiedad que los agricultores buscan con afán porque redundante en la productividad y en la eficiencia (Plusquellec, 2002). El resultado ha sido que el agua subterránea está ya sobreexplotada en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas del mundo donde el riego se ha intensificado: en el valle del Indus (Rodell *et al.*, 2009), en las llanuras centrales de los Estados Unidos (Scanlon *et al.*, 2012; Steward and Allen, 2016), en el Próximo Oriente (Aw-Hassan *et al.*, 2014), en las llanuras Huang-Huai-Hai de la China (Kong *et al.*, 2016). El ritmo mundial de extracción de agua subterránea aumenta entre 1 y 2 % cada año (van der Gun, 2012). Wada *et al.* (2012) estimaron que el 20 % de estas extracciones no son renovables. En África sub-sahariana, donde recientemente se ha conocido la existencia de importantes recursos subterráneos (MacDonald *et al.*, 2012), las miras ya están puestas en su desarrollo para el riego (Amjath-Babu *et al.*, 2016), sin garantías de no repetir errores pasados. En España, los casos de acuíferos sobreexplotados debido al riego siguen sumándose, lo que se agrava con la percepción de algunos expertos de que la gestión del agua subterránea es caótica (Llamas *et al.*, 2015).

Referencias bibliográficas

- AMJATH-BABU, T. S.; KRUPNIK, T. J.; KAECHELE, H.; ARAVINDAKSHAN, S. y SIETZ, D. (2016): «Transitioning to groundwater irrigated intensified agriculture in Sub-Saharan Africa: An indicator based assessment»; *Agricultural Water Management* (168); pp. 125-135.
- ANDREU, J.; CAPILLA, J. y SANCHÍS, E. (1995): «AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management»; *Journal of Hydrology* (177); pp. 269-291.
- AW-HASSAN, A.; RIDA, F.; TELLERIA, R. y BRUGGEMAN, A. (2014): «The impact of food and agricultural policies on groundwater use in Syria»; *Journal of Hydrology* (513); pp. 204-215.
- CLEMMENS, A. J.; ALLEN, R. G. y BURT, C. M. (2008): «Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems»; *Water Resources Research* (44); pp. 1-16 W00E03.
- FERNÁNDEZ-GALLEGO, M. S. y MATEOS, L. (2010): «Irrigation hydrology in the Guadalquivir River catchment, Spain»; Comunicación presentada en *World Environmental & Water Resources Congress 2010*. Providence, Rhode Island, May 16-20, 2010. Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers.
- GONZÁLEZ-DUGO, M. P.; ESCUIN, S.; CANO, F.; CIFUENTES, V.; PADILLA, F. L. M.; TIRADO, J. L.; OYONARTE, N.; FERNÁNDEZ, P. y MATEOS, L. (2013): «Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. II. Application on basin scale»; *Agricultural Water Management* (125); pp. 92-104.
- KONG, X.; ZHANG, X.; LAL, R.; ZHANG, F.; CHEN, X.; NIU, Z.; HAN, L. y SONG, W. (2016): «Groundwater depletion by agricultural intensification in China's HHH Plains, since 1980s»; *Advances in Agronomy* (135); pp. 59-106.
- LIN, Y. y GARCÍA, L. A. (2012): «Assessing the impact of irrigation return flow on river salinity for Colorado's Arkansas River Valley»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* (138); pp. 406-415.
- LLAMAS, M. R.; CUSTODIO, E.; DE LA HERA, A. y FORNÉS, J. M. (2015): «Groundwater in Spain: increasing role, evolution, present and future»; *Environmental Earth Science* (73); pp. 2567-2578.

- MACDONALD, A. M.; BONSOR, H. C.; DOCHARTAIGH, B. E. O. y TAYLOR, R. G. (2012): «Quantitative maps of groundwater resources in Africa»; *Environmental Research Letters* (7).
- MARTIN, D. (2010): *Evapotranspiration and Watershed Management*. Presentation to Task Force. University of Nebraska Lincoln, Department of Biological Systems Engineering.
- MATEOS, L. y ARAUS, J. L. (2016): «Hydrological, engineering, agronomical, breeding and physiological pathways for the effective and efficient use of water in agriculture»; *Agricultural Water Management* (164); pp. 190-196.
- MATEOS, L. (coord.) (2011): «Modelo hidrológico de la cuenca del Guadalquivir»; *Informe Final*. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- MATEOS, L. (2008): «Identifying a new paradigm for irrigation system performance»; *Irrigation Science* (27); pp. 25-34.
- MATEOS, L.; GONZÁLEZ-DUGO, M. P.; TESTI, L. y VILLALOBOS, F. J. (2013): «Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation»; *Agricultural Water Management* (125); pp. 81-91.
- MATEOS, L.; YOUNG, C. A.; WALLENDER, W. W. y CARLSON, H. L. (2000): «Simulating spatially distributed water and salt balances»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* (126); pp. 288-295.
- PLUSQUELLEC, H. (2002): «Is the daunting challenge of irrigation achievable?»; *Irrigation and Drainage* (51); pp. 185-198.
- RODELL, M.; VELICOGNA, I. y FAMIGLIETTI, J. S. (2009): «Satellite-based estimates of groundwater depletion in India»; *Nature* (460); pp. 999-1002.
- SCANLON, B. R.; FAUNT, C. C.; LONGUEVERGNE, L.; REEDY, R. C.; ALLEY, W. M.; MCGUIRE, V. L. y MCMAHON, P. B. (2012): «Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley»; *PNAS* (109); pp. 9320-9325.
- STEWART, D. R. y ALLEN, A. J. (2016): «Peak groundwater depletion in the High Plains Aquifer, projections from 1930 to 2110»; *Agricultural Water Management* (170); pp. 36-48.
- VAN DER GUN, J. (2012): *Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges*. París, UNESCO.

- WADA, Y.; VAN BEEK, L. P. H. y BIERKENS, M. F. P. (2012): «Non sustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment»; *Water Resources Research* (48); W00L06.
- WALLENDER, W. W. W. y GRISMER M. (2002): «Irrigation hydrology: Crossing scales»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* (128); pp. 203-211.
- WU, B.; JIANG, L.; YAN, N.; PERRY, C. y ZENG, H. (2014): «Basin-wide evapotranspiration management: concept and practical application in Hai Basin, China»; *Agricultural Water Management* (145); pp. 145-153.

El agua subterránea en España

Modernización, gestión de acuíferos y ecosistemas

Encarna Esteban^{a y c}, Daniel Crespo^b y José Albiac^{b y c}

^aUniversidad de Zaragoza, ^bCentro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y ^cInstituto Agroalimentario de Aragón (IA2)

Resumen

La fuerte expansión de la agricultura de regadío a nivel mundial ha generado importantes alteraciones en los regímenes hídricos de la gran mayoría de las cuencas hidrográficas, especialmente en países áridos y semiáridos. En España, las extracciones totales de agua se han duplicado desde los años sesenta para atender a la creciente presión del regadío, así como a las demandas de los sectores urbano e industrial. Estas presiones son especialmente intensas en las cuencas hidrográficas del sur y este del país. La modernización de gran parte de la superficie cultivada no ha aliviado la presión sobre los recursos hídricos y, durante las últimas décadas, se observa un gran incremento en las extracciones de acuíferos. La fuerte demanda de agua subterránea ha originado graves problemas tanto de vaciado como de degradación en la calidad del agua por contaminación difusa o intrusión marina. Estos problemas de cantidad y calidad del agua en gran parte de los acuíferos están provocando importantes daños en algunos ecosistemas acuáticos, como son los casos de Doñana y Tablas de Daimiel, humedales emblemáticos en España. La extensión de estos ecosistemas, y de la gran mayoría de ecosistemas dependientes de acuíferos, se está reduciendo drásticamente, lo que amenaza la supervivencia de muchas de sus especies y hábitats.

1. Introducción

El agua dulce es un elemento esencial para mantener, no solo la vida en el planeta, sino también para garantizar el desarrollo y el crecimiento de las sociedades. Del total de agua existente, el agua dulce únicamente supone un 3 %, siendo el resto agua salada de mares y océanos. La mayor parte de agua

dulce del planeta se encuentra recogida en los polos y glaciares (60 %) y en aguas subterráneas (30 %). Las aguas subterráneas aprovisionan a un tercio de la población mundial y son una fuente de agua muy importante para la agricultura de regadío a nivel mundial (López-Geta *et al.*, 2009; Shiklomanov, 1997). Debido a la gran cantidad de recursos que almacenan los acuíferos, estos sistemas hidrológicos han sufrido una fuerte presión durante el último siglo. La sobreexplotación de muchos acuíferos ha originado serios problemas de contaminación en sus aguas, intrusión salina en el caso de acuíferos costeros y vaciado de grandes sistemas de acuíferos.

El fuerte crecimiento económico a nivel mundial y el importante aumento de la población durante el último siglo han originado un incremento notable de las presiones sobre los recursos hídricos. Las crecientes necesidades de agua tanto para consumo de la población como para el desarrollo industrial, y fundamentalmente agrícola, han originado un fuerte incremento en las extracciones de agua que han pasado de aproximadamente unos 600 km³ a cerca de 4.000 km³ (Biemans *et al.*, 2011). Además, las predicciones de crecimiento de la población y de la renta en muchos países en desarrollo, van a seguir aumentando la presión sobre los recursos hídricos en un futuro próximo. A este escenario hay que sumarle los impactos del cambio climático, con cambios en los ciclos del agua que pueden limitar todavía más las capacidades hídricas en las zonas áridas y semiáridas.

La mayor demanda de agua subterránea a nivel mundial se destina al mantenimiento de la agricultura de regadío, que utiliza aproximadamente un 70 % de los 1.000 km³ de extracciones (IGRAC, 2010; Siebert *et al.*, 2010). El desarrollo de sistemas de extracción de agua con costes asequibles, nuevas técnicas de cultivos, así como la modernización de regadíos han supuesto un uso más eficiente de los recursos hídricos pero también han potenciado unos mayores niveles de extracciones. En muchas zonas, se han introducido cultivos más rentables, dobles cosechas, o se han ampliado las superficies de regadío, lo que generalmente suele ir asociado a mayores requerimientos de agua, agravando la presión sobre las aguas subterráneas. Diversos estudios han demostrado que la mejora en la eficiencia del regadío origina la caída de retornos a cuenca con un incremento notable de las extracciones netas, sobre todo de aguas subterráneas (Pfeiffer y Lin, 2014 y 2010; Qureshi *et al.*, 2010; Ward y Pulido, 2008).

La intensidad de las extracciones junto con la falta de regulación a nivel mundial de estas masas de agua, han generado la sobreexplotación de un gran número de acuíferos. Richey *et al.* (2015) señalan que un tercio de los mayores sistemas de agua subterránea en el mundo están en peligro. Estos problemas de sobreexplotación amenazan la viabilidad de muchos acuíferos así como de los grandes sistemas hidrológicos que combinan agua superficial y subterránea. Pero sin duda, uno de los grandes problemas del deterioro de los acuíferos es su fuerte impacto sobre los numerosos ecosistemas y hábitats que dependen de estos recursos. El importante deterioro de los recursos hídricos está generando graves daños en la gran mayoría de los ecosistemas acuáticos relacionados con estas masas de agua. Estudios recientes alertan de que el ritmo de destrucción de los ecosistemas acuáticos de agua dulce es el más alto de toda la historia con casi un tercio de las especies acuáticas extinguidas o en peligro de extinción (UNW-DPAC, 2011).

El caso español es uno de los ejemplos de región árida o semiárida donde las fuertes demandas sobre el agua están causando importantes daños medioambientales tanto en los propios recursos hídricos como en numerosos ecosistemas acuáticos. La expansión de la agricultura de regadío desde los años 60 ha presionado considerablemente los recursos hídricos, al multiplicarse por dos las extracciones de agua durante estas décadas. España cuenta con más de 740 masas de agua subterránea, que abarcan unos 350.000 km² (un 70 % del territorio nacional). Según datos oficiales, la mitad de estas masas de agua sufren deterioros tanto de cantidad como de calidad en sus aguas (Manzano Arellano y Lambán Jiménez, 2011). En cuanto a los ecosistemas acuáticos, España posee la mayor diversidad de ecosistemas acuáticos continentales de toda Europa y muchos de ellos dependen, o están estrechamente ligados, con aguas subterráneas (Álvarez Cobelas *et al.*, 2006). La gran diversidad de ecosistemas dependientes de acuíferos y los serios problemas de deterioro en muchos acuíferos están amenazando la viabilidad de algunos de los ecosistemas más importantes de España.

El presente capítulo aborda el estudio de la situación de las aguas subterráneas en el caso español y su evolución a lo largo de los últimos años, así como sus impactos sobre los ecosistemas acuáticos. El siguiente apartado ilustra la situación actual de los principales acuíferos a nivel mundial y la fuerte presión a la que están sujetos. El apartado 3 presenta la situación y evolución de los

recursos hídricos en España durante las últimas décadas. La evolución y estado actual de las aguas subterráneas en España se analiza en el apartado 4. La sección 5 expone el caso de dos emblemáticos ecosistemas acuáticos españoles que están siendo seriamente amenazados por la caída en el nivel de los acuíferos. Finalmente, en el apartado 6 se presentan las principales conclusiones.

2. La situación del agua subterránea y sus impactos ambientales

Los problemas de escasez y degradación de la calidad del agua han supuesto un importante deterioro de los sistemas hidrológicos en un gran número de cuencas a nivel mundial. Las reservas de agua se han visto notablemente reducidas con importantes problemas para la provisión de agua para consumo urbano e industrial pero también para uso agrícola (WWAP, 2006). Algunas de las principales cuencas a nivel mundial, Ganges, Nilo, Indo, Amarillo, Yangtsé, Amur y Syr Darya, Tigris, Eúfrates, Murray-Darling, Colorado o Río Grande, han visto cómo sus recursos han disminuido drásticamente en las últimas décadas y sus aguas sufren serios problemas de escasez y contaminación que están poniendo en riesgo la viabilidad de las actividades económicas y los ecosistemas.

Las fuertes presiones sobre los recursos hídricos tienen su principal origen en el gran desarrollo de la agricultura de regadío a nivel mundial, pero también en la enorme contaminación urbana e industrial. La agricultura consume anualmente un 80 % del total de agua utilizada y en el último siglo ha pasado de ocupar 40 millones a unos 310 millones de hectáreas (Siebert *et al.*, 2015; Biemans *et al.* 2011). Inicialmente, los problemas de escasez de agua estaban relacionados con la fuerte presión que sufrían las aguas superficiales. Sin embargo, en los últimos años ha aumentado notablemente la presión sobre los acuíferos debida fundamentalmente a la degradación de los grandes sistemas de agua superficial, la mayor regulación de las aguas superficiales y la caída de los costes de bombeo.

La sobreexplotación de los acuíferos es un problema generalizado con importantes niveles de vaciado anual, como es el caso de los acuíferos de la región del Indus, Ganges y Bramaputra con un vaciado anual de unos 50 km³ (Tiwari *et al.*, 2009). Otros ejemplos relevantes son el vaciado de 24 km³ en EEUU (Konikow, 2013), de 13 km³ en el Tigris y Eufartes (Voss *et al.*, 2013) o de 8 km³ en el norte de China (Feng *et al.*, 2013). Entre 1960 y 2010 las extracciones anuales de agua subterránea pasaron de 310 a 1.000 km³ lo que

ha supuesto un vaciado de acuíferos de unos 150-200 km³ al año (Konikow, 2011; Wada *et al.*, 2010; IGRAC, 2010).

Los actuales problemas de degradación de las aguas subterráneas se pueden ver agravados por los impactos del cambio climático. Las previsiones señalan que en los países áridos y semiáridos se generarán disminuciones en las precipitaciones e incrementos en las temperaturas y en la evapotranspiración. Algunas estimaciones calculan que el coste de los impactos de las sequías puede llegar a rangos de entre 1.500-5.000 millones de euros anuales en EEUU y de 3.300 millones de euros anuales en la Unión Europea (NOAA, 2008; FEMA, 1995; CE, 2007). Estos costes pueden llegar a suponer cerca del 0,1 % del PIB, e incluso pueden alcanzar el 1 % del PIB en períodos de fuerte escasez.

Los impactos sobre los ecosistemas acuáticos son también un tema clave en la gestión de los acuíferos a pesar de su escasa consideración en las regulaciones. Los ecosistemas dependientes de agua dulce incluyen un amplio número de hábitats diferentes como lagos, humedales, deltas, estuarios, o ríos, entre otros. Estos ecosistemas de agua dulce ocupan aproximadamente un 1 % del total de la superficie terrestre y mantienen aproximadamente a un 9,5 % de todas las especies, siendo uno de los ecosistemas con mayor diversidad (Juffe-Bignoli y Darwall, 2012). La fuerte degradación de los recursos hídricos a nivel mundial ha generado un importante impacto en estos ecosistemas, siendo en la actualidad los ecosistemas más degradados del planeta.

Un ejemplo significativo del deterioro de los ecosistemas acuáticos son los humedales, que son además uno de los ecosistemas acuáticos con mayor relación con las aguas subterráneas ya que la gran mayoría de ellos depende, total o parcialmente, de una masa de agua subterránea. Algunas estimaciones calculan que el total de superficie que cubren los humedales oscila entre los 5,3 y los 12,8 millones de km² (Zedler y Kercher, 2005). Durante el siglo XX se estima que más del 50 % de los humedales a nivel mundial han desaparecido y la gran mayoría de los existentes sufre serios problemas de degradación (Millenium Ecosystem Assesment, 2005; Zedler y Kercher, 2005).

El fuerte deterioro de los ecosistemas acuáticos es un tema fundamental debido a los importantes beneficios que estos recursos generan para las sociedades humanas a través de la provisión de innumerables bienes y servicios. Beneficios como el control de inundaciones, purificación del agua, hábitat para numerosas especies, o servicios recreativos son algunos de los numerosos bienes y servicios que los ecosistemas de agua fresca ofrecen. Según algunas estimaciones, el valor de los bienes y servicios que aportan los humedales

en los países desarrollados puede llegar a los 15 billones de dólares anuales (Wetlands International, 2010; Millenium Ecosystem Assesment, 2005). La fuerte degradación de las aguas subterráneas no solo está amenazando la supervivencia de estos ecosistemas sino también la provisión de todos sus beneficios, con las consiguientes pérdidas económicas y sociales que esto implica.

3. Evolución de los recursos hídricos en España

Los problemas de escasez y degradación en la calidad del agua en España son consecuencia de la creciente presión de las actividades económicas durante los últimos cincuenta años. El desarrollo económico y la industrialización del país durante el siglo XX, conjuntamente con la gran expansión de la agricultura de regadío generaron un importante incremento en las demandas de agua. La demanda de agua en España escaló desde los 15.000 hm³ en 1960 hasta los 30.000 hm³ actuales (INE, 2016; MOPT, 1993). El principal uso del agua es para la agricultura de regadío que consume anualmente unos 24.000 hm³ para mantener 3,5 millones de hectáreas regadas. Por sectores, la agricultura de regadío supone un uso consuntivo del 75 % del total de agua. De esta cifra un 80 % corresponden a aguas superficiales y el resto son extracciones de agua subterránea. El total de agua para consumo urbano e industrial representa aproximadamente un 25 %, donde un 8 % corresponde al consumo urbano mientras que el sector industrial demanda un 17 %.

El agua renovable supone unos recursos de 110.000 hm³ repartidos en 15 confederaciones hidrográficas (Figura 1), y el agua superficial abastece a unas tres cuartas partes del total de consumos. Sin embargo, existe una gran heterogeneidad por cuencas ya que, mientras las cuencas del norte se abastecen principalmente de agua superficial, en la zona mediterránea y en las islas el consumo de agua subterránea es muy importante.

Las aguas subterráneas ocupan unos dos tercios de la superficie del país y el almacenamiento puede llegar a los 300.000 hm³ repartidos en más de 1.000 acuíferos a lo largo de la península (Custodio *et al.*, 2010).¹ Además, existen numerosos embalses construidos, con el fin de limitar la gran variabilidad en los regímenes hídricos que presenta España, y que tienen una capacidad de almacenamiento de unos 50.000 hm³ (MIMAM, 2000).

¹ No hay cifras exactas del volumen total de agua subterránea almacenada, las estimaciones oscilan según fuentes de 150.000 a 300.000 hm³.

Figura 1. Mapa de localización de las Cuencas Hidrográficas de España



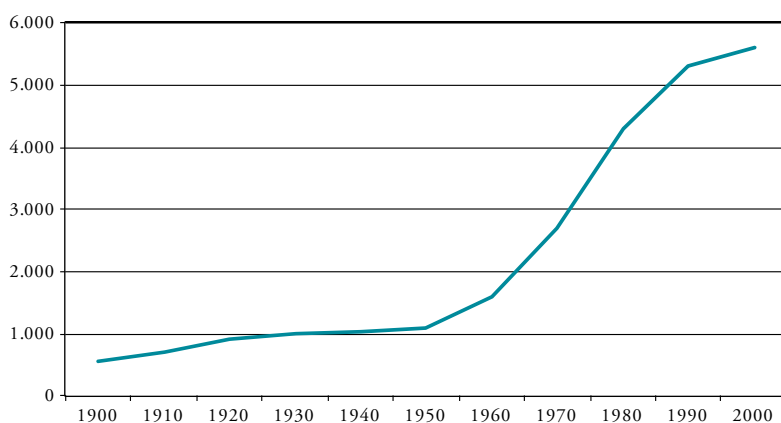
Fuente: MARM.

Dentro de las cuencas españolas, los mayores problemas de contaminación y de escasez de agua están localizados en las cuencas hidrográficas de sur y sureste de la península, Guadiana, Guadalquivir, Sur, Júcar y Segura (Figura 1). El desarrollo de una agricultura de regadío con altos niveles de rentabilidad (hortalizas y frutales) ha originado una fuerte demanda de recursos hídricos y por tanto una gran presión sobre los recursos en estas cuencas. Sin embargo, otras cuencas del interior (Duero, Ebro o Tajo) con una agricultura más extensiva, aunque también menos rentable, tienen una presión mucho menor sobre los recursos hídricos.

4. La sobreexplotación de los acuíferos en España

Un elemento clave para explicar la sobreexplotación que sufren las cuencas del sur y sureste de España está en el uso intensivo del agua subterránea. La intensificación del regadío generó un importante aumento en las extracciones de aguas subterráneas que se triplicaron desde los años 60 (Custodio *et al.*, 2010). En cuencas como el Guadiana, Segura, Júcar, Sur e Islas, más del 20 % de los acuíferos están sobreexplotados. Un ejemplo es la cuenca del Guadiana donde se estima que las extracciones son sistemáticamente mayores que la recarga (MMA, 2000). El Gráfico 1 muestra la evolución de las extracciones de agua subterránea en España.

Gráfico 1. Evolución de las extracciones de agua subterránea en España durante el último siglo. En hm³/año



Fuente: Hernández-Mora *et al.* (2002).

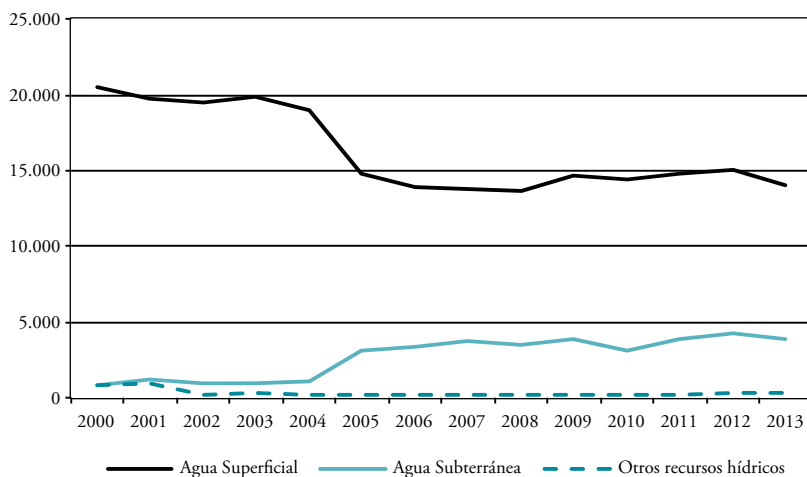
El problema principal con las extracciones subterráneas es que el control efectivo de estas aguas es más complicado que el de las aguas superficiales, y en la actualidad este control por parte de las autoridades es escaso o nulo². Algunas estimaciones alertan de que existen alrededor de medio millón de pozos ilegales que pueden llegar a suponer unas extracciones de unos 2.000 hm³ (La Economía del Agua, 2007). La dificultad en la regulación de las extracciones

² En las zonas en las que las aguas subterráneas se están controlando, por ejemplo en el acuífero de la Mancha Oriental, la explicación consiste en el surgimiento de la cooperación entre todos los usuarios de este recurso y la existencia de incentivos que fomenta la cooperación para la preservación del recurso. Además este control lo realizan los propios agricultores a través de la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (Esteban y Albiac, 2011).

subterráneas supone que estos recursos se explotan de manera incontrolada, originando serios problemas en las cuencas hidrográficas a las que pertenecen y a numerosos ecosistemas relacionados.

En el Gráfico 2 se presenta la evolución de las extracciones totales de agua para regadío en España durante la última década. Si bien se puede observar cómo se ha producido una reducción en el uso del agua superficial, desde los más de 20.000 hm³ que se consumían en 2000 hasta los cerca de 15.000 hm³ de 2013, ha aumentado notablemente el uso de agua subterránea. Durante este mismo período el consumo de agua de acuíferos ha aumentado de unas extracciones de aproximadamente 900 hm³ hasta casi 5.000 hm³. Esto supone que la presión sobre las aguas subterráneas se ha multiplicado por cuatro durante los últimos diez años. Además, hay que tener en cuenta que estos datos solo reflejan las extracciones legales y no tienen en cuenta todo el volumen de agua que se está extrayendo ilegalmente; considerando estas últimas, las extracciones totales de aguas subterráneas podrían incluso llegar a unos 7.000 hm³.

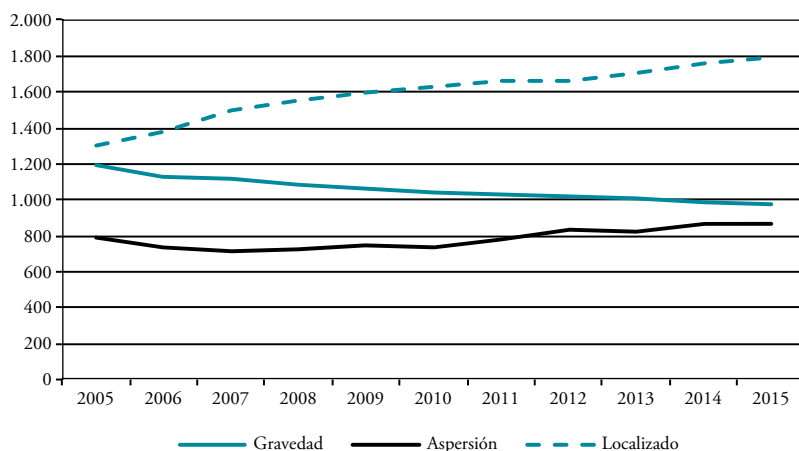
Gráfico 2. Evolución de las extracciones totales de agua para la agricultura en España. En hm³/año



Fuente: INE (2016).

La evolución de las hectáreas de regadío ha sido creciente durante las últimas décadas. En los últimos 10 años han pasado de 3,3 millones hasta los 3,6 millones de hectáreas en 2015. Durante estos años la modernización del regadío también ha evolucionado con notables reducciones en las hectáreas cultivadas con riego por gravedad (Gráfico 3). En 2005 un 37 % de las hectáreas totales de regadío utilizaban el riego por gravedad, un 39 % riego por goteo mientras que la aspersión se utilizaba en un 24 %. En 2015, se observa una intensa evolución del riego por goteo que ha pasado a ocupar un 49 % de total de las hectáreas y una reducción del riego por gravedad (26 % de las hectáreas). El riego por aspersión se ha mantenido prácticamente constante en un 25 %. Si bien esta modernización a nivel de España puede ser uno de los elementos que ha potenciado la caída en las extracciones superficiales que han pasado de cerca de 20.000 hm³ a casi 15.000 hm³, en el caso de las aguas subterráneas el impacto está siendo el contrario ya que las extracciones en este período han aumentado en 3.000 hm³.

Gráfico 3. Evolución de las hectáreas totales de regadío por sistema de riego.
En miles de hectáreas



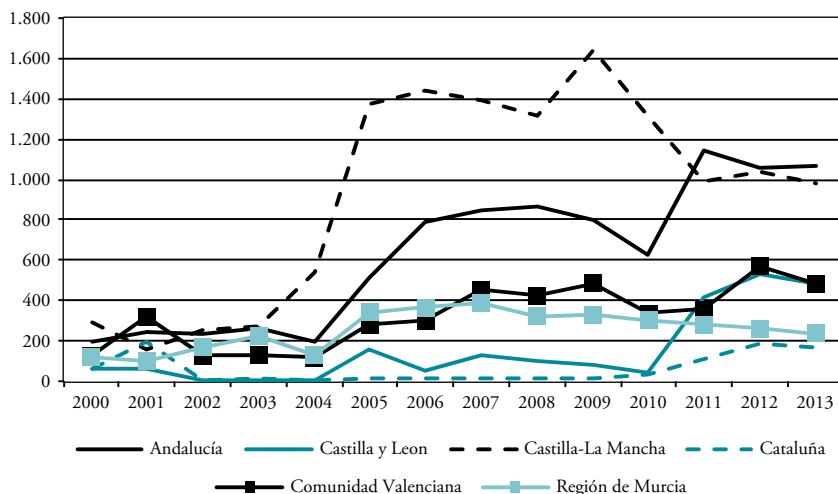
Fuente: ESYRCE (2015).

Los datos muestran como, en el caso de España, la modernización del regadío no parece estar contribuyendo de una manera directa y positiva a la reducción de las extracciones de agua. En el caso de las aguas subterráneas el impacto es justo el contrario y la mejora en las tecnologías de riego ha implicado aumentos en las extracciones de agua. Este hecho ha sido ampliamente estudiado por algunos autores que han demostrado como la modernización en las tecnologías de riego, hacia sistemas más eficientes, no implica necesariamente una reducción en los consumos de agua (Ward y Pulido, 2008; Lecina *et al.*, 2010; Berbel *et al.*, 2014). La modernización genera una caída en los retornos de agua a cuenca porque aumenta la evapotranspiración en parcela y se produce un incremento de las extracciones netas, tanto subterráneas como superficiales. La mayor disponibilidad de agua derivada de la mayor eficiencia del riego provoca que se cambie a cultivos más rentables que pueden ser más intensivos en agua, a dobles cosechas o a la utilización de zonas de riego marginales. Algunos autores señalan que el impacto de la modernización es especialmente relevante en el caso de las aguas subterráneas. Pfeiffer y Lin (2014) demostraron que el cambio a tecnologías de riego más eficientes (goteo por gravedad) aumentó las extracciones de agua subterránea en el acuífero Ogallala (Kansas, EEUU) en un 2,5 %.

La modernización de los sistemas de riego en España ha ido en paralelo con un fuerte aumento en las extracciones de agua subterránea, tal y como muestra el Gráfico 4. Por comunidades autónomas, las regiones con mayores extracciones de agua subterránea son Andalucía, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Castilla y León, Región de Murcia y Cataluña. El consumo de estas regiones supone cerca del 90 % del consumo total de agua subterránea en España. El consumo de agua subterránea ha experimentado una fuerte expansión en los últimos años, especialmente en Andalucía, donde se ha multiplicado por cinco, o en Castilla-La Mancha, donde se ha multiplicado por casi cuatro.

Durante la última década, la superficie de regadío en estas comunidades autónomas ha aumentado en un 8 % conjuntamente con una modernización en las tecnologías de riego. El Gráfico 5 muestra la evolución de la superficie de regadío y de la modernización en cada una de estas regiones entre 2005 y 2015. En todas ellas se aprecia una reducción en el riego por gravedad sustituido por el riego por goteo (Andalucía, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Región de Murcia y Cataluña), excepto en Castilla y León donde ha aumentado el riego por aspersión.

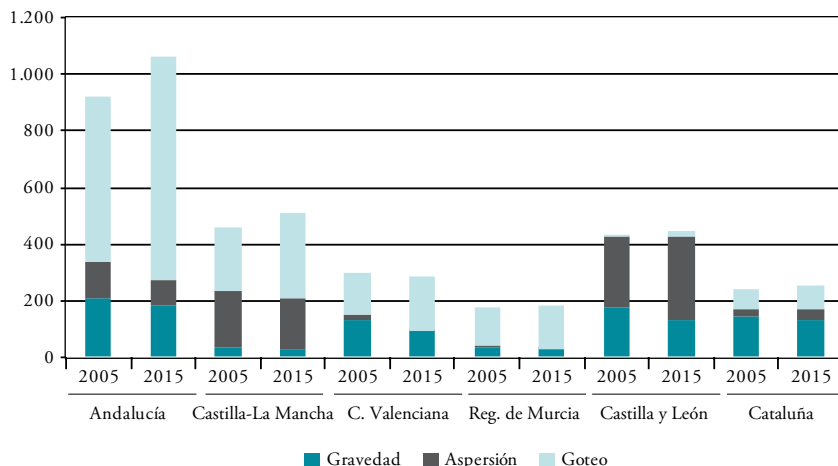
Gráfico 4. Evolución de las extracciones de agua subterránea por CCAA*. En hm³



* El gráfico muestra las CCAA con mayor uso de aguas subterráneas.

Fuente: INE (2016).

Gráfico 5. Evolución de la modernización del regadío en las principales CCAA consumidoras de agua subterránea*. En miles de hectáreas



* En el caso de la Comunidad Valenciana los datos para aspersión corresponden a presión.

Fuente: ESYRCE (2015).

De los Gráficos 4 y 5 se puede concluir que la modernización del regadío no es una solución para aliviar la presión sobre los acuíferos en España. No solo no se ha limitado el uso de agua subterránea, sino que este ha aumentado notablemente durante los últimos años. Además, a estos datos habría que añadir el volumen de extracciones que en la actualidad está fuera del control de las autoridades y que podría representar un volumen importante.

Sin embargo, a pesar de que la modernización no garantiza un menor uso de los recursos hídricos, el problema fundamental es la regulación de estos sistemas. Si bien las aguas superficiales están reguladas, sobre todo por la existencia de una mayor información y control sobre las mismas, en las aguas subterráneas la escasez de información sobre los volúmenes totales almacenados y la falta de control sobre las extracciones genera que estos recursos estén sufriendo una fuerte presión. La modernización, que en muchos casos puede permitir la existencia de mayores datos, podría ser una herramienta muy útil para poder controlar, y por tanto limitar, las presiones sobre las aguas subterráneas. Además, otro elemento a tener en cuenta de la modernización es que la mayor eficiencia de los sistemas de riego permite reducir los retornos de la agricultura y por tanto limitar las emisiones contaminantes que reciben las distintas masas de agua, entre ellas, las aguas subterráneas.

En este contexto, la regulación y el control de las aguas subterráneas se plantea como un reto necesario para la política hídrica en España. La gestión sostenible de los recursos hídricos implica un mayor control y regulación, sobre todo de aquellos recursos que en la actualidad están siendo sobreexplotados como son los acuíferos. Además, una gestión sostenible de las aguas subterráneas necesariamente implica internalizar un elemento que tradicionalmente ha estado ignorado en las regulaciones como son los ecosistemas dependientes de dichos acuíferos. El impacto que la sobreexplotación de los acuíferos genera daños en los ecosistemas acuáticos que, directa o indirectamente, dependen del agua subterránea y su supervivencia está amenazada. En el caso de España son muchos los ecosistemas que han sufrido y sufren importantes impactos que amenazan su viabilidad.

5. Ecosistemas dependientes de acuíferos: dos ejemplos relevantes en el caso español

Uno de los problemas principales de la sobreexplotación de los acuíferos es el impacto sobre la gran variedad de ecosistemas acuáticos que dependen de estos recursos. Los ecosistemas acuáticos son conjuntos de organismos vivos que tienen una relación de dependencia con una masa de agua que, directa o indirectamente, les garantiza su subsistencia. La creciente presión sobre las aguas subterráneas está poniendo en serias dificultades a un gran número de estos ecosistemas con la consiguiente pérdida económica, social y medioambiental.

En el caso español, el problema de los ecosistemas acuáticos es especialmente relevante ya que España posee la mayor diversidad de ecosistemas acuáticos continentales de toda Europa. Estos ecosistemas son en su mayoría de pequeño tamaño y muy diversos debido a las características climáticas del país. España cuenta con unos 1.000 grandes embalses, alrededor de 3.100 lagos de diversa procedencia y unos 800 humedales. En total, 49 humedales están incluidos en el Convenio Ramsar (Convención sobre Humedales de Importancia Internacional).

Dos ejemplos notables de ecosistemas acuáticos que han experimentado una fuerte degradación durante las últimas décadas son los casos de Tablas de Daimiel y Doñana (Figura 2). Se trata en ambos casos de importantes humedales con unas características de fauna y flora únicas. Su extensión se ha reducido notablemente como consecuencia de las grandes extracciones de agua subterránea en los últimos decenios. En el caso de Tablas de Daimiel (Cuenca del Guadiana), su superficie llegó a reducirse en más de un 70 % como consecuencia de la sequía y de la sobreexplotación del acuífero de la Mancha Occidental. De manera similar, el parque de Doñana (Cuenca del Guadalquivir) ha sufrido una fortísima degradación en los últimos años como consecuencia de la reducción en las disponibilidades hídricas, que afecta también a toda la Cuenca del Guadiana, y sobre todo por la fuerte sobreexplotación del acuífero Almagro-Marismas del que depende gran parte de este ecosistema.

Figura 2. Localización de los parques naturales de Tablas de Daimiel y Doñana



5.1. El humedal de Tablas de Daimiel

El Parque Nacional de Tablas de Daimiel es uno de los humedales más importantes de España y Europa por su gran diversidad en especies autóctonas, además de ser un área clave para las aves migratorias de paso entre África y Europa. Se trata de un humedal situado en la provincia de Ciudad Real (Confederación Hidrográfica del Guadiana) que ocupa en la actualidad unos 20 km². Fue declarado parque nacional en 1973, reserva de la biosfera por la UNESCO en 1981, y forma parte de la convención RAMSAR (humedales de importancia internacional) desde 1982. Además, el humedal forma parte de la Red Natura 2000 por sus importantes zonas de protección de aves (ZEPA) y lugares de interés comunitario (LIC).

Este humedal se extiende sobre uno de los principales acuíferos españoles, el acuífero de la Mancha Occidental, que es el soporte principal de Tablas de Daimiel. El acuífero de La Mancha Occidental que ocupa unos 5.500 km² puede llegar a almacenar hasta 12.000 hm³ (Martínez-Santos, 2008). El desarrollo de la agricultura de regadío durante los años 70 en la Mancha Occidental originó un fuerte aumento en las extracciones de agua de este acuífero. Las extracciones de agua pasaron de 160 hm³ en 1974 a 600 hm³ en 2000, con un incremento de la superficie de regadío de 30.000 ha a 180.000 ha (Ruiz de la Hermosa, 2011; Martínez Cortina, 2001). Las fuertes extracciones del acuífero provocaron un descenso del nivel de la capa freática de hasta 50 metros en algunas zonas del mismo (Hernández-Mora *et al.*, 2002).

La importante caída en los niveles de agua del acuífero de la Mancha Occidental ha tenido un gran impacto en el humedal Tablas de Daimiel, y en consecuencia, su extensión se ha reducido notablemente. La extensión de superficie inundada en Tablas de Daimiel ha pasado de unas 1.200 ha en los años 70 a una media de 600 ha. Además, la fuerte presión que ha sufrido este humedal no solo ha afectado a su superficie inundada sino también a la variabilidad de la misma. Esta reducción en la extensión media de Tablas de Daimiel debida a la fuerte disminución de disponibilidad de agua del acuífero de la Mancha Oriental ha originado serios problemas en este humedal como su total desecación en 1986 o los incendios de sus turbas en 2009. A estos problemas se unen los importantes problemas de contaminación que sufre este ecosistema como consecuencia de los retornos de regadío y de aguas residuales de municipios cercanos (Ruíz de la Hermosa, 2011).

5.2. El espacio natural de Doñana

El espacio natural de Doñana se ubica en la Cuenca del Guadalquivir cerca de la desembocadura de este río y ocupando parte de las provincias de Huelva y Sevilla. Se trata de una combinación de ecosistemas fluviales y costeros representados en distintos humedales que ocupan unos 100 km². Uno de los más importantes es la marisma de Doñana, que se extienden sobre unos 30 km². Se trata de un ecosistema fundamental ya que engloba marismas continentales, arenales, dunas litorales, playas y una porción del estuario del Guadalquivir (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir 2006).

Doñana cuenta con una gran biodiversidad ya que se calcula que cuenta con más de 900 especies además de ser un enclave fundamental para las aves

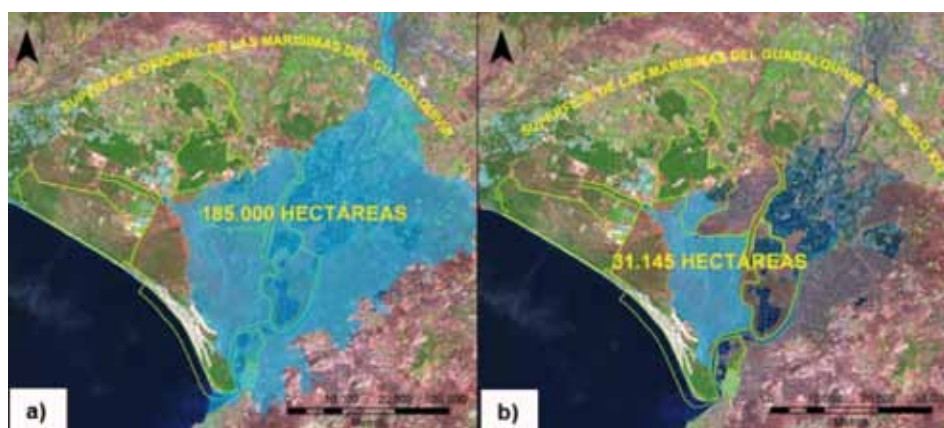
migratorias. Este espacio ha sido reconocido a nivel nacional e internacional como zona medioambiental protegida (Martí-Cardona, 2014). A nivel nacional, fue declarado Parque Nacional en 1969 (50 km²), y en 1989 el resto de la zona fue considerada parque natural. En 1994 fue considerado zona de especial protección de aves (ZEPA) y lugar de interés comunitario (LIC) y pasó a formar parte de la Red Natura 2000. Internacionalmente, ha sido declarado zona protegida por la UNESCO (Reserva de la Biosfera de la UNESCO) en 1980 y UNESCO's World Heritage Site en 1994. En 1982 entró a formar parte de la convención RAMSAR que agrupa humedales internacionales de especial importancia.

Doñana se nutre tanto de agua superficial (río Guadalquivir y otros ríos) como de agua subterránea (principalmente el acuífero Almonte-Marismas) y tiene una evolución dispar a lo largo del año. Su inundación máxima corresponde a los meses de enero y febrero y posteriormente pierde gran parte de su superficie inundada, que llega incluso a secarse durante los meses de verano (WWF, 2010). Sin embargo, su ciclo hidrológico se ha visto alterado durante los últimos años como consecuencia del desarrollo de la agricultura de regadío. La construcción de canalizaciones, embalses y diques ha supuesto una fuerte amenaza para gran parte de los ecosistemas de la zona (la cuenca tiene unos 65 embalses, CHG 2015). La cuenca del Guadalquivir es una de las cuencas con mayores presiones por la demanda de agua, principalmente para agricultura, de toda España. La superficie de regadío se ha duplicado en los últimos veinte años así como también las extracciones (un 75 % de los recursos consumidos corresponde a agua superficial y un 25 % a captaciones subterráneas, CHJ 2007).

En los últimos cincuenta años, la extensión de Doñana se ha reducido desde 150 km² hasta 31 km² en la actualidad. La Figura 3 muestra la superficie inundada de Doñana a principios del siglo XIX (a) y la superficie inundada en la actualidad (b). Algunos estudios señalan que la marisma de Doñana debería recibir unas aportaciones de 400 hm³ para poder mantener unas condiciones naturales óptimas, o lo que es lo mismo, para poder mantener la extensión que ocupaba a principios del siglo XIX. Sin embargo, durante el siglo XIX y XX se llevaron a cabo numerosas actuaciones en el Guadalquivir, algunas de ellas para desarrollar la agricultura de regadío, que generaron una caída de unos 260 hm³ en las aportaciones. A partir de los años 70, el fuerte incremento del regadío aumentó notablemente las extracciones de agua subterránea del acuífero Almonte-Marismas que han reducido en otros 75 hm³ los aportes de

agua que recibe la marisma. La consecuencia es que en la actualidad Doñana está recibiendo alrededor de 75 hm³ de los más de 400 hm³ que requiere para su correcto funcionamiento (WWF, 2009). Esta reducción en los aportes de agua ha generado que parte de la cubierta vegetal de Doñana haya desaparecido, y que las especies con altos requerimientos de agua hayan disminuido su superficie en más del 80 % (WWF, 2009).

Figura 3. Evolución de las hectáreas inundadas de Doñana durante el último siglo



Fuente: Martí-Cardona (2014) y Urdiales *et al.* (2010).

6. Conclusiones

La gestión de los recursos hídricos, y especialmente de las aguas subterráneas, es un tema fundamental para poder mantener los actuales niveles de bienestar. Sin embargo, las fuertes presiones a las que están sometidos los recursos hídricos han originado una fuerte sobreexplotación y deterioro en muchos sistemas hidrológicos a nivel mundial. A pesar de las normativas nacionales e internacionales para preservar y proteger estos recursos, en la práctica, los problemas de contaminación y escasez de los recursos hídricos siguen aumentando y sus aguas siguen deteriorándose. Los problemas de escasez y contaminación de los recursos hídricos son especialmente relevantes en el caso de los acuíferos. La mayoría de los grandes sistemas de aguas subterráneas han visto cómo sus reservas se han reducido drásticamente durante las últimas décadas con importantes caídas en sus niveles freáticos. Además, los problemas de contaminación con salinización de acuíferos costeros por intrusión marina,

o la contaminación difusa de fertilizantes y pesticidas agrícolas y cargas contaminantes de fuentes urbanas e industriales, están ocasionando importantes problemas de viabilidad en estos recursos. La falta de información sobre las extracciones, junto con la no regulación en la gran mayoría de estos recursos, está llevando a estos sistemas a su total deterioro, y en muchos casos desaparición.

En España, la sobreexplotación de los acuíferos es un tema relevante debido a la gran presión que han sufrido desde los años 70. La intensificación de la agricultura de regadío ha originado un importante incremento en las extracciones generando importantes problemas en gran parte de los principales acuíferos, sobre todo en las cuencas del sur y sureste del país. La intensa modernización de las tecnologías de riego no ha aliviado las fuertes presiones sobre estos recursos y los datos muestran que, aunque se han reducido las extracciones de agua superficial, se han intensificado las extracciones de acuíferos. El problema principal es la falta de información y regulación sobre los acuíferos que genera grandes volúmenes de extracciones no controladas e ilegales.

La sobreexplotación de los acuíferos es además un tema clave debido al impacto que tienen estos recursos sobre los numerosos ecosistemas acuáticos dependientes de aguas subterráneas. La degradación y pérdida de ecosistemas dependientes de acuíferos ha sido mucho mayor que en el resto de los ecosistemas, y muchos humedales a nivel mundial han visto notablemente reducida su extensión, hasta incluso desaparecer. En el caso de España, la sobreexplotación de acuíferos también está degradando los ecosistemas, como muestran los importantes daños en dos de los ecosistemas españoles más emblemáticos: Doñana y Tablas de Daimiel.

Referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ COBELAS, M.; CATALÁN, J. y GARCÍA DE JALÓN, D. (2006): «Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales»; en Moreno Rodríguez, J. M., ed.: *Impactos del Cambio Climático en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente; pp. 113-146.
- BERBEL, J. y MATEOS, L. (2014): «Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model»; *Agricultural Systems* (128); pp. 25-34.

- BIEMANS, H.; HADDELAND, I.; KABAT, P.; LUDWING, F.; HUTJES, R. W. A.; HEINKE, J.; VON BLOH, W. y GERTEN, D. (2011): «Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century»; *Water Resource Research* (47); W03509.
- COMISIÓN EUROPEA (2007): *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union*. COM 414/2007. Bruselas, Comisión Europea.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. (2006): *Informe de Sostenibilidad ambiental del Plan Especial de Actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla, Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R.; HERNANDEZ-MORA, N.; MARTINEZ-CORTINA, L. y MARTINEZ-SANTOS, P. (2010): «Issues related to intensive groundwater use»; en GARRIDO, A. y LLAMAS, M. R., eds.: *Water Policy in Spain*. Boca Ratón, CRC Press/Balkema.
- ESYRCE (2015): *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados Nacionales y Autonómicos*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Subdirección General de Estadística.
- FEMA (1995): *National mitigation strategy: partnerships for building safer communities*. Washington, FEDERAL Emergency Management Agency.
- HERNÁNDEZ-MORA, N.; MARTÍNEZ-CORTINA, L. y FORNÉS, J. (2002): «Intensive groundwater use in Spain»; en LLAMAS, R. y CUSTUDIO, E., eds.: *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. Países Bajos, A. A. Balkema Publishers. pp. 387-414.
- IGRAC (2010): *Global Groundwater Information System*. Países Bajos, Delft. International Groundwater Resources Assessment Centre.
- JUFFE-BIGNOLI, D. y DARWALL, W. R. T., eds. (2012): *Assessment of the socio-economic value of freshwater species for the northern African region*. Suiza, Gland y España, Málaga. IUCN Center for the Mediterranean Cooperation.
- KONIKOW, L. (2011): «Contribution of global groundwater depletion since 1900 to sea-level rise»; *Geophysical Research Letters* (38); L17401.

- KONIKOW, L. (2013): *Groundwater depletion in the United States (1900-2008)*. U. S. Geological Survey. Scientific Investigations Report 2013-5079. USDI. USGS. Reston.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜES, R. (2010): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of *Riegos del Alto Aragón*»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1663-1675.
- LOPEZ-GETA, J. A.; FORNÉS AZCOITI, J. M.; RAMOS GONZÁLEZ, G. y VILLARROYA GIL, F. (2009): *Las aguas subterráneas: Un recurso natural del subsuelo*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- MANZANO ARELLANO, M. y LAMBÁN JIMÉNEZ, L. J. (2011): «Acuíferos»; *Evaluación de los ecosistemas del milenio de España*. Sección III, cap. 12. Madrid, IGME. Instituto Geológico y Minero de España.
- MARTÍ-CARDONA, B. (2014): *PhD Dissertation. Spaceborne SAR Imagery for monitoring the inundation in the Doñana wetlands*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona.
- MARTÍNEZ-CORTINA, L. (2001): *Estimación de la recarga en grandes cuencas sedimentarias mediante modelos numéricos de flujo subterráneo. Aplicación a la cuenca alta del Guadiana*. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria, Santander; pp. 418.
- NOAA (2008): *Summary of National Hazard Statistics for 2008 in the United States*. Washington, National Weather Service. NOAA.
- PFEIFFER, L. y LIN, C. Y. C. (2010): «The effect of irrigation technology on groundwater use»; *Choices* 25(3).
- PFEIFFER, L. y LIN, C. Y. C. (2014): «Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extractions? Empirical evidence»; *Journal of Environmental Economics and Management* 67(2); pp. 189-208.
- Qureshi, M.; Schwabe, K.; Connor, J. y Kirby, M. (2010): «Environmental water incentive policy and return flows»; *Water Resources Research* (46); W04517.
- RICHEY, A.; THOMAS, B.; LO, M.; REAGER, J.; FAMIGLIETTI, J.; VOSS, K.; SWENSON, S. y RODELL, M. (2015): «Quantifying renewable groundwater stress with GRACE»; *Water Resources Research* 51(7); pp. 5217-5238.
- RUÍZ DE LA HERMOZA, C. A. (2011): «El Parque Nacional Las Tablas de Daimiel»; *Foresta* (47-48); pp. 182-189.

- SHIKLOMANOV, I. (1997): *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the World*. World Meteorological Organization.
- SIEBERT, S.; BURKE, J.; FAURES, J. M.; FRENKEN, K.; HOOGEVEEN, J.; DÖLL, P. y PORTMANN, F. T. (2010): «Groundwater use for irrigation - a global inventory»; *Hydrology and Earth System Sciences* (14); pp. 1863-1880.
- SIEBERT, S.; KUMMU, M.; PORKKA, M.; DÖLL, P.; RAMANKUTTY, N. y SCANLON, B. (2015): «A global data set of the extent of irrigated land from 1900 to 2005»; *Hydrology and Earth System Sciences* (19); pp. 1521-1545.
- TIWARI, V.; WAHR, J. y SWENSON, S. (2009): «Dwindling groundwater resources in northern India, from satellite gravity observations»; *Geophysical Research Letters* 36(18).
- UNW-DPAC. PROGRAMA DE ONU - AGUA PARA LA PROMOCIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN EL MARCO DEL DECENIO (2011): *Cuencas y acuíferos en la economía verde*. Nota Informativa.
- URDIALES ALONSO C.; GARCÍA DÍAZ, D.; VALERO LANCHO, A. y FERNÁNDEZ PALACIOS, J. M. (2010): «Seguimiento de la inundación en la marisma de Doñana: resultados del ciclo 2009/2010 y efecto del dique de la Montaña del Río en el proceso de inundación»; en Ojeda, J.; Pita, M. F. y Vallejo, I., eds.: *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- VÖRÖSMARTY C. J.; LÉVÊQUE C. y REVENGA C. (2005) «Fresh water ecosystems»; en Hassan, R.; Scholes, R. y Ash, N., eds.: *Ecosystems and human well-being: Current states and trends*. Washington, D. C.: Island Press; pp. 165-207
- VOSS, K.; FAMIGLIETTI, J.; LO, M.; DE LINAGE, C.; RODELL, M. y SWENSON, S. (2013): «Groundwater depletion in the middle east from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-western Iran region»; *Water Resources Research* (49); pp. 904-914.
- WADA, Y.; VAN BEEK, L.; VAN KEMPEN, C.; RECKMAN, J.; VASAK, S. y BIERKENS, M. (2010): «Global depletion of groundwater resources»; *Geophysical Research Letters* (37); pp. 1-5.
- WARD, F. y PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2008): «Water conservation in irrigation can increase water use»; *PNAS* 105(47); pp. 18215-18220.

WETLANDS INTERNATIONAL (2010): *Biodiversity loss and the global water crisis: A fact book on the links between biodiversity and water security*. Países Bajos, Wageningen, Wetlands International.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP) (2006): *Water: A Shared Responsibility*. New York, UNESCO-Berghahn Books.

WWF (2009): *Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia*. Documento de síntesis.

Modernización de regadíos y ahorro de agua

Julio Berbel, José A. Gómez-Limón y Carlos Gutiérrez-Martín

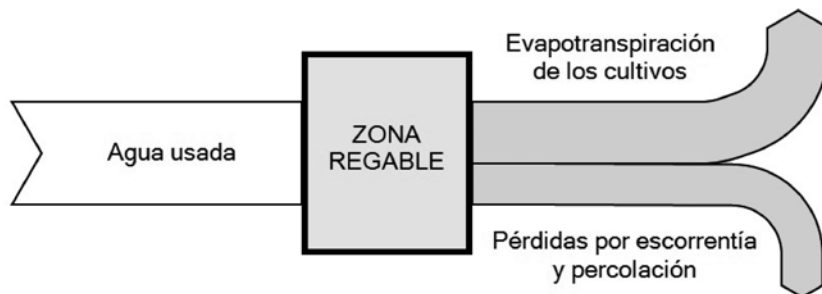
Universidad de Córdoba

1. Introducción

España está entre los países desarrollados que tiene una situación de grave escasez de agua, problema que se ha venido afrontando con el aumento de oferta y la interconexión de cuencas hasta que social, técnica y económicamente esta estrategia ha llegado a su límite. Desde los años 80, la alternativa han sido las inversiones en ahorro de agua. Con el propósito de conseguir dicho ahorro en el sector de mayor consumo, la agricultura, la política de modernización de regadíos se ha convertido en política de estado, fomentando fundamentalmente la mejora tecnológica en los sistemas de transporte y distribución del agua de riego, transformando las viejas infraestructuras de canales abiertos en redes de tuberías a presión, lo que a su vez ha permitido a los regantes sustituir el tradicional sistema de riego por superficie por modernos sistemas de aspersión y goteo. Este cambio tecnológico ha estado encaminado a mejorar la eficiencia del riego, mediante la minimización de las pérdidas producidas durante el transporte, la distribución y la aplicación del agua (agua no consumida –no evapotranspirada– por los cultivos), y así alcanzar un ahorro anual de agua propuesto de 3.000 hm³ (MARM, 2010). De esta manera, la modernización de los sistemas de riego se ha convertido en una medida clave en la implementación de los planes hidrológicos en España, ya que gracias a los ahorros de agua esperados de la misma se podrán satisfacer las crecientes demandas, a la vez que se consigue el buen estado de las masas de agua.

Siguiendo un enfoque tradicional, centrado en el análisis de los flujos de agua a nivel de zona regable, el ahorro de agua obtenido de la modernización del regadío equivale a la reducción de las pérdidas durante el transporte, la distribución y la aplicación del agua antes comentadas, tal y como se puede visualizar en la Figura 1. De esta forma, disminuyendo las pérdidas por escorrentía y percolación, se produce un ahorro en el agua usada.

Figura 1. Enfoque tradicional para determinar los ahorros de agua



Este enfoque tradicional asume que: a) la mejora tecnológica del regadío (modernización) no induce ningún aumento significativo de evapotranspiración de los cultivos, b) que la superficie regada no aumenta, y c) que el agua perdida por escorrentía o percolación no puede reutilizarse más allá del ámbito de la zona regable. Estos aspectos, como se podrá ver más adelante, resultan ser factores clave para analizar los verdaderos ahorros de agua, que hacen que este enfoque teórico no sea aplicable a la práctica real de la modernización. En el caso de que la modernización de regadíos venga acompañada de incrementos en el consumo de agua por los cultivos y/o la superficie regada y reducciones en los retornos reutilizables por otros usuarios de la cuenca, esta podría no generar ahorro de agua alguno y, de hecho, podría conducir a que el consumo de agua se incremente. La Comisión Europea (2012) lo ha identificado como un problema potencial y ha recibido atención en foros académicos y sociales (WWF España, 2015). Se pone así de manifiesto que la modernización de regadíos, entendida como la mejora de la eficiencia, flexibilidad y fiabilidad de los sistemas de aplicación de riego, puede tener consecuencias no esperadas en cuanto a la cantidad de agua usada y consumida a nivel de cuenca.

El efecto de los cambios tecnológicos que aumentan la eficiencia con la que se usan los recursos naturales sobre el consumo total de los mismos fue ya estudiado a mediados del siglo XIX por el economista William S. Jevons, quien evidenció que en tales casos es más probable un aumento del consumo de dicho recurso que una disminución, en contra de lo que parece evidente en un primer momento (Alcott, 2005). Este fenómeno se conoce como la «paradoja de Jevons». Concretamente, Jevons estudió esta paradoja analizando la introducción de tecnologías con mayor eficiencia energética, que a la postre pueden aumentar el consumo total de energía, carbón en su época, aunque

posteriormente se ha analizado todo el sector energético. Las causas de este comportamiento analizadas por Jevons son de tipo microeconómico:

- a) Un incremento de la eficiencia de uso de un recurso reduce inicialmente la cantidad demanda del mismo, causando un descenso en su precio.
- b) Un incremento de la eficiencia de uso de un recurso reduce el coste de producción y con ello el precio de los productos obtenidos a partir de los mismos, incrementando la demanda de estos.

La conjunción de ambos efectos podría en algunos casos provocar que el consumo final de los recursos sea mayor que el inicial, en la medida que el incremento de la demanda de los productos obtenidos y la disminución del precio del recurso provoquen un aumento en su consumo mayor que el descenso inicialmente provocado por la nueva tecnología. Este planteamiento microeconómico explica por qué la paradoja de Jevons se denomina igualmente «efecto rebote».

En cualquier caso, a diferencia de lo que ocurre con los recursos energéticos, este planteamiento microeconómico es incorrecto para analizar el potencial efecto rebote que pudiera producirse en el regadío con los cambios tecnológicos. Dos motivos avalan esta última afirmación:

- La disponibilidad de agua de riego por parte de los regantes está regulada básicamente por un sistema de derechos concesionales (cuotas), y no por un sistema de precios (el canon y la tarifa se repercuten por unidad de superficie y no por volumen usado) o de costes de suministro (bombeo y otros).
- El coste del recurso agua siempre sube después de una modernización; en términos microeconómicos sustituimos agua 'bruta' por energía y capital.

Nos encontramos pues con una diferencia radical con el caso de la energía, ya que las mejoras de eficiencia en el regadío no se suelen traducir en un descenso del precio o coste del agua, ni en un aumento de su demanda. Por el contrario, en España en la mayoría de las modernizaciones realizadas los efectos observados son:

- El cambio de riego por superficie a riesgo a presión (aspersión, goteo), ha provocado un incremento en el coste del agua debido a la repercusión volumétrica de la energía usada en la impulsión y a los costes de operación, mantenimiento y amortización del capital.
- En España, en una mayoría de casos ha existido un recorte sustancial (alrededor del 25 % del agua bruta extraída antes de modernizar (véase el capítulo 1 de este mismo libro).

De igual manera, el efecto de modernización del regadío sobre la demanda de los productos agrarios obtenidos puede considerarse mínima en términos generales para la mayoría de los productos, en la medida que: a) la elasticidad de la demanda de productos alimentarios es muy baja (al ser productos de primera necesidad, su consumo es prácticamente insensible al precio), y b) el valor de la producción agraria es tan solo una parte, cada vez menor, del precio de venta de los alimentos a los consumidores finales (las variaciones en costes de producción apenas se transmiten a través de la cadena de valor agroalimentaria) y c) finalmente en muchas modernizaciones como veremos más adelante, no hay un aumento de la productividad física de la tierra, aunque siempre hay aumento productividad del agua kg/m^3 .

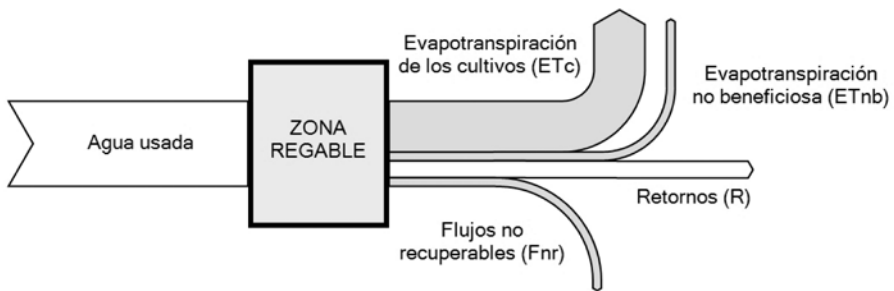
A pesar de los argumentos arriba indicados, hay instituciones (Comisión Europea, 2012; UNEP, 2012) y autores (Llop, 2008) que insisten en señalar esta argumentación microeconómica como justificación teórica del efecto rebote de la modernización de regadío, proponiendo como solución ‘mágica’ la necesidad de tarifar el agua de riego como medida de acompañamiento necesaria a la modernización.

Dentro de este contexto, el objetivo de este capítulo es analizar los factores que podrían llevar a que la modernización de regadíos condujera a un mayor consumo de agua respecto a la situación anterior. Para ello se va a realizar una revisión crítica de la literatura científica existente sobre el tema, al objeto de determinar bajo qué circunstancias puede darse este efecto rebote, y orientarnos sobre las medidas que deberían adoptarse en estos casos para evitar este posible efecto no deseado de la modernización.

2. Marco analítico para el estudio del efecto rebote

El rasgo diferenciador del agua de riego con respecto a la energía u otros recursos naturales, es que no toda la cantidad usada (extraída de las masas de agua) para su empleo agrario es consumida de manera definitiva (imposibilidad de un uso de la misma por parte de otros usuarios). Este hecho exige diferenciar entre las siguientes fracciones del agua usada en el regadío (Burt *et al.*, 1997): (1) evapotranspiración beneficiosa o de los cultivos (ETc), (2) evapotranspiración no beneficiosa (ETnb, p. ej., por láminas de agua o plantas no cultivadas), (3) escorrentía y percolación no recuperable (Fnr, p. ej., percolación profunda o escorrentías a sumideros salinos), y (4) escorrentía y percolación recuperable o retornos (R, p. ej., percolación a acuíferos o flujos de retornos a masas de agua superficiales explotables por otros usuarios), tal y como se visualiza en la Figura 2. Los tres primeros componentes constituyen la fracción consumida, lo que implica que el agua no está disponible para usos posteriores.

Figura 2. Enfoque a nivel de cuenca para determinar los ahorros de agua



La necesaria distinción entre agua *usada* (1+2+3+4) y *consumida* (1+2+3), así como la consideración de la demarcación hidrográfica como escala geográfica para el análisis, ponen de manifiesto que el enfoque tradicional del ahorro de agua usada antes comentado, basado en la eficiencia de riego a nivel de zona regable como único elemento de análisis, no resulta adecuado. El agua usada que se puede ahorrar consecuencia de la modernización aumenta las reservas para años futuros, ya sea en aguas superficiales o subterráneas, reduciendo la vulnerabilidad del regadío frente a episodios de sequía (adaptación al cambio climático).

Pero también es cierto que el ahorro de agua que se debe considerar como resultado de la modernización debe ir más allá de la reducción de «presiones» en el sentido del Reglamento de Planificación Hidrológica (Real Decreto 907/2007, de 6 de Julio). Así, para poder analizar realmente el «impacto» de las medidas de la modernización sobre las masas de agua, debe considerarse la disminución del agua consumida (no el agua usada como propone el enfoque tradicional). Esta circunstancia evidencia la necesidad de un marco analítico más general que el tradicional comentado anteriormente (Figura 1), que diferencie entre agua usada y consumida a nivel de cuenca. En la Figura 2 se presenta gráficamente este enfoque general planteado a nivel de cuenca para la determinación de los ahorros de agua.

En el enfoque tradicional, un ahorro en el uso de agua se considera como un ahorro neto que puede ser utilizado para otro fin. Sin embargo, para que verdaderamente ocurra un ahorro de agua, deben disminuir la fracción consumida. Teniendo en cuenta este esquema de análisis, el ahorro de agua resultante de la modernización del regadío dependerá de la variación final del consumo de agua, calculado como suma de (1) la evapotranspiración beneficiosa, (2) la evapotranspiración no beneficiosa, y (3) la escorrentía y percolación no recuperable.

Así pues, la clave para establecer si existe o no efecto rebote con la modernización de regadío consiste en conocer si los posibles incrementos en el consumo por evapotranspiración beneficiosa (1) son superiores o no a los ahorros conseguidos por la disminución de las otras componentes del consumo (2+3). Así tendríamos que:

$$\Delta ET_C < \Delta ET_{nb} + \Delta F_{nr} \Rightarrow \text{Existe ahorro efectivo de agua}$$

$$\Delta ET_C > \Delta ET_{nb} + \Delta F_{nr} \Rightarrow \text{Existe efecto rebote}$$

La mayoría de modernizaciones realizadas hasta la fecha en España han producido un aumento en la eficiencia del uso del agua, disminuyendo significativamente la evapotranspiración no beneficiosa (2), y la escorrentía y percolación no recuperable (3), al igual que la escorrentía y percolación recuperable (4). Este efecto ha contribuido a disminuir el consumo de agua y, por tanto, a ahorrar agua.

Sin embargo, también es cierto que los nuevos sistemas de tuberías a presión que operan a la demanda permiten: a) realizar riegos de alta frecuencia,

planificación óptima del riego y la diversificación del patrón de cultivos hacia cultivos de mayor valor, normalmente con mayores necesidades hídricas; b) conseguir mayor uniformidad del riego, de modo que parcelas regables con riego deficiente o nulo antes de la modernización pasan a regarse correctamente; y c) ampliar la superficie regable (y regada) mediante el uso del ahorro de agua usada generado por el incremento de la eficiencia. Estas circunstancias pueden conducir a un incremento de la evapotranspiración beneficiosa (1), sobre todo a escala de zona regable, hecho que en ningún caso se contemplaba en el enfoque tradicional anteriormente comentado.

Teniendo en cuenta este planteamiento, resulta evidente que no puede hacerse ninguna afirmación general sobre la existencia de efecto rebote de la modernización de regadíos. Se trata esta de una cuestión empírica que debe determinarse caso por caso, analizando las características específicas de cada actuación. En este sentido, para poder llegar a conocer las «lecciones aprendidas» de la modernización, se va a proceder a realizar una revisión crítica de la literatura científica internacional. Esta revisión va a permitirnos determinar bajo qué circunstancias puede darse este efecto rebote, y orientarnos sobre las medidas que deberían adoptarse para evitar este posible efecto no deseado de la modernización.

3. ¿Qué sabemos del efecto rebote? Modelos de simulación

Este apartado trata de revisar la evidencia académica del efecto rebote en la modernización del regadío, realizando para ello una revisión crítica de la literatura existente (Berbel *et al.*, 2015). A efectos expositivos, los resultados de esta revisión se van dividir en dos secciones. La primera se centra en comentar las evidencias aportadas por los trabajos que han analizado el conjunto de impactos del cambio tecnológico sobre la demanda del agua (ahorro de agua) mediante modelos de simulación, es decir, a partir de resultados previstos o esperados. Por su parte, en la segunda se revisan las evidencias empíricas de los estudios que han analizado los cambios realmente observados en zonas de riego que han adoptado tecnologías de ahorro de agua, es decir, a partir de datos observados.

Hay dos posibles acercamientos teóricos al análisis del efecto rebote de la modernización de regadíos, uno son los modelos analíticos y el otro es el desarrollo de modelos de programación matemática.

3.1. Modelos analíticos

Whittlesey (2003) se basa en un modelo simplificado que enlaza el rendimiento de los cultivos, el uso consuntivo del agua y el agua usada, y examina las condiciones bajo las que la mejora de la eficiencia de aplicación del agua ahorra agua. Así, señala que la modernización ahorra agua cuando la mejora de la eficiencia reduce las pérdidas por escorrentía y percolación no recuperables (p. ej., en zonas de riego litorales). Sin embargo, cuando el cambio de la tecnología de riego afecta a zonas de interior, es previsible la aparición del efecto rebote, pues la mejora de la eficiencia solo afecta a los flujos de retornos que son empleados por otros regantes u otros usuarios aguas abajo.

Scheierling, Young, *et al.* (2006) también basan su investigación en un modelo agroeconómico, y concluyen que las ayudas a la inversión en la mejora de la eficiencia de riego pueden incrementar el uso consuntivo si los agricultores pueden expandir la superficie regada, tal y como permitía la política federal norteamericana de mejora de regadío aplicada entonces. Por el contrario, el uso consuntivo no se incrementará significativamente si la superficie regada está limitada; en otras palabras, no hay efecto rebote si no se aumenta la superficie regada.

Huffaker (2008) presenta otro modelo conceptual con algunas consideraciones hidrológicas y agronómicas con el fin de señalar el tipo de datos que podrían ser útiles para predecir el ahorro potencial que suponen las ayudas para el fomento de las tecnologías de ahorro de agua. De acuerdo con el documento, una política de ahorro de agua que garantice a los agricultores una parte del agua ahorrada medida como la reducción en el agua usada antes y después del incremento de la eficiencia de aplicación del agua, puede producir efectos adversos. En cualquier caso, este autor evidencia que los resultados finales de los cambios tecnológicos del regadío son ambiguos, pues en función de los casos concretos puede suponer un ahorro neto de agua o un posible efecto rebote.

Törnqvist y Jarsjö (2012) desarrollaron un modelo hidrológico a nivel de cuenca para analizar los efectos de la mejora tecnológica del regadío en la cuenca del Mar de Aral, en Asia central. Para este caso de estudio, los resultados de la modelización muestran que la modernización del regadío puede suponer un importante ahorro del agua consumida en la cuenca, permitiendo un incremento en la recarga del Mar de Aral de entre 1 y 6 km³/año. Este

ahorro en el agua consumida equivale al 40 % de la reducción del agua usada por el regadío.

Gómez-Gómez y Pérez-Blanco (2014) desarrollan un sencillo modelo basado en un análisis microeconómico, de donde se deduce que las políticas públicas que subvencionen la modernización de regadío derivan un mayor consumo final de agua. Por este motivo, para disminuir el consumo de agua por parte de la agricultura, propone otros instrumentos que consideran más convenientes, como la tarifación volumétrica del agua o la aplicación estricta de cuotas. A pesar de ello, los autores concluyen que el análisis del impacto de mejores tecnologías de riego en una zona concreta sigue siendo una cuestión empírica, y confirman la escasa evidencia disponible basada en datos reales. Debe señalarse en cualquier caso que el modelo propuesto por estos autores adolece de varias debilidades: a) no se diferencia entre agua usada y agua consumida; b) no integra modelo agronómico alguno que permita relacionar el volumen de agua usado/consumido con el rendimiento del cultivo; c) no se considera cambios en la estrategia de riego por parte de los productores, como por ejemplo la del riego deficitario; d) no considera la existencia limitaciones al agua usada (volumen concesional) o la tierra regada (derechos concesionales), a pesar de que tales restricciones están operativas en la mayor parte de zonas regables del mundo, incluidas todas las de España; y e) asume una reducción del coste del agua, cuando la evidencia demuestra que la modernización encarece el uso del recurso (mayores costes de amortización y energéticos).

Berbel y Mateos (2014) proponen un simple modelo agro-económico que explora las condiciones en las cuales la mejora de la eficiencia de aplicación del agua de riego puede incrementar el agua usada y el agua consumida. Estos autores concluyen afirmado que no existe efecto rebote significativo cuando la cantidad de tierra regada está limitada. Si esta condición no se da, es probable que un cambio hacia una tecnología más eficiente de agua genere un incremento en el agua finalmente consumida, dada la tendencia de los agricultores a expandir la superficie regada con los ahorros de la mejora de eficiencia; la clave por tanto está en el control de la superficie regada. Además, estos autores señalan que este tipo de cambios en la tecnología del agua de riego hace que la demanda de agua se vuelva más inelástica, de lo que se deduce que la tarifación del recurso en los regadíos modernizados es menos efectiva para disminuir el uso y el consumo del recurso.

Ahmadzadeh *et al.* (2016) utilizan el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para analizar el efecto que tendría la sustitución del riego por

inundación por riego a presión en la cuenca del río Zarrineh Rud en Irán. Concluyen que, aunque el agua usada procedente del río disminuiría, también lo harían los retornos, de manera que el flujo en el río se mantendría constante. No obstante, en las simulaciones sobre las fuentes de agua subterráneas estiman que podría haber un descenso en el nivel de la capa freática debido a la falta de recarga de los acuíferos por la reducción de los flujos de retorno provenientes de la agricultura de regadío.

Wang *et al.* (2015) analizan la sustitución de sistemas de riego en el acuífero de Ogallala (sur de EEUU), y determinan que una mejora en la eficiencia del uso del agua no afecta significativamente la cantidad de agua bombeada del acuífero. Así, la mejora tecnológica de los sistemas de riego en este caso de estudio no ha supuesto un incremento del agua usada, pero ha permitido incrementar la fracción de agua consumida por los cultivos, posibilitando la sustitución de cultivos poco demandantes de agua por otros con mayores necesidades hídricas. En cualquier caso, este trabajo parece basarse en el enfoque tradicional descrito al principio del capítulo, que ignora la existencia de retornos aprovechables de agua, en este caso para la recarga del acuífero. Por este motivo no se advierte sobre la posibilidad de ocurrencia de un efecto rebote, que obviamente se produciría al reducirse los retornos al acuífero. Los autores de este trabajo también apuntan que un incremento en el precio del agua no conseguiría reducir las extracciones, si no es a precios muy elevados, donde la reducción en el beneficio fuese muy severa. Finalmente, apuntan que ayudas por unidad de agua ahorrada (reducción de extracciones en este caso) o ayudas para la implementación de cultivos de bajas necesidades hídricas sí lograría disminuir las extracciones del acuífero. Sin embargo, no dejan claro si estas reducciones en las extracciones llevarían o no a un ahorro efectivo del agua, ya que como antes se ha comentado, el modelo empleado no considera el papel de los flujos de retorno.

Sobre este mismo caso de estudio (acuífero de Ogallala), Li y Zhao (2016), analizan el papel que juega la reducción de los derechos de agua para prevenir el efecto rebote. Partiendo del trabajo de Pfeiffer y Lin (2014), y mediante modelos analíticos, concluyen que la reducción de derechos de agua evitaría el efecto rebote sin desincentivar la toma de decisión de sustituir los sistemas de riego. Llamamos la atención en este punto porque las conclusiones de este modelo coinciden con la normativa española en muchas cuencas donde efectivamente se reducen los derechos concesionales a aquellas modernizaciones subvencionadas con fondos públicos.

3.2. Modelos de programación matemática

Otros tipos de modelos que analizan el tema del ahorro de agua en los procesos de modernización del regadío están basados en la programación matemática. Dentro de este enfoque se han empleado distintas técnicas para estudiar este asunto: programación lineal, programación matemática positiva, programación multiperiodo, programación dinámica, programación basada en la utilidad esperada y programación multicriterio.

Ellis *et al.* (1985) desarrollan un modelo de programación matemática multiperiodo para explicar el efecto del cambio hacia sistemas de riego más eficientes en Texas, concluyendo que mejorando la eficiencia de aplicación del agua de riego se podría llegar a consumir más agua que antes.

Peterson y Ding (2005) analiza el caso de las High Plains de Kansas desarrollando para ello un método de programación dinámico con riesgo para simular la elección óptima de la tecnología de riego, la selección de cultivos y el uso de agua de riego a lo largo del tiempo. De esta manera analizan la relación entre la mejora de los sistemas de riego y el ahorro de agua, así como sus efectos sobre el nivel de explotación de las aguas subterráneas de donde proceden los recursos. Los resultados alcanzados por estos autores concluyen que el programa de ayudas a la modernización del regadío implementado en ese territorio podría servir para conseguir la conservación del agua subterránea, siempre y cuando se fomentasen determinadas tecnologías de riego. Efectivamente, en el caso de estudio analizado estos autores evidencian que el cambio de riego por superficie a goteo sí consigue un ahorro neto del agua (menores extracciones del acuífero), pero no es así si el cambio tecnológico es la sustitución del riesgo por superficie por sistemas de aspersión.

Basado en un modelo de programación matemática de la cuenca del Murlay-Darling (Australia), Qureshi *et al.* (2010) concluyen que la inversión en la mejora de la eficiencia técnica del riego puede proporcionar oportunidades coste-eficaces en cuanto al ahorro de agua. No obstante, el resultado neto final que alcanzan es también ambiguo, pues este depende de las modificaciones causadas sobre los flujos de retornos y del uso de los ahorros de agua usada conseguidos con la modernización.

Basado en un modelo de programación matemática positiva, Ward y Puhlido-Velázquez (2008) simulan los efectos de la modernización del regadío, centrándose en la disminución de los flujos de retornos y el incremento de la superficie regada con el ahorro de agua usada por el cambio la tecnología

de riego. Estos autores concluyen que tanto el incremento de la superficie de riego como el cambio hacia cultivos de mayor valor impiden la conservación de los recursos hídricos.

Gutiérrez-Martín y Gómez-Gómez (2011) desarrollan un sencillo modelo de revelación de preferencias de los regantes en cuanto a la toma de decisiones, y lo aplican a una zona regable del Guadalquivir (Genil-Cabra). Dicho modelo lo aplican para simular los efectos del cambio tecnológico en los sistemas de riego, considerando fija la superficie regable de acuerdo a la normativa española (derechos concesionales). Los resultados evidencian la posibilidad de efecto rebote, aun manteniendo la superficie regada constante, pues el incremento de las necesidades de riego debido al cambio de cultivos (cultivos de mayor valor) pueden sobrepasar el ahorro derivado de la mejora de eficiencia en uso del recurso. Así concluyen que, para evitar que la modernización del regadío produzca un aumento en el consumo de agua, es necesario: a) prohibir que se pueda ampliar la superficie de regadío, y b) disminuir la dotación de agua asignada en función del ahorro conseguido de la mejora de eficiencia. También concluyen que una política de precios de agua no sería efectiva para conseguir un mayor ahorro de agua, dada la inelasticidad de la curva de demanda en zonas con déficit hídrico estructural.

Dagnino y Ward (2012), basados en un modelo microeconómico construido a partir de datos contables de las explotaciones de regadío del Río Grande (EEUU), concluyen que las ayudas públicas para la adopción del riego por goteo aumentan los ingresos de las explotaciones y reducen la cantidad de agua aplicada a los cultivos, pero a la vez pueden favorecer el agotamiento de los recursos hídricos de la cuenca. Para evitar el efecto rebote de este cambio tecnológico proponen la necesidad de limitar (reducir) los derechos de agua de los regantes.

Heumesser *et al.* (2012), basados en un modelo matemático de tipo bioeconómico, llegaron a la conclusión de que las ayudas para la realización de inversiones orientadas al ahorro de agua (adopción de técnicas de riego más eficientes) podrían reducir el uso del agua entre un 6 % y un 39 % en la región de Austria considerada como caso de estudio. Sin embargo, se trata de un análisis parcial basado en el enfoque tradicional del ahorro basado en el agua usada, que ignora los efectos sobre los retornos. De hecho, en este trabajo no se estiman los ahorros de agua consumida consecuencia de la modernización, medida realmente relevante para el análisis del desempeño ambiental a nivel de cuenca.

Contor y Taylor (2013) desarrollan un modelo de simulación basado en aproximaciones de las funciones de producción del agua de riego (función de respuesta de los rendimientos en base a la cantidad de agua de riego aplicada) ajustadas para una zona regable del río Snake en Idaho (EEUU). A partir del mismo concluyen que mejoras de la eficiencia en el uso del agua de riego de un 60 % a un 80 % reduce el uso de agua en un 15 %, pero que el consumo de agua se incrementa en un 3 % (efecto rebote). No obstante, las funciones de producción del agua de riego empleadas en este estudio presentan deficiencias importantes, lo que hace que los resultados alcanzados sean discutibles.

Graveline *et al.* (2014) han desarrollado un modelo hidro-económico para la simulación de los efectos de la modernización de dos zonas regables en la cuenca del río Gállego (España). Los autores reportan que el cambio del riego por superficie a un riego por aspersión provocaría el aumento de la superficie regada en un 4 % (superficie incluidas en el perímetro de la zona regable, pero que hasta ahora no se podía regar por gravedad) y un cambio significativo en los planes de cultivos de ambas zonas, introduciendo cultivos de mayor consumo de agua. El efecto conjunto de ambas circunstancias provocaría que la disminución del agua usada sea de tan solo el 2 %. Esta investigación, sin embargo, no reporta las variaciones del agua realmente consumida, que como ya se ha explicado es la determinante de la presión del regadío sobre las masas de agua.

Adamson y Loch (2014) y Loch y Adamson (2015), a través de modelos de programación basados en la simulación de la maximización del beneficio de los regantes, estudian el efecto que tendría la mejora de la eficiencia en el uso del agua en una serie de escenarios que contemplan tres estados de la naturaleza: húmedo, normal y seco. Los resultados muestran que, en ausencia de medidas adicionales, existiría un claro efecto rebote por un incremento de la superficie de riego y de la demanda de agua, que reduciría los flujos ambientales en años normales y secos. También advierten que la subvención de parte del capital invertido en modernización incentiva decisiones de inversión subóptimas desde una perspectiva pública, ya que tales inversiones: a) dificultan la consecución de los objetivos ambientales establecidos en relación con la conservación de las masas de agua, b) limitan la respuesta de los regantes frente a la variabilidad climática (disminuye la resiliencia de los sistemas de regadío al hacerlos más vulnerables a las sequías), y c) incrementan la exposición al riesgo de los regantes dadas las importantes inversiones en capital requeridas.

Upendram *et al.* (2015) desarrollan un modelo que tiene en cuenta el diferente grado de aversión al riesgo de los regantes al objeto de simular su com-

portamiento diferencial frente a la toma de decisiones productivas (selección de cultivos) tras los procesos de modernización del regadío. Este modelo lo aplican en las High Plains de Kansas, que se alimenta de los recursos del acuífero Ogallala. Entre sus principales conclusiones se evidencia que el posible ahorro de agua tras los procesos de modernización (inversión en sistemas de riego más eficientes) depende más de la función objetivo del agricultor (mayor o menor aversión al riesgo) que de la mejora de la eficiencia de aplicación del agua conseguida con el cambio tecnológico. Así, para los agricultores más adversos al riesgo, la mejora de la eficiencia del riego no suele llevar apareada la sustitución de los cultivos con bajos requerimientos de agua por otros más intensivos, por lo que en estos casos se disminuye el consumo de agua (no efecto rebote). Por el contrario, si el agricultor es neutral al riesgo (o amante del riesgo), el consumo final de agua tras la modernización se incrementa (sí efecto rebote).

Finalmente, Quintana Ashwell y Peterson (2015) desarrollan un modelo de programación hidro-económico multiperiodo al objeto de analizar los efectos de la tecnología de riego sobre el estado de la masa de agua subterránea de la que se extraen los recursos, y lo aplican al caso del regadío del condado de Sheridan (Kansas, EEUU), que se nutre del acuífero Ogallala. De esta manera estos autores encuentran que, en ausencia de intervención pública, se produciría una inversión en tecnologías eficientes de riego inferior a la deseable para conseguir la sostenibilidad del acuífero fuente de los recursos empleados. Tales resultados sugieren el papel clave de la intervención pública (políticas de subvención a las inversiones en sistemas eficientes de riego) para la consecución de soluciones óptimas desde una perspectiva social.

4. ¿Qué sabemos del efecto rebote? Estudios empíricos

4.1. Estudios empíricos publicados

Los trabajos que evalúan los impactos de la modernización del regadío basándose en datos reales, comparando el uso y consumo de agua antes y después del cambio tecnológico, son sin duda más fiables para analizar la existencia o no del efecto rebote. Sin embargo, la evidencia en este sentido es limitada, pues existe hasta la fecha un número reducido de estos estudios. Llama la atención en cualquier caso que más de la mitad de tales trabajos se

hayan realizado en España. A continuación se resumen los resultados disponibles en este sentido.

Jackson *et al.* (2010) analizan los previsibles impactos derivados de modernización de dos zonas regables de Australia, una regada con agua superficial (Coleambally Irrigation Area) y otra con agua subterránea (South East of South Australia). En ambos casos la modernización consistiría en la sustitución de sus actuales sistemas de riego de superficie por un sistema presurizado que combina pívot y goteo, en función de los diferentes cultivos existentes. Los resultados correspondientes a la primera zona evidencian una reducción en el agua usada entre un 10 % y 63 %, en función del cultivo, pero un incremento en el uso de la energía superior al 100 %. En el caso de la zona regada con agua subterránea la mejora redujo el agua usada un 66 %, y el consumo de energía disminuiría entre un 25 % y un 42 %. No obstante, debe comentarse que este estudio no considera posibles cambios en los planes de cultivos de las zonas regables tras la modernización, ni estima las variaciones en el agua consumida. Ambas carencias impiden concluir sobre la existencia o no de efecto rebote.

Lecina *et al.* (2010b) analizan los efectos de modernización de la zona de riegos del Alto Aragón (España) realizada entre 2003 y 2004. Se trata de una zona de 123.354 ha dedicada fundamentalmente a cultivos herbáceos extensivos (alfalfa y maíz). La modernización consistió en la sustitución del anterior sistema de riego por superficie a un sistema a presión mediante aspersión. En relación con el consumo de agua, este cambio tecnológico ha provocado un aumento del mismo, en la medida que se ha incrementado la cantidad de agua evapotranspirada por los cultivos (cambios en los planes de cultivos y aumento de la superficie regada dentro del perímetro de la zona regable) y la evapotranspiración no beneficiosa (evaporación del agua durante su aplicación mediante aspersión al tratarse de zona de vientos persistentes). El caso presentado por estos autores tiene como característica particular que los derechos concesionales no se estaban usando, ya que debido al deficiente estado de las redes de distribución anterior a la modernización, la superficie regada era muy inferior a la regable. Este contexto específico explica que la modernización haya provocado un importante descenso en los retornos recuperables (mejora de la eficiencia), y que se haya producido un aumento del consumo (riego efectivo de la totalidad de la superficie regable). Estos mismos autores reportan un incremento de la productividad del agua tras la moderni-

zación y una mejora de la calidad de las masas de agua por el descenso en la exportación de sustancias contaminantes.

García-Garizábal y Causapé (2010) han estudiado los efectos de la modernización de las Bárdenas (España), una zona regable de 15.000 ha dedicadas a cultivos herbáceos extensivos en la cuenca del Ebro. Para ello compararon la información obtenida antes (año 2000) y después (año 2007) de la modernización. De esta manera han evidenciado como el cambio de un sistema de riego por gravedad a un sistema a presión mediante aspersión ha permitido el incremento de la eficiencia de riego en 26 puntos porcentuales (del 67 % al 93 %). Además, este cambio tecnológico vino acompañado por una reducción de las necesidades de los cultivos (de 732 mm a 594 mm, debido a la sustitución en el plan de cultivos de parte del maíz por trigo). Como resultado, el agua usada ha disminuido un 42 % (las dosis de riego han pasado de 1.094 mm a 639 mm). Asimismo, otro resultado positivo ha sido la reducción en un 88 % de los retornos cargados en nutrientes y sales (de 362 mm a 45 mm). Estos resultados, aunque no es explicitado por los autores, apuntan a que el consumo final de agua ha disminuido en un 19 % (de 732 mm a 594 mm), negando la existencia de efecto rebote en este caso de estudio. Los resultados también señalan menores descargas de contaminantes (nitratos en un 24 % y sales en un 20 %) en las masas de agua del río Riguel.

Rodríguez-Díaz *et al.* (2011, 2012) enfocan su estudio en la margen derecha del Bembézar (España), una zona regable de 12.000 hectáreas en el valle medio del Guadalquivir. La modernización del regadío de la zona tuvo lugar a mediados de la primera década de este siglo, consistiendo en la sustitución de canales abiertos de transporte y distribución y el sistema de riego por gravedad, por una red presurizada que permite el riego por goteo. En este contexto estos autores tomaron datos primarios de la zona antes (año 1996) y después (año 2009) de la modernización, al objeto de medir toda una batería de indicadores de desempeño del riego. Los resultados obtenidos evidencian que el agua usada (extraída del embalse) se ha reducido de 8.000 m³/ha a 4.700 m³/ha (-40 %), principalmente por las mejoras en la eficiencia del transporte y la tarificación volumétrica, que ha potenciado el uso de riego deficitario. Sin embargo, el agua realmente consumida se ha incrementado en un 20 %, circunstancia que explican por el aumento de la evapotranspiración de los cultivos (sustitución de cultivos herbáceos extensivos por cítricos, que tienen mayores necesidades hídricas). Estos autores también informan de un incremento importante de los costes de la energía y los de amortización de los

nuevos equipos, que han hecho que los costes de riego se hayan incrementado en un 400 %. Este sobrecoste ha podido ser cubierto por el mayor ingreso obtenido por la producción agraria (la productividad aparente del agua se ha duplicado, de 0,47 euros/m³ a 0,85 euros/m³).

Soto-García *et al.* (2013) centran su estudio en el Campo de Cartagena (España), comparando las condiciones del riego antes (año 2002) y después (año 2011) de la modernización de esta zona regable. Esta zona partía de una situación inicial en la cual ya operaba con un sistema de riego altamente eficiente, con una red de tuberías a presión y riego por goteo, gracias al cual atendía 41.065 hectáreas de cultivos hortícolas y frutales con dotaciones reducidas (menores del 3.500 m³/año). En este caso la modernización consistió en una mejora de la gestión del riego mediante la automatización y el control remoto, la cual ha permitido reducir el consumo de energía (-37 %) y reducir levemente el agua consumida (-1,1 %). No obstante, estos logros se han conseguido incrementando los costes operativos y de mantenimiento en un 50 %. Esta modernización no produjo cambios en los planes de cultivo de los regantes. Las diferencias de este caso de estudio con la mayoría de modernizaciones realizadas en España durante la última década permiten distinguir entre modernizaciones de «primera generación» (cambio de riego por superficie a riego presurizado) y de «segunda generación», centradas en la automatización de las infraestructuras de riego y la mejora de la eficiencia energética.

Otros análisis empíricos de la transformación de sistemas de regadío en España con la restricción de no aumentar la superficie regada los podemos encontrar en Fernández-García *et al.* (2014) y García-Mollá *et al.* (2013) y en el capítulo 16 de este volumen. Estos trabajos concluyen que la modernización del regadío reduce significativamente las extracciones de agua (en un rango entre un 25 % y un 45 %), sin que el consumo de agua (evapotranspiración) se vea incrementado (no efecto rebote). Estos trabajos también detectan otros efectos como el incremento significativo en los costes del agua debido al incremento en el consumo de energía en torno a un 50 % o 100 % sobre los valores previos al cambio de la tecnología de riego, y un significativo incremento de la productividad de todos los factores productivos (tierra, trabajo y agua).

Pfeiffer y Lin (2014) han estudiado la modernización del regadío en Kansas (EEUU), dedicado principalmente a cultivos herbáceos extensivos (maíz, alfalfa, trigo, soja y sorgo). Para ello han comparado la situación existente en 1995 (riego por aspersión mediante pívot) con la de 2005 (pívot con microaspersores) a partir de datos reales. Estos autores reportan que la modernización

ha inducido un ligero aumento (1-2 %) en la cantidad de agua extraída del acuífero, motivado tanto por el cambio en el plan de cultivos (cultivos con mayores necesidades hídricas), como por el incremento de superficie regada (2,5 %). Como contrapartida, se evidencia igualmente un incremento de la productividad y rentabilidad de las explotaciones de la zona, tanto por el incremento de los rendimientos y el valor de la producción, como por la reducción de los costes de riego. Este caso de estudio, por sus características, podría asemejarse al del Campo de Cartagena antes comentado, como una modernización de «segunda generación».

Scott *et al.* (2014) han estudiado los efectos del cambio tecnológico del regadío en tres cuencas: Limarí en Chile, Imperial Valley en EEUU y Guadiana en España. De este estudio comparativo se evidencia que la aparición del efecto rebote derivado de la modernización del regadío puede observarse a nivel internacional, teniendo en todas ellas las mismas causas: la introducción de cultivos con mayor valor añadido y más requerimientos consuntivos de agua, y el incremento de la superficie regable mediante el uso del agua supuestamente «ahorrada» por la mejora en la eficiencia del riego. Asimismo, los autores apuntan que la fuerza motriz de este proceso es la búsqueda de una mayor rentabilidad de la actividad de regadío, lo cual genera externalidades sociales y territoriales positivas (creación de empleo y desarrollo rural), pero lleva apareada igualmente un impacto negativo sobre el medioambiente, en la medida que disminuyen los flujos por los cauces naturales, y con ello la calidad ambiental de la masas de agua y la resiliencia de los ecosistemas frente a condiciones de escasez.

Ahmad *et al.* (2014) analizan, a través de mediciones y encuestas, el efecto de medidas de ahorro de agua como nivelación por láser, siembra directa y plantación en camas sobre el uso del recurso en Paquistán. Estas medidas se establecieron para reducir el coste de producción y la mano de obra, así como para reducir el uso de agua y mejorar el rendimiento de los cultivos. Los resultados muestran que los ahorros de agua usada que se producen a nivel de zona regada no son extrapolables a la cuenca, sobre todo porque el agua infiltrada puede ser reutilizada posteriormente desde los acuíferos subterráneos (retornos). Además, se evidencia que incluso cuando las medidas reducen la aplicación de agua por unidad producida, el uso de agua total puede no reducirse debido a que las explotaciones medianas y grandes tienden a utilizar los ahorros de agua usada para incrementar la superficie regada. También destacan que cuando el uso del agua para riego genera percolaciones a acuíferos

salinos (flujos no recuperables), la implementación de las técnicas ahorradoras de agua sí produce un ahorro neto de agua al evitar la infiltración a sumideros salinos, desde los cuales el agua no puede ser reutilizada.

Finalmente, Berbel *et al.* (2015) analizan la situación antes de la modernización (1999-2002) y después de ella (2009-2012) para cinco comunidades de regantes del Guadalquivir. Las condiciones bajo las cuales se desarrollaron estas modernizaciones fueron una reducción obligada de la dotación de agua de 8.000 m³/ha a 6.000 m³/ha y una ligera reducción de la superficie regada. Con estas condiciones, se produjo un cambio de cultivos incrementándose la superficie dedicada a cítricos y hortícolas, y disminuyendo la de remolacha, algodón y maíz. El resultado final es la reducción en el uso de agua, por lo que en este caso no se puede hablar de efecto rebote. Estos autores también informan de un positivo efecto de la modernización incrementado el valor de la producción. Los autores señalan que en estos casos se ha evitado la aparición de un efecto rebote por las condiciones legales establecidas por las autoridades para cofinanciar la modernización: a) reducción de los derechos de agua desde 8.000 a 6.000 m³/ha (reasignación de agua hacia usos ambientales), b) instalación de contadores de agua y facturación por volumen usado, y c) prohibición de incrementar la superficie de regada (de hecho se ha reducido ligeramente).

En este mismo volumen se pueden consultar los capítulos 5 y 11 a 17 que aportan nuevas evidencias y casos de estudio empíricos y modelos sobre el impacto de la modernización.

4.2. Resumen de casos encontrados en España

En la sección anterior se ha revisado la literatura disponible en todo el mundo, y entre ella se ha evidenciado la presencia de numerosos casos españoles. Esta sección intenta resumir las evidencias que se han publicado y documentado con rigor sobre la modernización de regadío en España.

En todos los casos de modernización se ha observado un aumento de la productividad de los factores productivos agua, tierra, trabajo, dado que las inversiones realizadas han permitido obtener mayores rendimientos y cambiar los planes de cultivos hacia producciones de mayor valor añadido. Asimismo, otra característica común de todos los procesos de modernización es el aumento del coste del recurso, dados los mayores costes energéticos y de capital asociados a las inversiones en mejora de eficiencia del riego. Sin embargo, sí existen diferencias en relación con la suficiencia de agua de riego antes de la

modernización (existencia de riego deficitario o completo) y el tratamiento de la concesión de agua tras la modernización (mantenimiento de la concesión fija o reducción de la misma). La siguiente tabla intenta agrupar los trabajos comentados anteriormente según estos dos criterios que, como ahora se analiza, resultan ser claves como factores condicionantes de los cambios en el uso y el consumo de agua.

Tabla 1. Resumen de casos publicados sobre modernización de regadíos en España

		Situación previa a la modernización	
		Riego deficitario/concesión fija	Riego completo/concesión reducida
Situación posterior a la modernización	Sin aumento de superficie regada	Uso agua: ligera reducción	Uso agua: reducción significativa (25 % aprox.)
		Consumo agua: ligera reducción	Consumo agua: sin cambios
		Evidencias: Soto-García <i>et al.</i> (2013); Alcón <i>et al.</i> (2016)	Evidencias: Berbel <i>et al.</i> (2015); García-Garizábal y Causapé (2010); García Mollá <i>et al.</i> (2013)
	Con aumento de superficie regada	Uso agua: ligera reducción	Uso agua: ligera reducción
		Consumo agua: aumento significativo	Consumo agua: aumento significativo
		Evidencias: Playán <i>et al.</i> (2010b)*	Evidencias: Corominas y Cuevas (capítulo 11); Scott <i>et al.</i> (2014)

* En este caso el aumento de superficie regada es dentro del perímetro de la zona regable, no hay ampliación.

Como puede observarse en la Tabla 1, en función de la situación anterior a la transformación y de las reglas que gobiernan el destino de los ahorros potenciales, la modernización produce efectos diferenciales en las variables relativas al uso y consumo de agua. Así, cabe diferenciar cuatro situaciones diferentes con resultados igualmente dispares en cuanto al ahorro de agua:

1. Regadíos inicialmente infradotados en los que las dotaciones son extremadamente deficitarias (p. ej., el Campo de Cartagena), donde la modernización ha tratado de paliar parcialmente tal escasez (tras la modernización las dotaciones han seguido siendo insuficientes para un riego completo). Como resulta obvio, bajo estas circunstancias la modernización no ha posibilitado incremento alguno en la superficie regada. En estas condiciones resultaba lógico que la concesión de agua se mantenga fija tras la modernización. En estos casos, tanto el

uso como el consumo de agua se ha reducido ligeramente mediante las mejoras introducidas con la modernización.

2. Regadíos inicialmente infradotados por baja eficiencia en las redes de distribución (obsolescencia, falta de mantenimiento), que provocaban que muchas parcelas regables estuvieran en secano por falta de suministro agua, y que las parcelas regadas tuvieran dotaciones reales por debajo de los derechos reconocidos. En tales condiciones ha parecido igualmente razonable que la concesión de agua permanezca constante tras la modernización. En estos casos la modernización se ha traducido en una ligera reducción en el uso del agua, pero un aumento significativo de su consumo, dado el incremento de la superficie regada.
3. Regadíos suficientemente dotados antes de la modernización (coincidencia de la superficie regable y regada), en los cuales no se ha podido incrementar la superficie regada, y donde los ahorros potenciales de la modernización han motivado una reducción de la concesión de agua. En estos casos, como se ha comprobado en la mayoría de casos en la cuenca del Guadalquivir, el uso del agua se ha reducido de forma notable (aproximadamente el 25 %), y que el consumo de agua apenas ha cambiado.
4. Regadíos suficientemente dotados antes de la modernización donde los ahorros potenciales de la modernización han motivado una reducción de la concesión en la zona regable afectada pero, en contra de lo que ha ocurrido con el caso anterior, dicha reducción ha sido empleada como argumento por parte de la administración pública responsable de la gestión del agua para conceder nuevas concesiones a otras zonas regables, provocando un incremento de la superficie regable en el conjunto de la cuenca. Este ha sido el caso del Guadiana, donde a pesar de experimentarse una ligera reducción en el uso del agua, se ha producido un aumento significativo de su consumo.

Como conclusión de lo expuesto anteriormente, puede afirmarse que durante las dos últimas décadas, como respuesta a la escasez de recursos, se ha producido en España un intenso proceso de modernización del regadío, consistente en un cambio tecnológico que incrementa la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, también durante este período se ha observado en muchas cuencas de España un pequeño pero constante aumento de la superficie de

riego, aproximadamente de un 1 % anual acumulativo. Esta coincidencia en el tiempo de ambos procesos ha motivado que algunos autores los hayan relacionado, haciendo responsable a la modernización del aumento de la superficie regada, y por tanto del aumento en el consumo de recursos. En la próxima sección veremos cómo este modelo narrativo está implícito en algunas publicaciones aparecidas en los últimos años, a pesar de que la mencionada relación no está demostrada suficientemente. De hecho, las principales causas del aumento de la superficie regada (y del incremento en el consumo en algunas zonas) deben buscarse en la dinámica institucional de la gestión del agua en nuestro país y en las deficiencias de gobernanza existente.

5. Modelos narrativos y trabajos basados en terceros

Haciendo un análisis crítico de los 10 años de implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA), la Comisión Europea (2012) propuso un plan para mejorar el estado de las masas de agua en Europa y anunció una futura revisión de dicha directiva para 2019. En este documento, la Comisión Europea alerta públicamente sobre el generalizado efecto rebote en los procesos de modernización del regadío, aunque no se basa en ninguna evidencia empírica. Según este documento, las causas de este fenómeno son de carácter microeconómico, tal y como ocurre con la paradoja de Jevons referida a la energía. No obstante, como se ha indicado al principio del capítulo, hay que tomar esta analogía energía-agua con precaución, debido a las diferencias entre ambos recursos, sobre todo la carencia de un verdadero mercado que permita reflejar el coste de escasez del recurso en el caso del agua. Con este planteamiento resulta lógico que este documento de la Comisión proponga la tarificación del agua como la solución al hipotético efecto rebote. De esta manera la Comisión Europea (y otras entidades que asumen el mismo diagnóstico y proponen la misma receta) ignora la multitud de trabajos (Bazzani *et al.*, 2004; Berbel y Gómez-Limón, 2000; Berbel y Mateos, 2014; Bontemps y Couture, 2002; de Fraiture y Perry, 2007; Dinar *et al.*, 2015; Kahil *et al.*, 2016; Molle y Berkoff, 2007; Scheierling, Loomis, *et al.*, 2006; Wheeler *et al.*, 2008) que evidencian que la tarificación del agua aplicada por sí sola no resulta ser un instrumento útil para reducir la demanda de agua (uso sostenible del recurso), especialmente cuando el agua tiene una elevada productividad y se utiliza eficientemente (p. ej., tras la modernización).

Esta posición política de la Comisión Europea se asienta en una red de instituciones (ONG medioambientales, centros de investigación, instituciones académicas) que apoyan este tipo de secuencia narrativa: 1.º) la demanda de riego es ineficiente (baja productividad) y despilfarradora (uso abusivo del recurso); 2.º) los costes del agua están fuertemente subvencionados, por lo que el agua de riego resulta muy barata; 3.º) si se incrementa el precio del agua de riego, su demanda se reducirá y se conseguirá un uso sostenible de los recursos. Un ejemplo de este tipo de paradigma se puede encontrar en los informes de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2012), donde cabe encontrar afirmaciones como esta: «incrementar los precios del agua de riego para alcanzar la recuperación total de costes maximizaría la eficiencia del uso del agua» (pág. 35). Sin embargo, tal afirmación es contradictoria con la observación empírica incluida en este mismo documento, cuando se reconoce que la inversión en ahorro de agua se induce por «incentivos generados por restricciones cuantitativas y el papel limitado de los precios» (p. 44).

En la esfera académica encontramos aproximaciones similares como las de Dumont *et al.* (2013), quienes basándose en el caso de estudio de Lecina *et al.* (2010a) en el valle del Ebro argumentan la existencia generalizada del efecto rebote en la modernización en España, tal y como se ha planteado por el Plan Nacional de Regadíos (PNR) y el Plan de Choque de Modernización de Regadíos (PCMR), ignorando evidencias contrapuestas procedentes de otros estudios igualmente citados en su trabajo. Asimismo, estos autores proponen como principal solución para evitar este efecto no deseado de la modernización la tarificación en el uso del agua, como instrumento que fomente la reducción en el consumo. Estos autores no han sabido comprender la naturaleza de caso particular y no extrapolable del trabajo de Lecina *et al.* (2010a), ni la ineficacia de la tarificación del agua de riego para reducir el consumo en zonas modernizadas (alta productividad del agua y elevada eficiencia técnica en su uso).

También en esta línea podemos encontrar el trabajo de López-Gunn *et al.* (2012), quienes hacen un análisis a posteriori de la modernización de sistemas de riego en España a partir de tres casos de estudios realizados utilizando fuentes secundarias (procedentes de SEIASA). A partir de estos datos generalizan la existencia del efecto rebote de la modernización y critican las previsiones de ahorro de agua propuestas en el PNR y el PCMR porque: a) estos ahorros estaban estimados a nivel parcela (no a nivel de cuenca); b) se basaban en el supuesto de que no habría cambios en los planes de cultivos, y c) consideraban que no habría incremento de la superficie regada. Finalmente, critican que no

se haya hecho una evaluación *ex-post* de la modernización del regadío, al objeto de determinar de forma transparente los resultados de esta política.

Cabe destacar asimismo el informe de WWF España (2015), donde también se generaliza la existencia del efecto rebote asociado a la modernización en base a cinco casos de estudios obtenidos de fuentes secundarias. Aunque la base teórica de partida es correcta, en la que critican el enfoque tradicional de considerar la disminución del agua usada como un ahorro neto, algunos de los casos que presentan están alejados de la realidad. Un ejemplo claro es el caso de la C.R. del Pantano del Guadalquivir (Guadalquivir), basado en última instancia en el trabajo de Fernández-García *et al.* (2012), donde la cifra de agua consumida antes y después de la modernización que indican en realidad se trata de la evapotranspiración potencial de los cultivos, que solo es una cifra teórica, no de consumo de agua real en la zona. Así, estiman un incremento de consumo de agua (medida como evapotranspiración potencial) del 4 %, debido principalmente al incremento de la superficie de algodón en detrimento de la remolacha. Sin embargo, esta cifra de consumo tras la modernización está claramente sesgada al alza al ignorar que el consumo de agua actual del algodón que se cultiva en régimen deficitario, ya que su riego está muy por debajo de sus necesidades hídricas potenciales (máxima cosecha). Esta circunstancia se debe al bajo precio del mercado internacional del algodón, unido al nuevo régimen de ayudas de la PAC al cultivo del algodón, que solo supedita estas ayudas directas a la consecución de un rendimiento mínimo. Bajo estas circunstancias, la solución que maximiza el beneficio de los cultivadores de algodón no justifica la búsqueda de máximos rendimientos, por lo que la estrategia generalizada es cultivar algodón con un nivel mínimo de insumos, empleando riego deficitario controlado, regando con dosis en torno al 60 % de la evapotranspiración potencial del cultivo (García-Vila *et al.*, 2009). Este hecho evidencia que el análisis sobre la base de la evapotranspiración potencial no es válido para estudiar el posible efecto rebote, tal y como insiste de manera equivocada el informe de WWF España (2015) mencionado. En el capítulo 5 de en este mismo volumen del Campo aporta nuevas evidencias de los graves errores que contiene el informe mencionado.

Finalmente, puede comentarse que en la literatura también podemos encontrar ejemplos sobre el impacto de los sistemas de ahorro modernos en acuíferos y aguas superficiales de tipo descriptivo en el resto del mundo, como por ejemplo para el caso de India y Pakistán (Batchelor *et al.*, 2014), o para

Túnez y Marruecos (Kuper *et al.*, 2015). Este tipo de análisis descriptivo que va creciendo en importancia en la literatura.

6. Conclusiones

La revisión de literatura realizada para este capítulo permite afirmar que existe una abundante evidencia que muestra cómo la modernización de regadío de «primera generación» (sustitución de sistemas de riego por superficie tradicionales por sistemas por aspersión y goteo) podría producir un efecto rebote si no se toman medidas de control adecuadas, fundamentalmente un recorte de las concesiones y la prohibición de aumento de superficie regada. Efectivamente, a pesar de que el agua usada disminuye considerablemente por la mejora de la eficiencia técnica del riego, la cantidad de agua realmente consumida y la consecuente presión sobre las masas de agua de la cuenca pueden incrementarse en determinadas circunstancias. En cualquier caso, la ocurrencia o no de este efecto de la modernización dependen de las características propias de cada actuación, por lo que es un error pensar que el efecto rebote sea una consecuencia siempre de la modernización de regadíos.

Las causas del efecto rebote están claramente identificadas:

- a) El incremento del consumo de agua por los cultivos, fruto de la sustitución de cultivos extensivos (cereales de invierno, oleaginosas) por otros de mayor valor añadido y mayores necesidades hídricas (maíz, doble cosecha, hortícolas, cítricos, etc.).
- b) El incremento de la superficie regada empleando los «ahorros» de agua usada producto de la mejora de la eficiencia técnica.
- c) La reducción de flujos de retorno reutilizables en la situación previa a la modernización.

La actividad académica recogida en la literatura parece haberse centrado fundamentalmente en los casos particulares donde estas circunstancias se han dado de manera más intensa, al objeto de evidenciar la existencia de la paradoja de Jevons. Podría decirse que, de forma consciente o inconsciente, buena parte de las evidencias procedentes en este ámbito han actuado como ‘abogado de parte’, generalizando a partir de los casos particulares hechos que determinados autores/organizaciones interesaban destacar. Desgraciadamente,

muchos de estos casos se han apoyado en casos de estudios españoles, algunos muy particulares y no generalizables, obviando o ignorando la evidencia de casos donde no hay 'efecto rebote', dando la falsa impresión que el conjunto de la política de modernización de regadío en España ha sido perjudicial para el buen estado de las masas de agua y que la modernización no debería ser una actuación a contemplar en los programas de medidas de los planes hidrológicos al objeto de alcanzar el objetivo del buen estado de las mismas.

En cualquier caso, la literatura también muestra que la posibilidad de ocurrencia del efecto rebote puede reducirse a cero si se aplican correctamente una serie de medidas preventivas:

- a) Revisión de los derechos concesionales a los regadíos modernizados, al objeto de mantener constante el agua consumida por los cultivos.
- b) Prohibición de aumento de la superficie regada usando los «ahorros» de agua usada fruto de la modernización.
- c) Priorización de actuaciones de modernización en zonas regables situadas en las colas de las cuencas (menores flujos de retorno reutilizables) en relación a las de cabecera.

Por tanto, se recomienda que las actuaciones de modernización vengán acompañadas de mecanismos de control de las extracciones de agua y de expansión de la superficie regada. La clave para la política es entender la diferencia entre reducción de la presión (agua usada) y reducción del impacto (agua consumida). Estas recomendaciones para asegurar el ahorro efectivo de agua ya han sido recogidas por la nuevo reglamento comunitario de desarrollo rural, donde se incluye como condición de elegibilidad de las medidas de modernización de regadíos financiadas a través del FEADER la reducción efectiva del uso de agua de al menos el 50 % del ahorro potencial resultante de la modernización cuando se vean afectadas masas de agua (véase capítulo 3 de este libro).

Finalmente, cabe destacar que las consecuencias de la modernización en el sistema agrario son multidimensionales, la mayoría de ellas muy positivas: mejora de las condiciones sociales, aumento de la productividad del trabajo, incremento de la eficiencia en el uso del agua riego y con ello su productividad marginal y la del resto de factores. Esta circunstancia provoca que la demanda de agua de riego se vuelva más inelástica. Por tanto, en regadíos modernizados

la tarificación del agua se vuelve menos efectiva para reducir el uso del agua de riego. Esto es relevante en el contexto de la sugerencia de la Comisión Europea (2012) de usar la tarificación de agua como incentivo contra el efecto rebote causado por la modernización. Por otra parte, una consecuencia preocupante es el impacto de la modernización en el aumento del consumo energético, que se ha tratado en el capítulo 9 de este libro. Al objeto de minimizar este coste para los regantes y para el conjunto de la sociedad (aumento de emisiones de carbono), parte del aumento del consumo energético podría evitarse con un mejor diseño de las redes (reducción del coste para los regantes), y el resto podría generarse a partir de energías renovables (reducción de las emisiones de carbono). En cualquier caso, es necesario tener en cuenta estos efectos sobre el consumo de energía para tener una visión completa de los impactos de la modernización.

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación proporcionada por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través de los proyectos de investigación EVAMODRE (AGL2014-53417-R) y MERCAGUA (AGL2013-48080-C2-1-R).

Referencias bibliográficas

- ADAMSON, D. y LOCH, A. (2014): «Possible negative feedbacks from ‘gold-plating’ irrigation infrastructure»; *Agricultural Water Management* 145; pp. 134-144. doi:10.1016/j.agwat.2013.09.022.
- AHMAD, M. U. D.; MASIH, I. y GIORDANO, M. (2014): «Constraints and opportunities for water savings and increasing productivity through resource conservation technologies in Pakistan»; *Agriculture, Ecosystems & Environment* 187; pp. 106-115. doi:10.1016/j.agee.2013.07.003.
- AHMADZADEH, H.; MORID, S.; DELAVAR, M. y SRINIVASAN, R. (2016): «Using the SWAT model to assess the impacts of changing irrigation from surface to pressurized systems on water productivity and water saving in the Zarrineh Rud catchment»; *Agricultural Water Management* 175; pp. 15-28. doi:10.1016/j.agwat.2015.10.026.

- ALCOTT, B. (2005): «Jevons' paradox»; *Ecological Economics* 54(1); pp. 9-21. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.03.020.
- BATCHELOR, C.; REDDY, V. R.; LINSTAD, C.; DHAR, M.; ROY, S.; y MAY, R. (2014): «Do water-saving technologies improve environmental flows?»; *Journal of Hydrology* 518; pp. 140-149. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.11.063.
- BAZZANI, G. M.; DI PASQUALE, S.; GALLERANI, V. y VIAGGI, D. (2004): «Irrigated agriculture in Italy and water regulation under the European Union Water Framework Directive»; *Water Resources Research* 40; W07S04. doi:10.1029/2003WR002201.
- BERBEL, J. y GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2000): «The impact of water-pricing policy in Spain: An analysis of three irrigated areas»; *Agricultural Water Management* 43(2); pp. 219-238. doi:10.1016/s0378-3774(99)00056-6.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.
- BERBEL, J. y MATEOS, L. (2014): «Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model»; *Agricultural Systems* 128; pp. 25-34. doi:10.1016/j.agsy.2014.04.002.
- BONTEMPS, C. y COUTURE, S. (2002): «Irrigation water demand for the decision maker»; *Environment and Development Economics* 7(4); pp. 643-657. doi:10.1017/s1355770x02000396.
- BURT, C. M.; CLEMMENS, A. J.; STRELKOFF, T. S.; SOLOMON, K. H.; BLIESNER, R. D.; HARDY, L. A.; HOWELL, T. y Eisenhauer, D. E. (1997): «Irrigation performance measures: efficiency and uniformity»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123(6); pp. 423-442. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(1997)123:6(423)11.
- COMISIÓN EUROPEA (2012): «Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa»; *COM(2012) 673 final*. Bruselas, Comisión Europea.
- CONTOR, B. A. y TAYLOR, R. G. (2013): «Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use»; *Irrigation and Drainage* 62(3); pp. 273-280. doi:10.1002/ird.1717.

- DAGNINO, M. y WARD, F. A. (2012): «Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications»; *International Journal of Water Resources Development* 28(4); pp. 577-600. doi:10.1080/07900627.2012.665801.
- DE FRAITURE, C. y PERRY, C. (2007): «Why is agricultural water demand unresponsive at low price ranges»; en MOLLE, F. y BERKOFF, J., eds.: *Irrigation water pricing: The gap between theory and practice*. Wallingford (Reino Unido), CAB International; pp. 94-107.
- DINAR, A.; POCHAT, V. y ALBIAC, J., eds. (2015): *Water pricing experiences and innovations*. Cham (Suiza), Springer.
- DUMONT, A.; MAYOR, B. y LÓPEZ-GUNN, E. (2013): «Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernisation process in Spain»; *Aquatic Procedia* 1; pp. 64-76. doi:10.1016/j.aqpro.2013.07.006.
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (2012): *Towards efficient use of water resources in Europe*. Luxemburgo, EEA.
- ELLIS, J. R.; LACEWELL, R. D. y RENEAU, D. R. (1985): «Estimated economic impact from adoption of water-related agricultural technology»; *Western Journal of Agricultural Economics* 10(2); pp. 307-321.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, I.; MONTESINOS, P.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E. y BERBEL, J. (2012): *Efectos de la modernización de regadíos en el uso del agua y de la energía en comunidades de regantes de Andalucía*. Comunicación presentada en SIAGA 2012, VIII Simposio del agua en Andalucía, Cádiz.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E.; MONTESINOS, P. y BERBEL, J. (2014): «Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts»; *Agricultural Systems* 131; pp. 56-63. doi:10.1016/j.agsy.2014.08.002.
- GARCÍA-GARIZÁBAL, I. y CAUSAPÉ, J. (2010): «Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows»; *Journal of Hydrology* 385(1); pp. 36-43. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.002.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; ORTEGA-REIG, M. V. y AVELLÁ-REUS, L. (2013): «Irrigation associations coping with drought: the case of four irrigation districts in Eastern Spain»; en SCHWABE, K.; ALBIAC MURILLO, J.; CONNOR, J. D.; HASSAN, R. M. y MEZA GONZÁLEZ, L., eds.: *Drought in arid and semi-arid regions*. Dordrecht (Países Bajos), Springer; pp. 101-122.

- GARCÍA-VILA, M.; FERERES, E.; MATEOS, L.; ORGAZ, F. y STEDUTO, P. (2009): «Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop»; *Agronomy Journal* 101(3); pp. 477-487. doi:10.2134/agronj2008.0179s.
- GÓMEZ-GÓMEZ, C. M. y PÉREZ-BLANCO, C. D. (2014): «Simple myths and basic maths about greening irrigation»; *Water Resources Management* 28(12); pp. 4035-4044. doi:10.1007/s11269-014-0725-9.
- GRAVELINE, N.; MAJONE, B.; VAN DUINEN, R. y ANSINK, E. (2014): «Hydro-economic modeling of water scarcity under global change: an application to the Gállego river basin (Spain)»; *Regional Environmental Change* 14(1); pp. 119-132. doi:10.1007/s10113-013-0472-0.
- GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. y GÓMEZ-GÓMEZ, C. M. (2011): «Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1009-1020. doi:10.5424/sjar/20110904-514-10.
- HEUMESSER, C.; FUSS, S.; SZOLGAYOVÁ, J.; STRAUSS, F. y SCHMID, E. (2012): «Investment in irrigation systems under precipitation uncertainty»; *Water Resources Management* 26(11); pp. 3113-3137. doi:10.1007/s11269-012-0053-x.
- HUFFAKER, R. (2008): «Conservation potential of agricultural water conservation subsidies»; *Water Resources Research* 44(7); W00E01. doi:10.1029/2007WR006183.
- JACKSON, T. M.; KHAN, S. y HAFEEZ, M. (2010): «A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1477-1485. doi:10.1016/j.agwat.2010.04.013.
- KAHIL, M. T.; ALBIAC, J.; DINAR, A.; CALVO, E.; ESTEBAN, E.; AVELLA, L. y GARCÍA-MOLLA, M. (2016): «Improving the performance of water policies: Evidence from drought in Spain»; *Water* 8(2); p. 1-15. doi:10.3390/w8020034.
- KUPER, M.; FAYSSE, N.; HAMMANI, A.; HARTANI, T.; MARLET, S.; HAMA-MOUCHE, F. y AMEUR, F. (2015): «Liberation or anarchy? The Janus nature of groundwater use on North Africa's new irrigation frontiers»; en JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J. D. y ROSS, A., eds.: *Integrated groundwater management: concepts, approaches and challenges*. Dordrecht (Países Bajos), Springer; pp. 583-615.

- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010a): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1663-1675. doi:10.1016/j.agwat.2010.05.023.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010b): «Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality. A conceptual approach»; *International Journal of Water Resources Development* 26(2); pp. 265-282. doi:10.1080/07900621003655734.
- LI, H. y ZHAO, J. (2016): *Rebound effect of irrigation technologies? The role of water rights*. Comunicación presentada en 2016 Agricultural & Applied Economics Association's Annual Meeting. Boston (EEUU).
- LOCH, A. y ADAMSON, D. (2015): «Drought and the rebound effect: A Murray–Darling Basin example»; *Natural Hazards* 79(3); pp. 1429-1449. doi:10.1007/s11069-015-1705-y.
- LÓPEZ-GUNN, E.; MAYOR, B. y DUMONT, A. (2012): «Implications of the modernization of irrigation systems»; en DE STEFANO, L. y LLAMAS, M. R., eds.: *Water, agriculture and the environment in Spain: Can we square the circle*. Leiden (Países Bajos), CRC Press/Balkema; pp. 241-255.
- LLOP, M. (2008): «Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input–output analysis»; *Ecological Economics* 68(1); pp. 288-294. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.03.002
- MARM (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO) (2010): *Estrategia Nacional para la modernización sostenible de los regadíos H2015. Informe de sostenibilidad ambiental*. Madrid, MARM.
- MOLLE, F. y BERKOFF, J., eds. (2007): *Irrigation water pricing policy: The gap between theory and practice*. Wallingford (Reino Unido), CAB International.
- PETERSON, J. M. y DING, Y. (2005): «Economic adjustments to groundwater depletion in the High Plains: Do water-saving irrigation systems save water?»; *American Journal of Agricultural Economics* 87(1); pp. 147-159. doi:10.1111/j.0002-9092.2005.00708.x.
- PFEIFFER, L. y LIN, C. Y. C. (2014): «Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence»; *Journal of Environmental Economics and Management* 67(2); pp. 189-208. doi:10.1016/j.jeem.2013.12.002.

- QUINTANA ASHWELL, N. E. y PETERSON, J. M. (2015): «The impact of irrigation capital subsidies on common-pool groundwater use and depletion: Results for western Kansas»; *Water Economics and Policy* 1(3); 1550004. doi:10.1142/S2382624X15500046.
- QURESHI, M. E.; SCHWABE, K.; CONNOR, J. y KIRBY, M. (2010): «Environmental water incentive policy and return flows»; *Water Resources Research* 46(4); W04517. doi:10.1029/2008WR007445.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2011): «The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1000-1008. doi:10.5424/sjar/20110904-492-10.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2012): «Modernizing water distribution networks: Lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain»; *Outlook on Agriculture* 41(4); pp. 229-236. doi:10.5367/oa.2012.0105.
- SCOTT, C. A.; VICUÑA, S.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I.; MEZA, F. y VARELA-ORTEGA, C. (2014): «Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience»; *Hydrology and Earth System Sciences* 18(4); pp. 1339-1348. doi:10.5194/hess-18-1339-2014.
- SCHEIERLING, S. M.; LOOMIS, J. B. y YOUNG, R. A. (2006): «Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities»; *Water Resources Research* 42(1). doi:10.1029/2005WR004009.
- SCHEIERLING, S. M.; YOUNG, R. A. y CARDON, G. E. (2006): «Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic, and economic assessment»; *Water Resources Research* 42(3); W03428. doi:10.1029/2004WR003809.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCÓN, F. y MARTÍN-GORRIZ, B. (2013): «Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain»; *Agricultural Water Management* 124; pp. 11-19. doi:10.1016/j.agwat.2013.03.019.
- TÖRNQVIST, R. y JARSJÖ, J. (2012): «Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments»; *Water Resources Management* 26(4); pp. 949-962. doi:10.1007/s11269-011-9819-9.

- UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME) (2012): *Measuring water use in a green economy. A report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*. New York, UNEP.
- UPENDRAM, S.; WIBOWO, R. y PETERSON, J. M. (2015): *Irrigation technology upgrade and water savings on the Kansas High Plains aquifer*. Comunicación presentada en Southern Agricultural Economics Association's 2015 Annual Meeting, Atlanta (EEUU).
- WANG, T.; PARK, S. C. y JIN, H. (2015): «Will farmers save water? A theoretical analysis of groundwater conservation policies»; *Water Resources and Economics* 12; pp. 27-39. doi:10.1016/j.wre.2015.10.002.
- WARD, F. A. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2008): «Water conservation in irrigation can increase water use»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(47); pp. 18215-18220. doi:10.1073/pnas.0805554105.
- WHEELER, S.; BJORNLUND, H.; SHANAHAN, M. y ZUO, A. (2008): «Price elasticity of water allocations demand in the Goulburn-Murray Irrigation District»; *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 52(1); pp. 37-55. doi:10.1111/j.1467-8489.2008.00416.x.
- WHITTLESEY, N. K. (2003): «Improving irrigation efficiency through technology adoption: When will it conserve water?»; *Developments in Water Science* 50; pp. 53-62. doi:10.1016/S0167-5648(03)80007-2.
- WWF ESPAÑA. (2015): *Modernización de Regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*. Madrid, WWF España.

IV. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA MODERNIZACIÓN

Ahorro de agua y consumo de energía en la modernización de regadíos

Emilio Camacho Poyato, Juan Antonio Rodríguez Díaz y Pilar Montesinos Barrios

Universidad de Córdoba

1. Introducción

El agua es un recurso natural básico para el desarrollo económico y social, así como para el mantenimiento de la integridad del entorno natural actual y futuro, de cualquier país. Existe una gran incertidumbre en cuanto a la disponibilidad de este recurso para satisfacer las demandas de agua requeridas en la producción de alimentos, energía, usos humanos y a su vez mantener el ecosistema. La población mundial está en continuo crecimiento y por tanto, la perspectiva mundial de consumos de alimentos también sufrirá una importante progresión. Este hecho se agrava con el impacto del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos. La población mundial actual es de unos 7.376 millones de personas (2015) y se prevé un crecimiento exponencial hasta alcanzar los 8.300 millones de personas en el año 2030, 9.600 millones en 2050 y los 10.900 millones para 2100 (UNDESA, 2012). Así mismo, la demanda de alimentos sufrirá un incremento importante, que se estima será del 50 % para el 2030 y del 70 % en 2050 (Bruinsma, 2009).

Dadas las necesidades de intensificación de la producción de alimentos, es necesaria una mejora de la gestión integral de la agricultura, tanto a nivel tecnológico, como de mejora de semillas, fertilizantes, en el riego, o incluso en la distribución, que abastezca las necesidades de esta población creciente y le proporcione la calidad y la seguridad alimentaria necesarias.

A escala mundial, la agricultura de regadío es la responsable del 70 % del uso de agua dulce. Este sector ocupa el 20 % del total de superficie cultivada, sin embargo genera el 40 % de la producción total de alimentos. Existe gran diferencia entre la productividad de los cultivos de secano y de regadío a escala mundial, siendo estos últimos 2,7 veces más productivos (UNDESA, 2012). La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación la Agricultura (FAO) estima que existe una superficie equipada para el riego de 307,6 millones de ha de las cuales se riegan 255,2 millones (Bruinsma, 2003).

Parte de la superficie de regadío a escala mundial ha sido modernizada o lo será en los próximos años. La modernización en el regadío permite por un lado mejorar la productividad del agua de riego, incrementando la producción de alimentos por volumen de agua aplicado, así como mejorar el desarrollo del mundo rural y contribuir a la conservación de los recursos naturales, garantizando el uso sostenible del recurso.

1.1. El concepto de modernización

El concepto de modernización ha ido evolucionando. Inicialmente, la modernización del regadío se entendía como la ejecución y mejora de infraestructuras y equipamientos de las zonas regables, es decir una actualización técnica. Posteriormente, se ha puesto de manifiesto la necesidad de ligar la modernización de un regadío con la mejora de su gestión. Para ello, se deben implementar sistemas de control, automatización y asesoramiento especializado. Esta etapa constituye la segunda modernización. La gestión, la incorporación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y sobre todo el asesoramiento y la formación son aún tareas pendientes.

La modernización debe de tener como objetivo final una mejora en la gestión del agua de riego para lo cual se debe contar con un sistema flexible, es decir que permita el riego en cualquier momento, se debe suministrar agua a todos por igual y además en las cantidades necesarias para sus cultivos y por último se debe garantizar el suministro de agua. A las anteriores características es importante añadirle otra: el sistema modernizado debe ser eficiente, esto es, suministrará el agua necesaria sin apenas pérdidas. Este último aspecto es el que le interesa especialmente a la Administración y de hecho es frecuente que aparezca en cada caso, en el boletín oficial que le corresponda al organismo financiador, el volumen de agua que se pretende ahorrar con la modernización.

Con la reforma del sistema de distribución y los nuevos métodos de riego, como es el riego localizado, aumentan las eficiencias de distribución en la red y de aplicación del agua de riego en parcela. Sin embargo, eso no significa que en la zona regable modernizada se vaya a reducir el volumen de agua de riego y se requiera una menor dotación. Es posible incluso que aumente o que se mantenga la dotación antigua, ya que en el caso de que se disponga de agua la mayor parte del año (lo que debe entenderse como un resultado de la propia modernización), los cultivos existentes serían diferentes, pudiendo existir en algunas zonas hasta dos cosechas al año.

Respecto a los costes que la modernización supone para el agricultor podemos considerar los de amortización de las obras a las que debe hacer frente y nuevos costes como son los energéticos y los de mantenimiento, pudiendo ser algunos de ellos elevados.

Lo que sí parece fundamental es implicar al usuario en el uso racional del agua y, en cualquier caso, el pago según el volumen consumido redundará en un mejor uso del recurso.

La mejora en la gestión del agua de riego puede alcanzarse de varias formas (Camacho, 2005):

- Una simple rehabilitación, consistente en renovar las infraestructuras de tipo físico, ya sea reparando o manteniendo las existentes o construyendo nuevas.
- Procesos de mejora, como la adopción de nuevos métodos de riego, de servicios de asesoramiento al riego, etc.

La modernización en su conjunto consiste en actuaciones más complejas, pues implican cambios fundamentales tanto en la gestión del agua como en las infraestructuras. Por tanto, una modernización se puede definir como una actualización técnica y de manejo de las zonas regables que tiene como objetivos mejorar el uso de los recursos (agua, mano de obra, financieros, ambientales etc.) y, sobre todo, distribuir y repartir el agua a los usuarios con criterios de calidad en el servicio. Llegado a este punto cabe realizarse la siguiente pregunta: ¿por qué ha sido importante la modernización de regadíos? La respuesta es clara: en nuestras condiciones climáticas, donde el recurso agua es escaso, es muy importante tener un buen manejo, ya que la competitividad por dicho recurso es y será cada vez mayor. Pero es relevante saber que la modernización no es una acción simple, sino que requiere tanto de cambios estructurales como de manejo. Por ello, es importante dar un buen servicio de reparto de agua a los usuarios y, aunque esto no implica necesariamente el uso de equipos sofisticados, es esencial el conocimiento de las opciones más apropiadas para cada caso.

1.2. Los planes de modernización en España

En España, el uso de agua en la agricultura supone algo menos de un 80 % de la demanda total de agua, la mayor parte destinada a la agricultura de regadío. A escala nacional, la superficie de riego ocupa el 20 % de la superficie agraria útil y sin embargo aporta más del 50 % del producto bruto agrícola, lo que supone 6 veces más que la producción unitaria de secano (MAGRAMA, 2012). Consecuencia del elevado volumen de agua requerido por el sector, sus externalidades comerciales y las exigencias de la UE en cuanto a la sostenibilidad de la agricultura en general, y del regadío en particular, y al cumplimiento de la directiva marco de política de aguas se ha obligado a emprender un proceso de modernización en los regadíos españoles. De esta manera el gobierno español aprobó el Plan Nacional de Regadíos (PNR) hasta el horizonte 2005 por Real Orden del 14 de Marzo de 1996 (BOE, 1996) «como instrumento de consolidación del sistema agroalimentario español y factor básico para un uso eficiente de los recursos hídricos y de equilibrio interterritorial». Posteriormente, fue aprobado el PNR horizonte 2008 en el Real Decreto 329/2002 (BOE, 2002a). El objetivo principal de este PNR fue aumentar la competitividad de las explotaciones de regadío y el ahorro de agua. Este PNR fue reforzado con un Plan de Choque (PCH) de Modernización de Regadíos 2006-2008 (BOE, 2006). El PCH tenía como objetivo «garantizar una mejor gestión de los recursos hídricos y paliar los daños producidos por la sequía padecida en los años 2004 y 2005. Este plan, refuerzo del PNR, consiguió la mejora y consolidación de una superficie de 866.898 hectáreas y supuso un ahorro anual de 1.162 hm³ en el consumo de agua».

En su conjunto, el proceso de modernización en todos estos planes consistió en la mejora de la eficiencia técnica del riego mediante actuaciones sobre las infraestructuras y la gestión de las zonas regables. Las actuaciones más generalizadas consistieron principalmente en la sustitución de los canales abiertos por redes de riego a presión, construcción de balsas de regulación que flexibilicen el riego, adecuación de estaciones de bombeo y filtrado, así como la automatización y control del agua de riego, de forma que permitiera una mejora en la gestión sostenible de los recursos.

Partiendo de los logros y debilidades alcanzados con los diferentes planes de actuación y con el propósito de alcanzar el objetivo ecológico demandado por la DMA (horizonte 2015), se desarrolló el borrador de la «Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos Horizonte 2015»

(ENMSRH 2015), sin embargo nunca se llegó a aprobar. El objetivo principal de esta estrategia era el fomento de la sostenibilidad del regadío español, mediante el ahorro del agua, la transferencia de tecnología, el fomento de la utilización de los recursos hídricos alternativos, la eficiencia energética, la mejora de la renta agraria y la creación de puestos de trabajo adicionales (MAGRAMA, 2013). En la actualidad se desconoce cuál es la estrategia nacional en la planificación del regadío.

Por tanto, las actuaciones ejecutadas dentro del PNR horizonte 2005 y PNR horizonte 2008, junto con el PCH, están marcando el presente y futuro del regadío, pero siempre tratando de mejorar la competitividad de sus explotaciones.

2. La verdadera modernización

El análisis de la modernización es complejo porque requiere equipos multidisciplinares con conocimientos adecuados y capaces de evaluar los impactos sociales, económicos y ambientales que tienen los proyectos de modernización de zonas regables.

En un proceso de modernización se pueden distinguir diversas fases:

- La primera de ellas consiste en la identificación de la situación presente. Para ello, los indicadores de gestión constituyen una herramienta muy válida para analizar la situación de una zona regable.
- La segunda fase se centra en definir los objetivos. En cualquier modernización podrían ser: aumentar la eficiencia de riego, mejorar la productividad del uso del agua y que el proyecto sea sostenible ambiental y económicamente.
- La tercera fase se ocupa de desarrollar un plan de modernización y, por último, de implementar progresivamente el citado plan. Ahora bien, la modernización debe finalizarse al igual que comenzó, es decir, evaluando, mediante técnicas apropiadas como los indicadores de gestión, la repercusión de la misma y el grado de cumplimiento de los objetivos fijados inicialmente, y continuar haciendo el seguimiento.

Indudablemente la modernización conlleva unos beneficios potenciales entre los que podemos destacar:

- Incremento de la intensidad de cultivo al disponer del agua casi todo el año.
- Mejora de la producción por unidad de área.
- Posibilidad de implantar nuevos cultivos al existir un sistema mucho más flexible en el reparto y uso del agua.
- Posibilita la automatización.
- Reduce la degradación ambiental al usar los recursos, fundamentalmente agua, de una forma más racional.

Como se deduce de los posibles beneficios de la modernización, con ella se pasa de un simple uso del agua a una gestión similar a la de un moderno proceso industrial donde existe un control del agua, un inventario de la misma y una contabilidad por su uso.

Pese a los innumerables beneficios que conlleva, hay ciertas dificultades que obligan a un profundo conocimiento del proceso de modernización. Hay que tener en cuenta que cada proceso es diferente y que se requieren equipos multidisciplinares con amplios conocimientos agronómicos e hidráulicos. Es necesario salir al campo y conocer físicamente la zona regable y en ningún momento subestimar los detalles, ya que en ellos se puede enmascarar, precisamente, el fracaso de nuestro proyecto. Se deben tener en cuenta, además, los aspectos técnicos relacionados con las instalaciones, como son: disponibilidad de especialistas, mantenimiento técnico de los equipos, etc.

El coste del proceso de modernización supone una traba importante. Pese al presumible ahorro de agua, se produce una reestructuración de los costes, aumentando los energéticos y apareciendo nuevos costes de amortización de obras y de mantenimiento y personal especializado. Existen también, en determinados casos, limitaciones de carácter social si no se dispone de mano de obra en la zona o si esta resulta excesivamente costosa. Respecto a las limitaciones administrativas, los diferentes planes de modernización, centrales o autonómicos, tratan de evitar cualquiera de estas limitaciones. No obstante, el precio de la tierra sube considerablemente y los ingresos aumentan ostensiblemente al final del proceso.

La Administración debe vigilar, como financiadora parcial de muchos procesos de modernización, el cumplimiento exacto de todo el proceso y velar para que las soluciones técnicas adoptadas estén en consonancia con las características económicas, sociales y de toda índole de la zona regable. Son

frecuentes las situaciones en las que se proponen sistemas de telecontrol, sistemas de filtrado o sistemas de gestión que al cabo de un tiempo no funcionan o económicamente no resultan sostenibles por parte de la comunidad de regantes. Estos y otros aspectos deben tenerse en cuenta en su momento y no dejarse llevar por modas o por cuestiones comerciales. Siempre debe considerarse la opinión de los usuarios que, a la larga, serán los que deben soportar los resultados de la modernización. Tampoco se deben instalar equipos solo por aprovechar la financiación que concede la Administración independientemente de si se van a utilizar o no.

Finalmente, es importante señalar que la modernización debe entenderse como un proceso continuo orientado a encontrar las fórmulas idóneas en la gestión del agua de riego.

3. Relación agua y energía

Existe una fuerte relación entre los recursos agua y energía. Desde tiempos inmemorables se han utilizado las corrientes de los ríos para aprovechar su energía y esta, entre otras cosas, para el transporte del propio recurso. Esta relación se ha ido intensificando a medida que la tecnología ha ido evolucionando, hasta el punto de que en la sociedad actual el agua es necesaria para la generación de energía, y esta última imprescindible para tratar, calentar y transportar el agua. El empleo intensivo de agua y energía se da en cualquier actividad urbana, industrial o agrícola (Jebaraj e Iniyani, 2006). Consecuentemente, entre los sectores del agua y la energía, existen grandes sinergias y también importantes conflictos.

A nivel mundial, el 8 % de las extracciones de agua dulce tienen como finalidad la producción de energía (petróleo, carbón, centrales nucleares, hidroeléctricas, termosolares, etc.). En la Unión Europea este valor se eleva al 44 % de las extracciones de agua dulce. Se estima que la demanda mundial de energía primaria se incrementará en un 70 % hasta 2030 (IEA, 2010) sufriendo un complementario y significativo aumento de la demanda de agua. Por su parte, los procesos relacionados con el uso del agua, como la captación, tratamiento y transporte requieren de importantes cantidades de energía. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de mejorar la eficiencia en el nexo agua-energía, siendo esencial para el desarrollo económico, social y ambiental de cualquier sector.

Aunque el incremento de la demanda de ambos recursos parezca imparable, existen importantes oportunidades para mitigar los aspectos negativos. En primera instancia, es prioritario considerar la conservación del agua y la conservación de la energía conjuntamente (Hardy y Garrido, 2010). Además, hay una necesidad importante de identificar y ajustar las políticas, prácticas y percepciones para optimizar el uso de dichos recursos.

En la agricultura de regadío, el nexo agua-energía es considerado en términos de la energía requerida para la captación, transporte, y aplicación del agua para abastecer las necesidades de los cultivos e incrementar la productividad de los mismos. Por tanto, la demanda energética del sistema varía en función de la energía requerida en cada uno de esos procesos. La fuente principal de agua es superficial y supone el 68 % del total de agua extraída, seguida con un 28 % de las aguas subterráneas y en menor porcentaje del agua procedente de trasvases, desalación y aguas depuradas. La energía requerida en la captación varía significativamente en función de la fuente del recurso siendo el agua superficial la que tiene menos requerimientos energéticos ($0,06 \text{ kWh m}^{-3}$). La demanda energética va incrementándose en la medida que el agua requiere un transporte o tratamiento, llegando a alcanzar $3,7 \text{ kWh m}^{-3}$ cuando el agua es desalada (Corominas, 2009).

3.1. Relación entre la energía y el cultivo

La energía necesaria para el riego de un cultivo dependerá del volumen de agua elevado (V) y de la altura manométrica (H) aportada por la bomba:

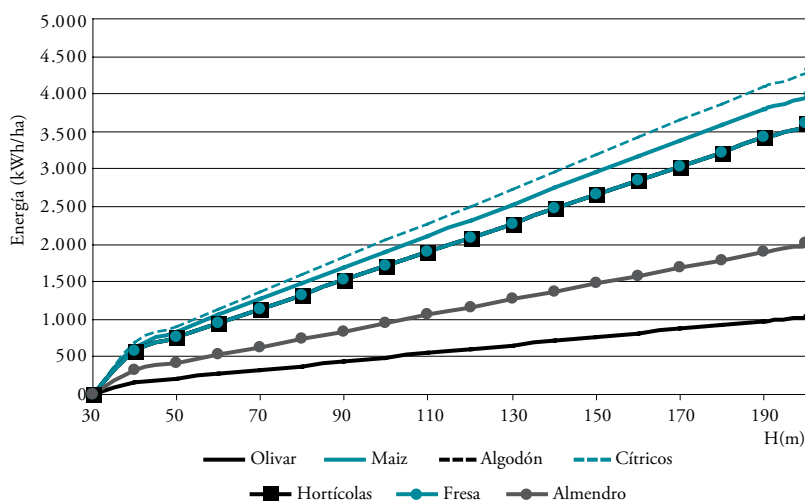
$$E = \frac{\gamma VH}{\eta} \quad [1]$$

Donde γ es el peso específico del agua y η es el rendimiento del bombeo y H la altura manométrica del sistema de bombeo. El volumen de agua de riego puede expresarse de la siguiente forma:

$$V = H_b S = \frac{H_n}{R_a} S \quad [2]$$

Siendo H_b la lámina bruta, S la superficie, H_n la lámina neta y R_a el rendimiento de aplicación. De esta forma la energía depende de la lámina neta, de la superficie de riego, de los rendimientos de riego y de la bomba y de la altura manométrica o requerimientos de presión. Al igual que es muy conocido en el ámbito del riego relacionar la dotaciones de agua con los cultivos, debemos también relacionar la energía necesaria con el cultivo. En el Gráfico 1 puede observarse la energía requerida para diferentes cultivos regados mediante riego localizado (se ha considerado la eficiencia global de 0,86 que considera el PHG para riego localizado) teniendo en cuenta las dotaciones netas previstas en el plan hidrológico del Guadalquivir (BOE, 2016).

Gráfico 1. Energía requerida según cultivo y altura de elevación. En kWh/ha



Puede considerarse un cultivo como gran consumidor de energía a partir de 1.500 kWh ha⁻¹, esto significa que la dependencia energética de la mayoría de los cultivos del Gráfico 1 alcanzan esta categoría desde los 90 m de altura de elevación.

3.2. Relación entre la energía y el método de riego

Como ya se ha comentado previamente, el principal objetivo de la modernización ha sido reducir el consumo de agua por medio de la mejora de la eficiencia en el uso del recurso. Dicha mejora se puede conseguir gracias

a la instalación de sistemas de distribución de agua con menores pérdidas y mediante sistemas de riego en parcela con mayor eficiencia de aplicación. Si incluimos la eficiencia en la distribución (E_d) y el rendimiento de aplicación (R_a) la lámina bruta (H_b) será:

$$H_b = \frac{H_n}{E_d R_a} \quad [3]$$

La eficiencia en la distribución y transporte hace referencia al porcentaje del agua que se toma de la fuente (río, embalse, acuífero, etc.) que finalmente llega a la toma en parcela. Por tanto, considera las pérdidas que se producen en la conducción del agua. Dicha eficiencia en canales abiertos oscila generalmente entre el 60 % y el 90 %, aunque depende de diversos factores tales como el mantenimiento, revestimiento o longitud de la conducción. Aun así, en canales con un buen mantenimiento raramente supera el 70-75 %. En redes de riego a presión, dichas pérdidas son mínimas y con un buen mantenimiento la eficiencia es habitualmente mayor del 90 %.

El rendimiento de aplicación del agua en parcela es la relación entre el agua que realmente consume o aprovecha el cultivo en evapotranspiración y el agua que se aplica con el riego. Este rendimiento depende de los sistemas de riego en parcela y del manejo que se hace de los mismos.

Generalmente las modernizaciones llevadas a cabo en los últimos años han consistido en la sustitución de sistemas de distribución mediante canales abiertos por redes de distribución mediante tuberías a presión. En la nueva situación, el riego por superficie ha sido sustituido por riego por aspersión o por riego localizado. En la Tabla 1 se muestra la mejora en la eficiencia global que supone el cambio de un sistema con red de canales y riego por superficie por otro con red a presión y aspersión o goteo en parcela. Las eficiencias consideradas en los planes hidrológicos han sido ligeramente superiores a las indicadas en esta Tabla y aunque potencialmente, sobre todo en el periodo punta, se puede llegar a dichos valores, sin embargo las eficiencias consideradas representan los valores que pueden alcanzarse a lo largo de la campaña.

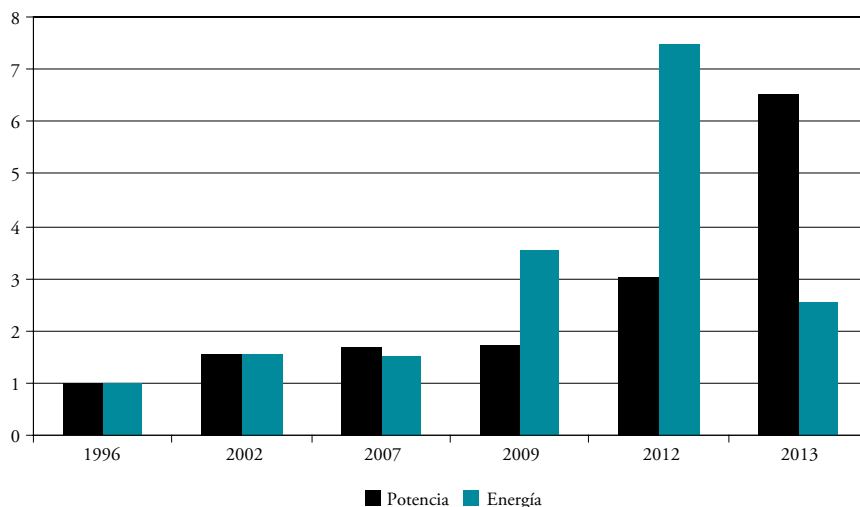
Pese a que los requerimientos energéticos son importantes en el regadío, preocupa en especial el coste del término de potencia. Dicho coste ha ido aumentando en los últimos años siendo hoy en día un limitante para el riego. Si consideramos como referencia el año 1996, cuando se inicia el primer Plan

Nacional de Regadíos, tanto el término de potencia como el de energía han ido experimentando un continuado aumento. En el año 2012 hay un fuerte incremento del precio de la energía y posteriormente una bajada, manteniéndose en similares valores en la actualidad. Todo lo contrario ha sucedido con el término de potencia el cual experimentó un aumento muy importante en agosto de 2013 y se mantiene actualmente.

Tabla 1. Eficiencia en la red de distribución (E_d) y del sistema de riego en parcela (R_a)

Red de distribución y sistema de riego	E_d (%)	R_a (%)	Eficiencia global (%)
Canales abiertos + Riego por superficie	80	70	56
Canales abiertos + Aspersión	80	75	60
Red a presión + Aspersión	90	75	68
Canales abiertos + Goteo	80	90	72
Red a presión + Goteo	90	90	81

Gráfico 2. Evolución del coste de energía y de la potencia (referencia 1996)



Por cada 1 L s⁻¹ bombeado se requiere 0,01225 kW de potencia, necesitándose hasta cuatro veces más potencia para riego por aspersión que para riego localizado. Cuando se diseñaron las modernizaciones se hicieron, en muchos casos, con caudales ficticios continuos propios del riego por aspersión con lo que las potencias de las estaciones de bombeo estaban muy

sobredimensionadas. Si a esto último le añadimos la subida del término de potencia en agosto de 2013, tenemos una situación insostenible por los altos costes de potencia.

La energía necesaria para el riego en parcela será, teniendo en cuenta las ecuaciones 1 y 2, la siguiente:

$$E = \frac{\gamma H_n S H}{\eta R_a} \quad [4]$$

El ahorro energético puede evaluarse por la diferencia entre los consumos de energía entre dos situaciones (E_2 y E_1).

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100 \quad [5]$$

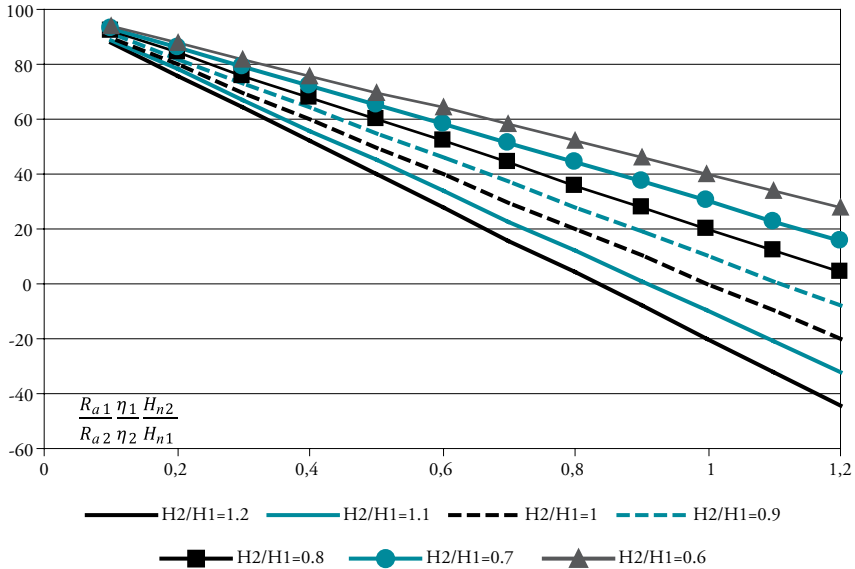
$$\Delta E = 100 \cdot \left[1 - \frac{R_{a1} \eta_1 H_{n2} H_2}{R_{a2} \eta_2 H_{n1} H_1} \right] \quad [6]$$

Si analizamos las ecuaciones anteriores se puede conseguir ahorro de energía a través de las siguientes acciones:

- Mejora de los rendimientos de las bombas (η).
- Mejora del rendimiento del riego (R_a).
- Reducción de la demanda neta (H_n).
- Reducción de las alturas manométricas a las que debe de funcionar la bomba (H).

La mejora del riego, tanto del rendimiento de aplicación como una adecuada programación y una mejora en el rendimiento de la estación de bombeo, proporciona ahorros energéticos considerables. Según la variación de la altura manométrica respecto a la situación inicial (H_2/H_1) podemos ahorrar o no (Gráfico 3).

Gráfico 3. Ahorro de energía según mejoras en el riego. En porcentaje



Simplemente la sustitución de un riego por aspersión con un rendimiento de aplicación del 70 % y unos requerimientos de presión de 45 m a riego localizado con un 90 % de rendimiento de aplicación y 30 m de requerimiento de presión suponen un ahorro energético de un 48 %.

La altura manométrica depende del desnivel topográfico que haya que salvar y de la presión requerida por el sistema de riego. Respecto al desnivel en la mayoría de los casos poco puede hacerse y dependerá del origen del agua y de la ubicación de la zona de riego.

No obstante, pueden considerarse diversas estrategias de gestión como puede ser el bombeo a depósitos de regulación en horas en las que la energía es más barata. Respecto a la altura de presión se pueden considerar métodos de riego con menos requerimientos de presión. La altura manométrica dependerá de:

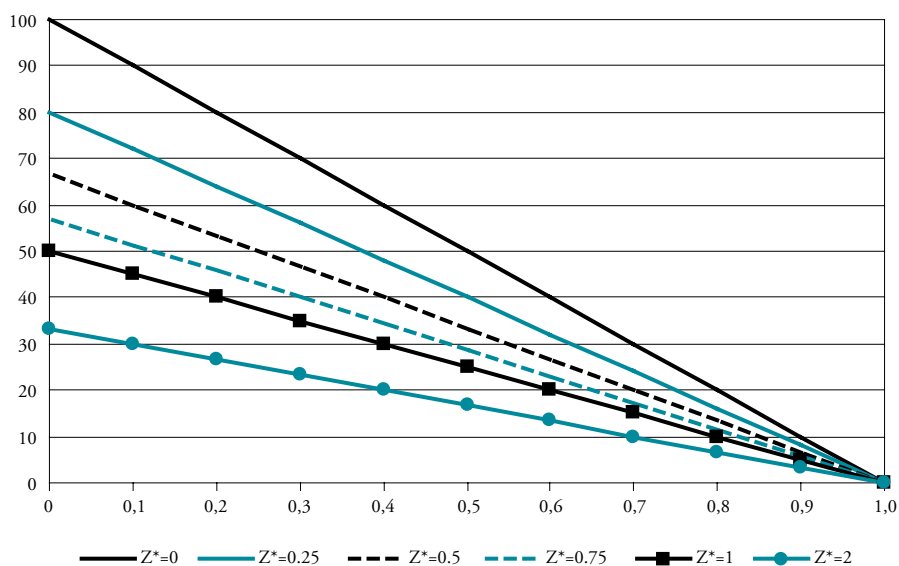
$$H = Z + 0.0102 \cdot P \quad [7]$$

Siendo Z el desnivel topográfico más las pérdidas de carga medidas en m y P la presión requerida por el método de riego en kPa. Si se define Z^* por la siguiente expresión:

$$Z^* = \frac{Z}{0.102 P_1} \quad [8]$$

Siendo P_1 la presión correspondiente al método de riego en la situación inicial la cual se pretende reducir a P_2 con objeto de ahorrar energía. En el Gráfico 4 podemos ver la influencia de la reducción de la presión (P_2/P_1). Cuando toda la altura manométrica se deba a la presión requerida por el sistema de riego ($Z^*=0$) se alcanza el máximo ahorro energético. En este caso reducir la presión implica alcanzar un ahorro energético en la misma cuantía. Sin embargo, esta influencia se reduce a medida que Z^* es mayor, es decir cuando existen altas elevaciones debido al desnivel de cota.

Gráfico 4. Influencia de presión y de la altura de elevación en el ahorro energético. En porcentaje



Queda de manifiesto la alta dependencia entre volumen de agua consumido y método de riego. Por tanto, cada cultivo tendrá unas necesidades energéticas diferentes, al igual que cada método de riego. En la Tabla 5 podemos ver para una dotación neta de $5.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y considerando un rendimiento del bombeo del 75 % las necesidades de energía para los métodos de riego más representativos.

Tabla 5. Necesidades energéticas según método de riego

Método	H (m)	Ra	E (kWh ha ⁻¹)	E (kWh m ⁻³)
Superficie	3	0.5	108.9	0.044
Aspersión	45	0.7	1166.7	0.333
Pivote	35	0.8	793.9	0.198
Localizado	30	0.9	604.9	0.134

Para que sirva de referencia la desalación de agua requiere entre 3 y 4 kWh m⁻³, la depuración de aguas residuales aproximadamente 0,7 kWh m⁻³ y la reutilización de aguas residuales 1,5 kWh m⁻³.

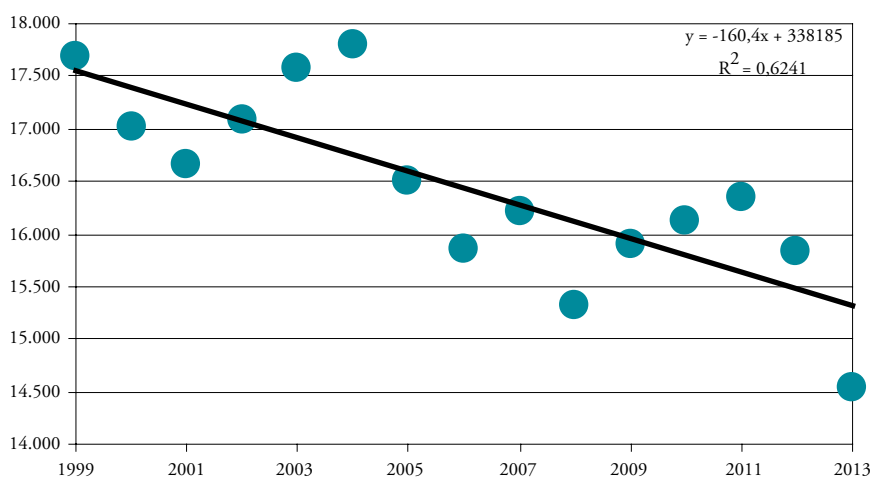
4. Efectos de la modernización

A mediados de la década pasada entraron en funcionamiento las primeras modernizaciones de riego y desde entonces se tiene información de las repercusiones que han tenido las mismas en el uso del agua. Sin embargo y pese a la trascendencia que las actuaciones de modernización han tenido –elevadas inversiones públicas, inversiones privadas de los agricultores para adaptar sus sistemas de riego a las nuevas exigencias, etc.– pocos estudios se han hecho para comparar las situaciones previa y posterior a la modernización. Fernández *et al.* (2013), García-Mollá *et al.* (2013) y Soto-García *et al.* (2013) concluyen que las extracciones de agua se reducen significativamente (en un rango entre un 25 % y un 45 %), y que el consumo de agua (evapotranspiración) no se incrementa. Estos trabajos también detectan otros efectos como el incremento significativo en los costes del agua debido al incremento en el consumo de energía en torno a un 50 % o 100 % más que antes y un significativo incremento de la productividad de todos los factores: tierra, trabajo y agua. Lopez-Gunn *et al.* (2012) hacen un análisis *a posteriori* de la modernización de sistemas de riego en España y analizan algunos casos donde han medido el consumo de agua antes y después de la modernización, contabilizando ahorros reales, pero en vez de reconocer este hecho, los autores usan los datos para argumentar que los ahorros han sido menores de lo esperado (aunque se han producido ahorros). Lecina *et al.* (2010), sin embargo, citan un pequeño aumento en el cultivo del maíz en la cuenca del Ebro, donde el riego por superficie y las redes de canales abiertos se transformaron en riego por aspersión y redes a presión. Una justificación razonable que puede explicar este hecho se debe al aumento de las pérdidas por deriva y evaporación que

en circunstancias adversas de viento y evapotranspiración pueden llegar a ser mayores del 20 % (Playan *et al.*, 2005; Tarjuelo *et al.*, 2000).

Desde que aparecen las primeras modernizaciones hay una tendencia clara a la disminución del uso del agua de riego; lógicamente existen variaciones interanuales que se deben a la variabilidad climática. Esta tendencia puede verse en el Gráfico 5 y se aprecia como la media de los usos agrarios desde 2005 hasta 2013, periodo considerado *post* a la modernización, han sido en torno a un 10 % inferiores a la media en el periodo de 1999-2004.

Gráfico 5. Evolución de los usos agrarios de agua. En hm³



Fuente: INE.

Otro impacto claro que ha tenido la modernización ha sido el cambio en el sistema de riego. Los riegos a presión son hoy en día los mayoritarios y ocupan entre el riego localizado y la aspersión un 73 % de la superficie de riego (Tabla 6) y han aumentado desde el año 2005 un 126 % y desde el año 1996 (inicio del PNR) un 180 %. Sin embargo, y pese a que el riego por superficie ha tenido una clara disminución, aún hoy representa solo él el 44 % del uso del agua, mientras que el riego localizado que es prácticamente la mitad de la superficie de riego solo representa el 24 % de los usos agrarios de agua.

Tabla 6. Evolución de la superficie según métodos de riego

Año	Superficie (%)	Aspersión (%)	Localizado (%)
1996	59	24	17
2005	42	24	34
2015	27	24	49

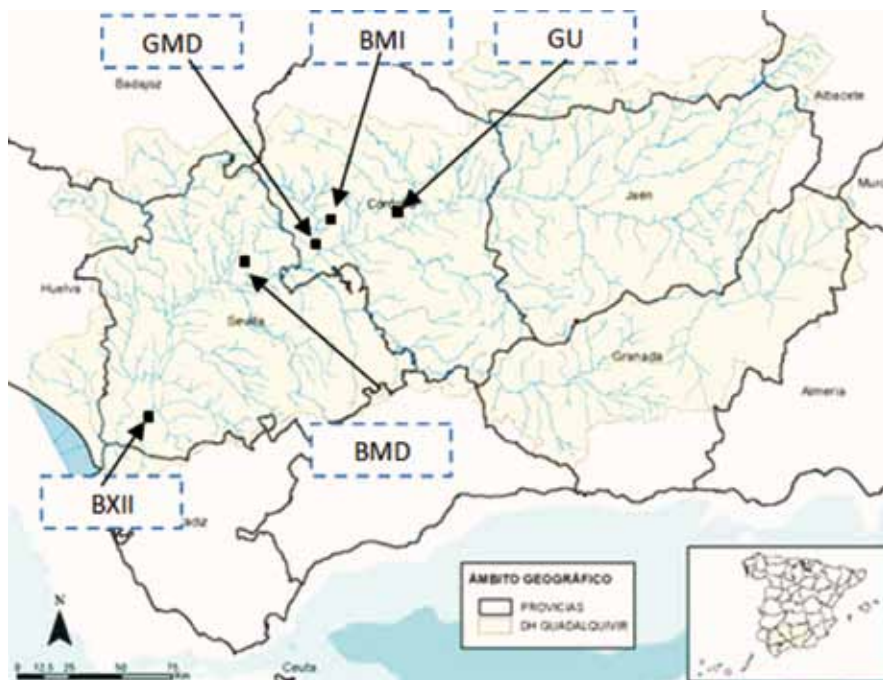
Fuente: MAGRAMA (2015).

Al igual que ha habido una clara especialización del regadío hacia métodos de riego donde se tiene un mayor control del agua y por tanto es fácil alcanzar mayores eficiencias también ha habido una clara especialización de los cultivos. Hoy día, olivar, cítricos, viñedo y frutales representan el 46 % de la superficie de riego, solo olivar y viñedo suponen el 30 %. El aumento de estos cultivos desde el año 2005 hasta el 2015 ha sido de un 123 %. Es importante señalar que este tipo de cultivos se adaptan muy bien las estrategias de riego deficitario.

4.1. Casos de estudio de modernización

Para analizar el impacto de la modernización considerando aspectos ambientales, agronómicos, técnicos y económicos se han seleccionado cinco comunidades de regantes que han experimentado la transformación de sus sistemas de riego, basados en conducciones libres, hacia sistemas a presión (Fernández *et al.*, 2014). Las comunidades de regantes analizadas fueron: Bembézar Margen Izquierda (BMI), Bembézar Margen Derecha (BMD), Sector BXII (BXII), Genil Margen Derecha (GMD) y Guadalquivir (GU) (Figura 1). En la actualidad, estas comunidades de regantes suman una superficie de riego de 38.285 ha, lo que supone el 11 % de la superficie modernizada en Andalucía. Todas pertenecen a la Cuenca del Guadalquivir, caracterizada por un clima mediterráneo, con temperaturas templadas en invierno y cálidas en verano y con precipitaciones escasas e irregulares, con una media de 595 mm anuales.

Figura 1. Situación de las comunidades de regantes estudiadas



Fuente: Adaptado de Fernández *et al.* (2014).

Antes de que se realizara la transformación de la red de riego, las infraestructuras de transporte y distribución del agua de las comunidades de regantes eran canales abiertos. Tras la modernización de estas, que ha supuesto una inversión total de 123,8 millones de euros (3.234,9 euros ha⁻¹ de media), tales infraestructuras han pasado a ser redes a presión. La modernización fue parcialmente subvencionada por la Administración que pagó en torno al 60 % de los costes de inversión que alcanzaron una media de 6.500 euros ha⁻¹. Las condiciones más destacables para obtener ayudas del gobierno eran:

- Asumir el resto del coste de inversión (40 %).
- Reducción de los derechos de agua desde los 8.000 previos a 6.000 m³ ha⁻¹.
- Instalación de contadores de agua y facturación por volumen usado.
- No se permite incrementar la superficie de riego.

Para el análisis del impacto de la modernización se analizaron las dos campañas siguientes:

- Campaña 2001/2002, correspondiente a la etapa en la cual todas las comunidades de regantes tenían sistemas de distribución de agua mediante conducciones libres.
- Campaña 2010/2011, asociada a la etapa en la que las comunidades de regantes ya se habían modernizado.

La campaña 2001/2002 se caracterizó hidrológicamente como normal, con una precipitación media de 601 mm mientras que la campaña 2010/2011 se consideró húmeda, con 851 mm de precipitación anual.

También se obtuvo una estimación sobre la posible evolución de la superficie de cultivos para el año 2020 según las previsiones de los técnicos de estas comunidades de regantes.

Los indicadores usados para la evaluación de la modernización están basados, en su mayoría, en los propuestos por el IPTRID (International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage) (Malano y Burton, 2001) y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2008) y por los usados por Rodríguez *et al.* (2011), cuyos indicadores se engloban dentro del protocolo para la realización de auditorías energéticas en las comunidades de regantes. A continuación se describen los indicadores seleccionados:

1. Volumen de riego suministrado por unidad de superficie regada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Representa la relación entre el volumen de riego suministrado anual medido en cabecera de la red y la superficie regada.
2. Requerimientos de agua de los cultivos por unidad de área regada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Muestra la relación entre los requerimientos de agua teóricos de los cultivos (ET_c) y la superficie regada.
3. Requerimientos de riego de los cultivos por unidad de área regada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Se obtienen mediante el cociente entre los requerimientos de riego teóricos de los cultivos y la superficie regada.
4. Suministro relativo de agua anual (RWS). Se determina mediante la siguiente expresión:

$$RWS = \frac{I + P_{ef}}{ET_c} \quad [9]$$

Siendo I el volumen total de riego suministrado, P_{ef} la precipitación efectiva anual y ET_c la evapotranspiración teórica de los cultivos, estimada según Allen *et al.* (1998).

5. Suministro relativo de riego anual (RIS). Este indicador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RIS = \frac{I}{ET_c - P_{ef}} \quad [10]$$

6. Suministro relativo de precipitación anual (RRS). Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$RRS = \frac{P_{ef}}{ET_c} \quad [11]$$

7. Coste relativo al canon y a la tarifa de riego por unidad de área regada (euros ha⁻¹).
8. Coste general (manejo, operación y mantenimiento) por unidad de área regada (euros ha⁻¹).
9. Coste energético por unidad de volumen de agua suministrado (euros m⁻³).
10. Coste total por unidad de área regada (euros ha⁻¹). Se obtiene mediante la suma del coste relativo al canon y a la tarifa, el coste general y el coste energético, dividido por la superficie regada total.
11. Coste total por unidad de volumen de agua suministrado (euros m⁻³). Este indicador se calcula mediante la relación entre los costes asociados al agua (canon-tarifa, generales y energéticos) y el volumen total de agua suministrado.
12. Porcentaje que representa el coste de la energía sobre los costes totales asociados al agua.
13. Productividad bruta por unidad de área regada (euros ha⁻¹). Es la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y la superficie regada.

14. Productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrado (euros m^{-3}). Se obtiene mediante el cociente entre el valor bruto total de la producción agrícola y el volumen total de agua suministrado.
15. Productividad bruta por unidad de volumen de agua requerida por los cultivos (euros m^{-3}). Indica la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y los requerimientos teóricos de los cultivos (ETc).
16. Productividad bruta de la mano de obra (euros UTA⁻¹). Es la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y el empleo agrícola generado, medido en unidades de trabajo año.

El valor de los indicadores descritos anteriormente para las campañas 2001/2002 y 2010/2011 se indica en la Tabla 7.

Respecto al volumen de riego suministrado por unidad de superficie, ha experimentado una reducción significativa en todas las CCRR analizadas, siendo esta disminución igual al 43 % en la CR del BMI, al 16 % en el BMD, al 39 % en el BXII, al 35 % en el GMD y al 20 % en el Guadalmellato, entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011. Esto supone, en conjunto, un ahorro de 97 hm³ de agua (35 %). Una de las causas principales que explican esta importante reducción en el volumen de riego suministrado es la mejora de las infraestructuras hidráulicas por la transformación en redes a presión, en las que las pérdidas durante la distribución del agua son despreciables, además de la instalación de sistemas de riego localizados que mejoran la aplicación en parcela (Carrillo Cobo *et al.*, 2011).

Por otro lado, la respuesta de los agricultores a los elevados costes del agua, como se explicará más adelante, se traduce en menores consumos de la misma y, por tanto, en la reducción del volumen de riego suministrado.

Considerando los requerimientos teóricos de agua de los cultivos (ETc), la evolución entre las dos campañas estudiadas es decreciente en las CCRR del BMI y BMD, creciente en el BXII y en el GU y prácticamente constante en el GMD. Para explicar la variación que se ha producido en el valor de la ETc hay que observar la evolución de la superficie de los cultivos en cada CR. En el BMI y en el BMD, ambas con reducción de la ETc, se observa una importante disminución de la superficie de cultivos como el algodón o el espárrago a favor del cultivo de cítricos. Tanto el algodón como el espárrago requieren importantes volúmenes de agua, por lo que el descenso de la superficie dedica-

da a estos cultivos a favor de los cítricos, que en la actualidad son plantaciones jóvenes en su mayoría, repercute actualmente en un menor valor de la ETc.

Tabla 7. Valor de los indicadores entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011

Indicador	BMI		BMD		BXII		MDG		GU	
	01/02	10/11	01/02	10/11	01/02	10/11	01/02	10/11	01/02	10/11
1	8.047,5	4.614,9	6.765,2	5.649,6	7.730,6	4.729,6	6.000,0	3.884,7	7.064,8	5.646,3
2	8.820,9	7.248,9	8.407,0	8.169,8	8.294,0	8.909,8	8.522,7	8.618,4	8.117,0	8.406,4
3	7.099,5	4.122,7	6.927,0	4.734,7	6.531,0	7.250,6	6.186,0	5.274,6	6.591,0	6.223,3
4	1,11	1,07	0,98	1,11	1,14	0,72	0,98	0,84	1,06	0,93
5	1,13	1,12	0,98	1,19	1,18	0,65	0,97	0,73	1,07	0,91
6	0,20	0,43	0,18	0,42	0,21	0,19	0,27	0,39	0,19	0,26
7	50,7	70,0	54,0	67,0	99,1	86,0	**	66,9	69,2	66,7
8	81,8	81,0	79,9	74,5	72,2	70,0	**	96,1	78,0	110,0
9	*	0,03	*	0,02	0,02	0,03	**	**	0,00	0,01
10	132,5	289,4	136,8	260,1	293,5	316,0	**	163,0	159,3	216,2
11	0,02	0,06	0,02	0,05	0,04	0,07	**	0,04	0,02	0,04
12	*	48	*	46	42	51	**	**	8	18
13	3.633,8	3.536,9	4.152,2	2.337,9	3.340,1	4.906,2	2.080,7	3.241,3	2.529,5	2.427,7
14	0,45	0,77	0,61	0,41	0,43	1,04	0,35	0,83	0,36	0,43
15	0,41	0,49	0,49	0,29	0,40	0,55	0,24	0,38	0,31	0,29
16	82.599,3	22.548,5	43.695,7	15.751,2	47.132,5	66.042,4	16.037,7	18.302,2	50.028,6	41.122,0

* Los costes energéticos en la campaña 2001/2002 son muy bajos y se han considerado nulos.

** No disponible.

Por el contrario, en BXII y en GU se ha producido un aumento de los requerimientos de agua de los cultivos (7 % y 4 % respectivamente). En BXII, la remolacha era el cultivo principal en la campaña 2001/2002, ocupando una superficie del 47 %, mientras que en el 2010/2011, este cultivo ha perdido importancia a favor del algodón (con mayores requerimientos de riego que la remolacha), que en esta campaña abarcaba el 45 % de la superficie de la comunidad. El valor de la ETc en GMD se ha mantenido prácticamente constante en ambas campañas. Los cultivos principales en 2001/2002 eran cítricos jóvenes y algodón. En la campaña 2010/2011, las plantaciones de cítricos presentes en 2001/2002 han completado su desarrollo y, por tanto, sus requerimientos de agua son mayores, mientras que el algodón ha perdido

importancia a favor de nuevas plantaciones de cítricos. Esto explica que los requerimientos de agua en ambas campañas sean similares.

En cuanto a los requerimientos teóricos de riego de los cultivos, estos han disminuido en todas las CCRR analizadas, excepto en BXII. Aunque en algunas CCRR la ET_c aumentó debido a los cambios en la superficie de los cultivos, la precipitación efectiva durante la campaña 2010/2011 fue mayor que en la 2001/2002, de ahí que los requerimientos de riego hayan sido inferiores. En BXII, la precipitación efectiva fue menor en el 2010/2011 debido a la sustitución de la remolacha, que coincide con el periodo de lluvias, por el algodón, lo que unido a una mayor ET_c, ha dado lugar a mayores requerimientos de riego.

El análisis de los valores de RWS (informa de la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades de los cultivos) y RIS (informa de la adecuación del riego) entre ambas campañas muestra una evolución distinta según la CR. Los valores de RWS y RIS en BMI se han mantenido prácticamente constantes entre ambas campañas (antes y después de la modernización). En el caso del BMD, se observa un aumento de los dos indicadores entre ambas campañas, aumentando el valor de RWS desde 0,98 hasta 1,11 y el valor de RIS desde 0,98 hasta 1,19. El aumento del valor de estos indicadores está relacionado con el aumento de la precipitación efectiva, que conlleva menores necesidades de riego. Este efecto se observa en el indicador RRS (capacidad de la lluvia para satisfacer las necesidades de los cultivos), que muestra un aumento más importante en BMD (139 %). En las CCRR BXII, GMD y GU se han reducido estos indicadores. El valor del RIS ha disminuido desde 1,18 hasta 0,65 en BXII, de 0,97 a 0,73 en GMD y de 1,07 a 0,91 en GU, lo que indica que en estas comunidades tras la modernización no se están satisfaciendo completamente los requerimientos de riego de los cultivos.

Los costes relativos al uso del agua se desglosan en tres componentes fundamentales: los relativos al canon y tarifa del riego, los costes generales y los costes de la energía. Los costes asociados al canon y a la tarifa del riego se han incrementado en un 38 % y un 24 % en BMI y BMD respectivamente, mientras que en BXII y GU han disminuido un 13 y un 4 %, respectivamente. En lo que respecta a los costes generales, se ha producido una reducción de este valor respecto a la campaña 2001/2002 en las CCRR del BMI, BMD, BXII. Sin embargo, los costes generales se han incrementado en un 41 % en la CR del Guadalquivir. En la Tabla 7 se puede observar el elevado coste energético que ha supuesto la modernización de las redes de riego. El coste

de la energía en la campaña 2010/2011 ha alcanzado valores de 0,03 euros m^{-3} y 0,02 euros m^{-3} en las CCRR del BMI y BMD, respectivamente, cuando en el 2001/2002 este coste era prácticamente nulo. En BXII y GU, el coste energético se ha incrementado en un 82 % y un 233 %, respectivamente, entre ambas campañas. De esta manera, en la actualidad la energía representa el principal coste del agua.

El incremento de los costes energéticos se traduce en mayores costes del agua, dando lugar a un aumento entre ambas campañas que varía entre el 281 % en BMI y el 70 % en GU. Los elevados costes del agua derivados del proceso de modernización y del aumento del precio de la energía reducen los ingresos del agricultor, cuya respuesta se traduce en un menor consumo de agua y en la incorporación de cultivos de mayor valor económico (Berbel *et al.*, 2000).

En cuanto a la productividad bruta por unidad de área regada, se ha producido una reducción entre ambas campañas en las CCRR del BMI, BMD y GU. Este efecto no ha ocurrido en BXII y GMD, en las cuales se ha producido un aumento de este indicador en torno al 47 % y al 56 %, respectivamente. Para explicar las distintas evoluciones de la productividad bruta según la CR analizada, hay que tener en cuenta los precios de los cultivos presentes en cada comunidad en las campañas consideradas. Los elevados precios del algodón durante la campaña 2010/2011, que es el cultivo predominante en BXII, repercuten en un aumento de la productividad bruta por hectárea en esta comunidad. Del mismo modo, el aumento de la superficie dedicada a los cítricos en GMD, conlleva un aumento de la productividad bruta por hectárea con respecto a la campaña 2001/2002.

Si se considera la productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrado, se observa un aumento de este indicador entre ambas campañas, con porcentajes que oscilan entre un 20 % en GU y un 141 % en GMD. En el aumento de este indicador influye la reducción en el volumen de riego suministrado que ha tenido lugar en el 2010/2011. En BMD, con una disminución de la productividad bruta por hectárea y una reducción en el volumen de riego suministrado menor que en el resto de CCRR, la productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrado también ha sido menor que en la campaña 2010/2011.

La productividad bruta por unidad de volumen de agua requerida por los cultivos muestra un aumento con respecto a la campaña 2001/2002 en BMI, BXII y GMD y una reducción en BMD y GU.

Respecto a la productividad de la mano de obra, se observa una tendencia decreciente en las CCRR del BMI, BMD y GU, ya que la productividad bruta por hectárea ha disminuido en todas y además, ha aumentado el empleo de la mano de obra por la expansión de los cítricos. En BXII y GMD, la productividad de la mano de obra se ha incrementado entre ambas campañas (40 % y 14 % respectivamente).

Cuando se analiza en más detalle los costes de una de las comunidades de regantes estudiadas puede observarse que desde el año 2003, previo a la modernización, hasta la fecha el incremento del coste para el agricultor ha ido creciendo de una forma importante (Tabla 8). A estos costes hay que añadirles el coste de la energía que en este caso es de 0,025 euros m⁻³ (125 euros ha⁻¹ para una dotación de 5.000 m³ ha⁻¹) y los costes de amortización de la instalación de riego en parcela que pueden alcanzar los 200 euros ha⁻¹. Por tanto, teniendo en cuenta todos los sumandos resulta un coste total de 600 euros ha⁻¹ lo que representa 6 veces más que el coste del año 2003. En la Tabla 8 podemos observar que el incremento de costes comienza con la entrada de la modernización en el año 2007 y que en el año 2014 hay un aumento importante del término de potencia atribuible al aumento de los precios de este concepto en agosto de 2013.

Tabla 8. Evolución y desglose de los costes de una CR modernizada (2007)

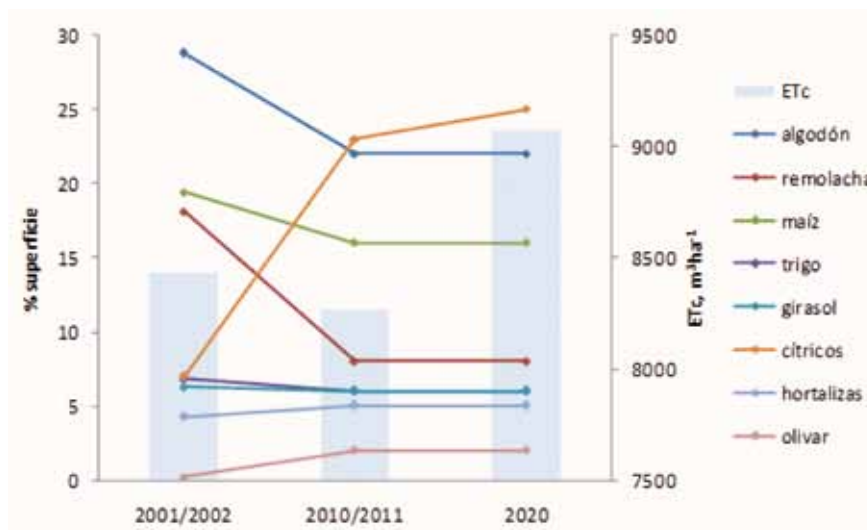
Año	Canon (euros)	Cuota fija (euros)	Derrama (euros)	Amort. capital (euros)	Amort. interés (euros)	Término potencia (euros)	Total (euros)
2003	55	22	15		8		100
2004	58	23	15	30	9		135
2005	61	23	11	30	20		145
2006	0	24	6	30	40		100
2007	58	34	6	0	82	8	188
2008	71	33	19	59	97	11	290
2009	82	33	16	84	60	18	293
2010	67	33	16	96	31	21	263
2011	67	33	15	94	45	27	281
2012	67	33	15	100	34	31	280
2013	73	37	15	108	20	29	281
2014	65	37	19	109	19	36	285
2015	72	37	19	111	13	40	292
2016	63	37	22	113	10	37	281

4.2. Evolución de la superficie de los cultivos y requerimientos de agua

Considerando la evolución de la superficie de los cultivos para el año 2020 según las previsiones de los gerentes de las CCRR analizadas, se prevé un aumento de la superficie dedicada a los cítricos, respecto a la campaña 2010/2011, en todas las CCRR salvo en BXII, cuyo gerente estimó la misma superficie de cultivos para el año 2020 que en la campaña 2010/2011. En referencia a la evapotranspiración de los cultivos en el horizonte 2020, se estima un aumento con respecto a la campaña 2010/2011 del 48 % en BMI, 38 % en BMD, 12 % en GMD y 2 % en GU.

En el Gráfico 6 se observan las perspectivas sobre la posible evolución de la superficie de los cultivos en el horizonte 2020, considerando de forma conjunta los cultivos de las 5 CCRR analizadas. También se indican los requerimientos de agua de los cultivos en el caso de cumplirse estas previsiones. El incremento de las plantaciones de cítricos es una tendencia ya constatada entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011, a costa de la reducción del cultivo de algodón, maíz, remolacha y trigo.

Gráfico 6. Evolución de la ETc y la superficie de los cultivos considerando de forma conjunta los cultivos de las cinco CCRR analizadas



Respecto al aumento de los requerimientos de agua de los cultivos para el año 2020, se explica no solo por el aumento de la superficie dedicada a los cítricos, sino también porque en el año 2020, las plantaciones de cítricos estarán en plena producción y, por tanto, demandarán más agua. Las previsiones sobre un aumento de la evapotranspiración debido a la incorporación de cultivos de mayor valor económico y más demandantes de agua para hacer frente a los elevados costes de los procesos de modernización, han sido también indicadas por Berbel *et al.* (2000), Playán *et al.* (2006) y Lopez-Gunn *et al.* (2012).

Referencias bibliográficas

- BERBEL, J. y GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2000): «The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigate areas»; *Agricultural Water Management* (43); pp. 219-238.
- BOE (1996): Orden de 14 de marzo de 1996 por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros de 9 de febrero de 1996, que aprueba el Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2005.
- BOE (2002a): RD 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba o Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008.
- BOE (2002b): RD 1201/2002, de 20 de noviembre, que regula la Producción Integrada de productos agrícolas.
- BOE (2006): RD 287/2006, de 10 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palie los daños producidos por la sequía.
- BOE (2016): Real Decreto 1/2016, de 8 de enero. Plan Hidrológico de la DH del Guadalquivir (2015-21)
- BRUINSMA, J. (2009): *The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?* Comunicación presentada en FAO Expert Meeting on 'How to Feed the World in 2050'; pp. 24-26. June 2009. Roma, FAO.
- CAMACHO POYATO, E. (2005): *Análisis de la eficiencia y ahorro del agua en el regadío de la cuenca del Guadalquivir. Inversiones en la modernización de los regadíos.*

- CARRILLO COBO, M. T.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; MONTESINOS, P.; LÓPEZ LUQUE, R. y CAMACHO POYATO, E. (2011): «Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks»; *Irrigation Science* (29); pp. 157-169.
- COROMINAS, J. (2009): *Agua y energía en el riego en la época de la sostenibilidad*. Comunicación presentada en Jornadas de Ingeniería del Agua 2009. España, Madrid.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E.; MONTESINOS, P. y BERBEL, J. (2014): «Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts»; *Agricultural Systems* (131); pp. 56-63.
- FERNÁNDEZ, I.; RODRÍGUEZ, J. A.; MONTESINOS P.; CAMACHO, E. y BERBEL, J. (2013): *La modernización de regadíos: repercusiones sobre el uso del agua y la energía en CCRR de Andalucía*. Comunicación presentada en XXXI Congreso Nacional de Riegos. Alicante, Orihuela.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; ORTEGA-REIG, M. V. y AVELLÁ-REUS, L. (2013): «Irrigation associations coping with drought: The case of four irrigation districts in Eastern Spain»; en SCHWABE, K.; ALBIAC, J.; CONNOR, J. D.; HASSAN, R. M. y GONZÁLEZ, L. M., eds.: *Drought in arid and semi-arid regions* (101-122). Países Bajos, Springer.
- HARDY, L.; GARRIDO, A. y JUANA, L. (2012): «Evaluation of Spain's Water-Energy Nexus»; *Water Resources Development* 28(1); pp. 151-170.
- IEA (2010): *World Energy Outlook 2010*: 674. Paris, International Energy Agency.
- IDAE (2008): *Protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes*. Madrid, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- JEBARAJ, S. y INIYAN, S. (2006): «A review of energy models»; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (10); pp. 281-311.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* 97(10); 1663-1675.
- LOPEZ-GUNN, E.; ZORRILLA, P.; PRIETO, F. y LLAMAS, M. R. (2012): «Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture»; *Agricultural Water Management* (108); pp. 83-95.

- MAGRAMA (2013): «Estrategia nacional para la modernización sostenible de los regadíos H2015»; *Informe de sostenibilidad ambiental*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): *Encuesta sobre superficies y rendimientos (ESYRCE)*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MALANO, H. y BURTON, M. (2001): *Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector*. Int. Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J. M.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A. y SÁNCHEZ, I. (2005): «Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals»; *Agricultural Water Management* 76(3); pp. 139-159.
- PLAYÁN, E. y MATEOS, L. (2006): «Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity»; *Agricultural Water Management* 80(1-3); pp. 100-116.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E. y BLANCO PÉREZ, M. (2011): «Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in southern Spain»; *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 137(10); pp. 644-650.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCÓN, F. y MARTÍN-GORRIZ, B. (2013): «Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain»; *Agricultural Water Management* 124; pp. 11-19.
- TARJUELO, J. M.; ORTEGA, J. F.; MONTERO, J. y DE JUAN, J. A. (2000): «Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions»; *Agricultural Water Management* (43); pp. 263-284.
- UNDESA (2013): «World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and advance tables»; *Working Paper* (ESA/P/WP.228). Nueva York, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

El riego de precisión

El nuevo desafío de los regadíos modernizados

Diego S. Intrigliolo y Juan José Alarcón

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura

1. Problemática

En los últimos años se han realizado grandes esfuerzos económicos para dotar a las comunidades de regantes (conjunto de parcelas que comparten infraestructuras para el uso colectivo del agua de riego) con instalaciones hidráulicas eficientes. Además, se han introducido nuevas tecnologías como el riego localizado o a presión, lo cual, aunque ha ido acompañado de un aumento de las necesidades energéticas, ha contribuido a incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) a nivel de parcela ya que se ha conseguido reducir el componente de evaporación de la evapotranspiración del cultivo (Fereres *et al.*, 2003).

Sin embargo, no se ha hecho tanto hincapié en optimizar la programación del riego (dosis y frecuencia del agua a aportar) para utilizar los recursos hídricos disponibles de una forma más eficiente. Este aspecto es hoy en día particularmente importante debido al gran incremento de los costes energéticos asociados al riego, los cuales repercuten directamente sobre el coste del agua utilizada. Además, la actual escasez de recursos hídricos de aquellas zonas agrícolas más competitivas como puede ser en los valles de los ríos Ebro, Guadalquivir, Segura y Júcar, hace indispensable emplear todas las herramientas disponibles para incrementar la EUA.

Es necesario continuar con los esfuerzos encaminados a buscar nuevas soluciones para la realización de un riego de precisión ajustado a las necesidades de las plantaciones, además de optimizarlo utilizando estrategias de riego deficitario controlado que puedan permitir incrementar aún más la EUA en particular en condiciones de escasez de recursos hídricos o elevados precios del recurso. En este capítulo se resumen aquellas soluciones, fundamentalmente agronómicas que están hoy día disponibles para realizar un riego de precisión

que permita ajustar la programación del riego a las necesidades hídricas de la planta y a la textura y profundidad de los suelos empleados.

2. Riego de precisión

Los avances científicos y técnicos de que hoy en día disponemos permiten alcanzar importantes mejoras en el manejo y eficiencia del riego. No obstante, su utilización por los agricultores y técnicos de muchas zonas de la agricultura española es todavía escasa, generalmente por desconocimiento de los mismos. Se pretende por lo tanto resumir aquellas soluciones ya ensayadas a nivel de investigación y que están por lo tanto a disposición de los regantes españoles.

Para determinar las dosis y frecuencia (programación) del riego, hoy en día, disponemos de métodos basados tanto en información sobre el clima y la transpiración de las plantas, como de la humedad del suelo o del estado hídrico de la propia planta.

2.1. Programación sobre la base de parámetros meteorológicos y del cultivo

En la actualidad el método más utilizado para la programación del riego de los cítricos se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones de la FAO (Allen *et al.*, 1998), estimando las necesidades hídricas mediante un procedimiento que tiene en cuenta:

- a) Variables climáticas que influyen en la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia (ET_0) y
- b) un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente del cultivo (K_c).

Las necesidades hídricas o evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculan como:

$$ET_c = ET_0 * K_c.$$

Sirva un ejemplo para aclarar el cálculo. Imaginémosnos dos parcelas, una de cítricos y otra de melocotonero situadas en la misma zona; en ambas parcelas la ET_0 será la misma, sin embargo, es evidente que la plantación de cítricos

y la de melocotonero pueden tener consumos hídricos distintos. Por ello en el procedimiento de la FAO entra en juego el factor Kc. La información climática y de los Kc antes citados son divulgados a los regantes por los servicios de asesoramiento al regante de cada comunidad autónoma

Sin embargo, el procedimiento arriba descrito para estimar las necesidades hídricas puede tener ciertas incertidumbres dado que plantación, incluso de la misma especie y variedad, puede tener necesidades hídricas distintas en función de muchos factores relacionados tanto con el manejo de la parcela como de las características agronómicas de las variedades. En pocas palabras, cada parcela tiene su propio Kc y por lo tanto los que están disponibles en los servicios de asesoramiento pueden servir desde luego de una primera indicación, pero no tienen por qué informar de forma exacta sobre las necesidades hídricas reales de las plantaciones. Además el procedimiento descrito de la ET_0 y Kc no informa acerca de la frecuencia y dosis a aplicar en cada riego, es decir, no permite establecer cómo aplicar los volúmenes de riego calculados, ya que esto depende de factores ligados a las características del suelo y equipamiento de riego de cada parcela. Por todo ello es por lo que en la actualidad es de gran interés profundizar sobre el uso de nuevas tecnologías para el manejo del riego, basadas en la medida del estado hídrico del suelo y/o planta, y de modelos de simulación específicos y semimecanicistas que, en todo caso, deben entenderse como estrategias complementarias y nunca excluyentes de la programación en base a información del clima (ET_0 y Kc).

2.2. Medida de la humedad del suelo. Sondas de capacitancia

Para intentar conseguir un adecuado manejo del riego de acuerdo con las características del cultivo y del consumo que realizan las plantas, se requiere:

- 1) Delimitar cuales son las necesidades hídricas de los cultivos,
- 2) aplicarlas con un método y estrategia de riego adecuados, y
- 3) controlar que lo que se ha aplicado es correcto.

La comprobación y control hay que realizarlos midiendo lo que realmente sucede en el terreno, y aquí es donde los sensores de medida de la humedad del suelo tienen una gran utilidad.

El objetivo principal de la utilización de estos sensores es conseguir una estima precisa de la cantidad de agua que se incorpora al sistema suelo-planta en cada momento, de forma que se puedan evitar pérdidas de agua en profundidad o un déficit hídrico no deseado.

Aunque existen muchos tipos de sensores de medida de la humedad del suelo, aquí solo se hará referencia a los de más reciente introducción en el mercado, las sondas capacitivas tipo FDR (Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia). Otros, tales como tensiómetros, watermark®, etc., se considera que ya son suficientemente conocidos. En cualquier caso, el modo de representación, interpretación y utilización de los datos para la toma de decisiones, es de aplicación común a todos los sensores de medida de la humedad en el suelo.

Las sondas capacitivas miden la humedad del suelo por variación de las propiedades dieléctricas del mismo, mediante la determinación de su coeficiente dieléctrico (ϵ) a través de la capacitancia. Como en el suelo coexisten las fases sólida, líquida y gaseosa, el sensor FDR en realidad determina un ϵ aparente. Dado que el ϵ del aire es ≈ 1 , el de los sólidos del suelo oscila entre 2-5 y el del agua es de 80, el ϵ aparente del suelo es, prácticamente, una función de la humedad que haya en él.

Dentro de este tipo de sensores existen sondas simples de un solo sensor (Theta Probe®, ECH2O, Diviner2000®) y sondas multi-sensor (EnviroScan®, C-probe®, Aquacheck®, Tanit). En las sondas multi-sensor el diseño habitual es el de anillos concéntricos que permiten la instalación en el suelo de una sonda situada en el interior de un tubo de acceso impermeable. Las sondas multisensor suelen llevar instalados varios sensores a profundidades variables, lo que permite la estima de la humedad del suelo simultáneamente a varias profundidades. Uno de los problemas que presentan es que la zona de medida es limitada, correspondiendo solamente a unos 10 cm en altura (5 por encima del sensor y 5 por debajo) y aproximadamente 7 cm de radio alrededor del anillo, si bien en los 3 cm más próximos al tubo de acceso es donde se concentra el 90 % de la señal. Además cabe tener en cuenta que el contenido de humedad en el suelo de una parcela es muy variable y más aún en riego localizado, donde no se humedece uniformemente todo el suelo que se moja; además la distribución del sistema radicular dista mucho de ser homogénea, tanto en profundidad como horizontalmente. Todo ello hace que se recomiende instalar más de una sonda por parcela, con el fin de disponer de una medida más representativa del contenido de agua en el suelo disponible para la planta.

En trabajos de investigación, para realizar balances de agua, es necesario conocer con precisión las cantidades de la misma existentes en cada capa del suelo, pero para la gestión y el manejo del riego puede ser suficiente analizar la tendencia que siguen los contenidos de agua en las distintas capas del suelo, lo cual no requiere una calibración específica de la sonda. La gran ventaja que presentan estas sondas, desde el punto de vista del manejo del riego, es que, merced a la posibilidad de registro «casi continuo» de datos y si el sistema de transmisión es vía radio, GSM o GPRS, la información sobre los cambios de humedad aparece, prácticamente, en tiempo real, aunque esto no sea determinante en su utilización.

Cuando la pauta de riego es adecuada, el valor absoluto de la humedad de cada capa en particular no es lo importante sino cómo evoluciona y cuál es su tendencia (Gráfico 1). Si la aplicación de agua supera a la extracción que realiza el cultivo, habrá un exceso de agua que percolará, y, en consecuencia, aumentará el contenido de agua en profundidad, lo que se verá reflejado en la medida del sensor correspondiente (Gráfico 2).

Gráfico 1. Pauta adecuada de riego. El agua no percola y la humedad no disminuye

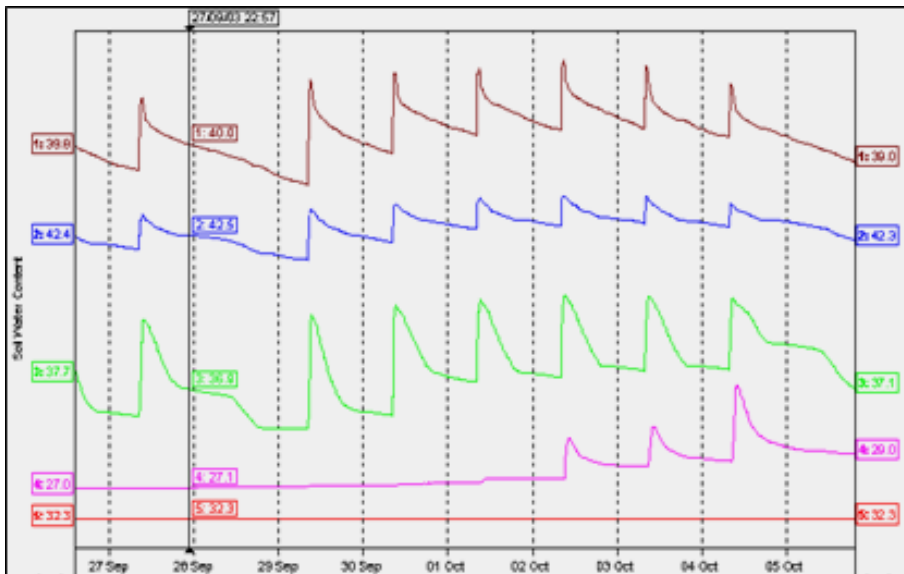
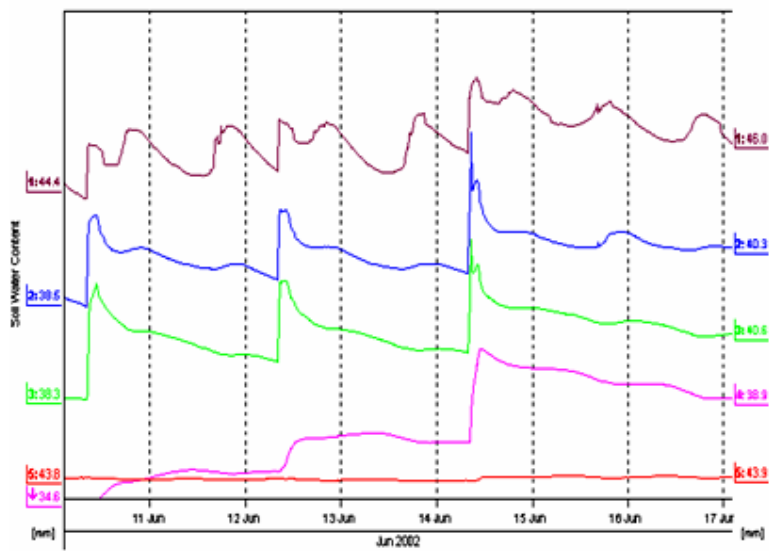


Gráfico 2. Exceso de riego. Humedad en aumento a 50 cm

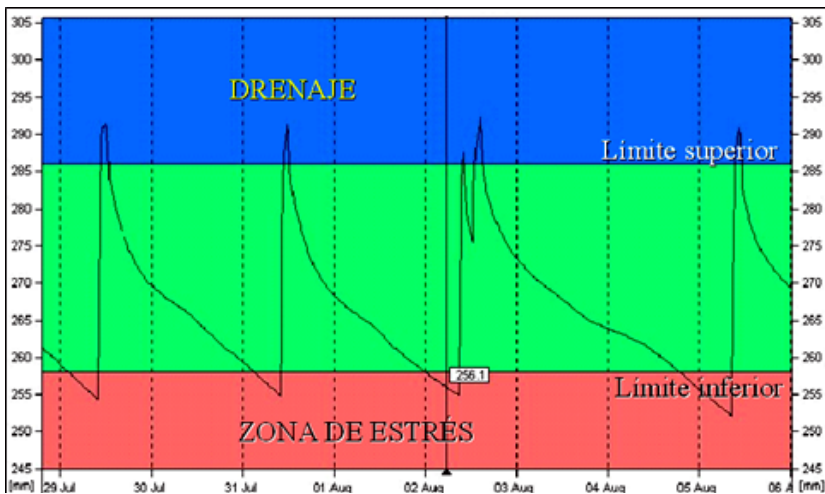
El análisis sensor a sensor proporciona, en muchas ocasiones, una información adecuada sobre el comportamiento del agua en el suelo, pero también puede resultar interesante obtener otro tipo de información, como la suma de los valores de humedad registrados por distintos sensores, de manera que representen el agua almacenada en una parte del perfil de suelo. Si tomamos, por ejemplo, la suma de las medidas de los sensores situados a 10, 20, 30 y 50 cm de profundidad, podría representar la cantidad de agua a disposición del sistema radicular y, con la medida del sensor a 70 cm, se podría detectar la existencia de drenaje.

Así pues, hay que utilizar las variaciones de ese contenido de agua, a fin de minimizar en lo posible las pérdidas notables por drenaje, así como impedir que se seque el suelo a niveles que induzcan un estrés no deseado al cultivo.

Para el manejo del riego por este procedimiento, es necesario definir un límite superior de contenido de agua que, generalmente, se establece en el valor a partir del cual no se produce drenaje por debajo de la zona radicular; y un límite inferior que corresponderá al nivel de estrés que no se desea sobrepasar (Gráfico 3). Los límites superior e inferior no tienen por qué ser constantes a lo largo del año, sino variar en función de la sensibilidad del cultivo en cada fase fenológica. Lo ideal sería tener definidos estos límites para cada fase del cultivo.

En la actualidad esta técnica presenta, básicamente dos dificultades. Una de índole económico, ya que este tipo de sondas son de un coste elevado (actualmente cercano a 3.000 euros por sonda con 4 sensores), lo que limita su uso en pequeñas explotaciones. Sin embargo, es esperable que los avances tecnológicos y la competencia en el mercado hagan descender su precio en pocos años. La otra es el no disponer todavía de las relaciones entre la producción y valores concretos de humedad del suelo, ni de un grado de déficit hídrico, para cada etapa fenológica del cultivo.

Gráfico 3. Zona óptima para el manejo del riego



2.3. Medida en planta. Potencial hídrico de tallo y dendrómetros

Las dos estrategias de riego arriba mencionadas (información climática y medida de la humedad del suelo) tratan, en definitiva, de estimar de manera indirecta la «salud» hídrica de los árboles. Dado que las plantas integran las condiciones externas del entorno, clima y suelo a la vez, reflejándolo en su estado hídrico, parece lógica la utilización de métodos de programación del riego basados en la propia planta. Sin embargo, esta misma característica integradora, positiva desde el punto de vista fisiológico, constituye un inconveniente práctico, como veremos más adelante, y es una de las principales razones por lo que la medida del estado hídrico de los árboles está hoy día aún bastante restringida al mundo de la investigación.

2.3.1. Cámara de presión

El instrumento más empleado para cuantificar el estado hídrico de los cítricos y frutales es la cámara de presión con la que se mide el potencial hídrico. La determinación más usual es la del potencial hídrico de hoja no transpirante, comúnmente denominado «potencial de tallo» (Ψ_t). En este caso, la hoja a medir se cubre con una bolsa de plástico de cierre hermético (que impide la transpiración) y exteriormente aluminizada (que refleja la radiación solar y reduce el calentamiento). Tras aproximadamente una hora, su estado hídrico se iguala con el del tallo, se corta la hoja por el pecíolo y se coloca en el interior de una cámara de cierre estanco, de modo que el borde cortado queda hacia el exterior. Se inyecta nitrógeno o aire comprimido a presión en la cámara y cuando empieza a salir savia por el corte del pecíolo, se lee la presión en el manómetro. Esa lectura representa la tensión o potencial hídrico a la que se encontraba la savia en el xilema antes del corte de la hoja.

Las determinaciones se llevan a cabo preferentemente a mediodía solar, que es cuando habitualmente se produce el grado máximo de estrés alcanzando por las plantas.

El Ψ_t no depende exclusivamente del agua en el suelo disponible para la planta, sino también de las condiciones ambientales, por su influencia sobre la tasa de transpiración (T) y la resistencia hidráulica en el continuo suelo-planta-atmósfera (R), según se resume en la ecuación $\Delta\Psi=R*T$, donde $\Delta\Psi$ es la caída de potencial a lo largo de la trayectoria de transporte del agua. Esto dificulta, en cierto modo, su empleo como indicador del estado hídrico de los árboles. El mayor inconveniente operativo del Ψ_s radica en que esta medida no puede automatizarse y, por ello, su determinación requiere la utilización de mano de obra cualificada. De ahí que se estén buscando sensores automatizables que permitan medir, en continuo y de forma remota, el estado hídrico de los árboles. A pesar de lo indicado, Mirás-Avalos *et al.* (2016) consiguieron programar el riego en melocotonero utilizando medidas periódicas de Ψ_s , cuantificando adecuadamente las necesidades hídricas del cultivo y los ahorros hídricos alcanzables en este cultivo.

2.3.2. Dendrómetros

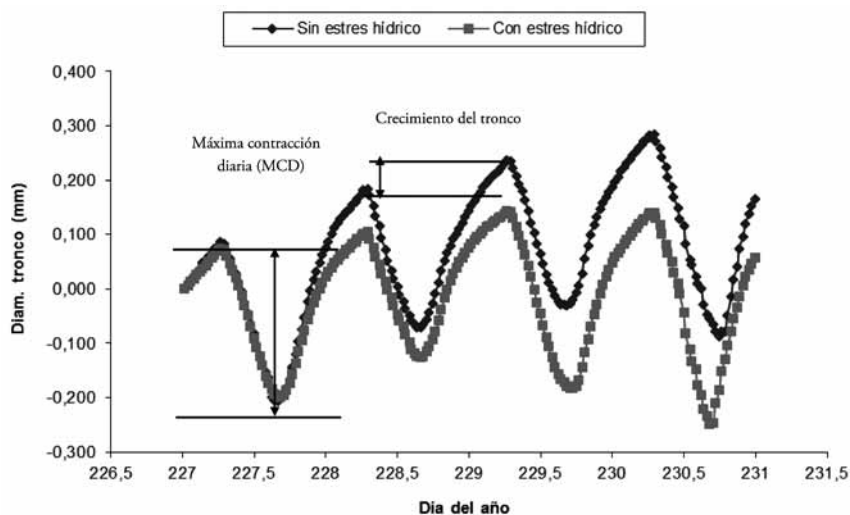
De entre los sensores automatizables que hoy día están intentando introducirse comercialmente, se encuentran los denominados dendrómetros (sensores LVDT) (Figura 1), que estiman el estado hídrico de las plantas a través de la medida de las variaciones de grosor del diámetro de un tronco o rama, transformándolas en señales eléctricas, cuyo registro es fácilmente automatizable. En un día soleado el diámetro del tronco decrece durante las horas centrales del día, para luego recuperar lo perdido a lo largo de la noche e incluso crecer (Gráfico 4). A partir de estas variaciones de diámetro se calculan:

- a) La máxima contracción diaria (MCD), como diferencia entre el máximo diámetro del tronco alcanzado temprano por la mañana y el mínimo alcanzado normalmente por la tarde, y
- b) la tasa de crecimiento, como diferencia entre los máximos diarios alcanzados por el tronco en dos días consecutivos.

Figura 1. Detalle de un dendrómetro instalado en el tronco de un naranjo



Gráfico 4. Esquema representativo de la variación del diámetro del tronco durante varios días consecutivos



En los cultivos leñosos se ha observado que los árboles con disponibilidad limitada de agua en el suelo suelen tener mayores contracciones diurnas del tronco, pero, también es cierto que en árboles bien regados, es decir, sin limitaciones de agua en el suelo, la MCD varía notablemente en función de las condiciones ambientales. Este hecho complica el uso para la programación del riego de la MCD en términos absolutos, por lo que conviene relacionar los valores de MCD de un determinado tratamiento de riego (x) con otros de referencia obtenidos (control, c), por ejemplo, en árboles bien regados y situados en la misma parcela. Vélez *et al.* (2007) determinaron que el ratio o cociente MCD_x/MCD_c puede emplearse como indicador del estado hídrico de los árboles y para la programación del riego. Cuanto mayor sea el cociente MCD, mayor será el déficit hídrico a que estará sometida la planta. Valores del cociente MCD en torno a la unidad indican que los árboles no están sometidos a déficit hídrico, siendo este valor el aconsejable en los periodos de mayor sensibilidad del cultivo a la falta de agua. Valores del cociente MCD próximos a la unidad pueden emplearse también para ajustar mejor la dosis de riego a las necesidades del cultivo (Conejero *et al.*, 2007).

En una parcela comercial, los árboles a utilizar como referencia (MCD_c), pueden regarse más que el resto mediante la instalación de más goteros o de goteros de más caudal, sin necesidad de tener varios sectores de riego en una

misma explotación. No obstante, debe tenerse especial cuidado en la selección de los árboles, pues los volúmenes de riego a aplicar en el resto de la parcela dependerán de los valores de MCD de referencia obtenidos en ellos.

Un importante inconveniente que presenta este tipo de sensores es la alta variabilidad de las medidas que obtienen, lo que hace necesaria la instalación de, al menos, 6 sensores LVDT por tratamiento, lo que implica un mínimo de 12 sensores por finca, 6 en los árboles del tratamiento definido y otros 6 en árboles de referencia. El costo de estos sensores es hoy día elevado y se estima que un equipo completo para medir 12 árboles puede costar en torno a 5.000 euros.

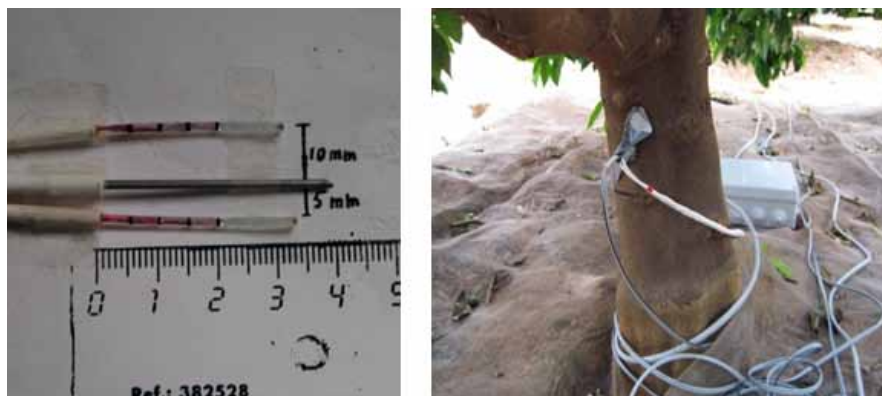
2.3.3. Otros sensores de campo

Además de los dendrómetros, existen otros sensores de campo que pueden emplearse para determinar el estado hídrico de la planta. En este sentido cabe destacar los sensores de flujo de savia que mediante la inserción en el tronco de los árboles de un calentador y sondas con termopares, permiten medir de manera continua la transpiración de los árboles (Figura 2). En este sentido la transpiración relativa frente a árboles de referencia bien regados puede servir también como indicador del estrés hídrico de los árboles. La mayor complejidad en el uso de esta técnica radica en el carácter invasivo de la misma y la dificultad que conlleva el análisis de los datos, dado que hay que convertir las lecturas de los termopares en flujo de agua en el tronco. Sin embargo, en la actualidad se están desarrollando nuevos equipos de uso más sencillo que pueden combinar la transpiración potencial de los cultivos simulada mediante modelos con determinaciones del flujo de agua realizada a una sola profundidad del tronco de los árboles.

Por otra parte, dado que la transpiración de las plantas es un proceso que requiere energía, cuando el agua es transpirada por las hojas, la radiación solar incidente produce la evaporación del agua, por lo que parte de esta energía recibida se utiliza en el cambio del estado físico y no en aumentar la temperatura de la hoja. Las plantas sometidas a limitaciones de agua en el suelo frecuentemente responden disminuyendo la conductancia estomática, lo que supone una reducción de la transpiración. Este hecho implica que la temperatura de la cubierta vegetal debería aumentar en plantas con limitada disponibilidad de agua en el suelo. Por esta razón la telemetría de la temperatura de la planta puede ser utilizada para estimar la conductancia estomática

y la evapotranspiración de las plantas (Jones *et al.*, 2002). La termografía de infrarrojos es una poderosa herramienta para estimar la temperatura de los cultivos. El calor emitido por un cuerpo es captado por el sensor de la cámara y traducido en temperatura que queda almacenada en una imagen.

Figura 2. Detalle de una sonda para medida del flujo de savia mediante 4 termopares (izda.) y sensor instalado en un cítrico (dcha.)



Finalmente, en los últimos años se han venido empleando nuevos sensores de medida de la turgencia de las hojas denominadas «Sondas Zim». Dichos sensores colocados como una pequeña pinza sobre las hojas (Figura 3) permiten determinar el estado hídrico de las plantas a partir de una serie de índices fisiológicos. Su empleo ha sido estudiado en detalle en algunos cultivos como el olivo en el que incluso se han propuesto ya a nivel de algoritmos para la programación del riego mediante el empleo de este tipo de sensores (Padilla-Díaz *et al.*, 2016). En la actualidad se está determinando la utilidad de estas herramientas en el marco de varios proyectos de investigación en particular en cítricos y caqui y otros cultivos herbáceos. En el caqui por ejemplo se ha ya determinado la posibilidad de emplear la inversión de la curva diaria de turgencia de la hoja como un parámetro relacionado con el estado hídrico de los árboles (Martínez *et al.*, 2016).

Figura 3. Sonda Zim instalada en una hoja de clementino para la medida en continuo de la turgencia de la hoja



2.3.4. Uso de las técnicas de teledetección

El uso de cualquier sensor de campo que pueda emplearse para monitorear el estado hídrico de la planta se enfrenta al dilema de la representatividad de las determinaciones realizadas en unos pocos árboles con respecto a la totalidad de la parcela a regar. Todo esto es importante dado que la agricultura de regadío se lleva a cabo en un medio natural en el que influyen distintos factores tanto edáficos como climáticos que además de la propia naturaleza biológica de los árboles hacen que la variabilidad existente en las parcelas pueda ser muy importante.

Por lo tanto, o bien se instalan un buen número de sensores con el fin de caracterizar en detalle esa variabilidad, o la solución puede venir del uso de técnicas de teledetección que hoy día permiten caracterizar la variabilidad espacial en el estado hídrico de la planta y de este modo es posible instalar pocos sensores en lugares representativos de la parcela. Por lo tanto, se trata de combinar las posibilidades que ofrecen las técnicas de teledetección para evaluar la variabilidad espacial con el uso de sensores de campo que permiten determinar la evaluación temporal mediante medidas en continuo.

Las técnicas de teledetección se pueden clasificar en cuanto a su grado de resolución tanto temporal como espacial. Para el riego de precisión es necesario contar, en la gran mayoría de los casos, con imágenes aéreas tomadas desde drones o aviones tripulados que permitan obtener una resolución espacial de como mínimo $0,25 \text{ m}^2$ y, de este modo, pueda separarse la superficie de suelo de la copa de los árboles además de realizar una caracterización individualizada de los árboles. Para el caso de cultivos herbáceos continuos y parcelas de extensión superior a la de una hectárea es posible hoy día emplear imágenes de satélite, que permiten cuantificar la evapotranspiración de la zona de cultivo y de allí determinar el estado hídrico de la planta.

2.4. Modelos específicos de simulación de las necesidades del cultivo

Debido al coste y complejidad que supone la instalación de sensores en parcelas en los últimos años ha cobrado interés el desarrollo de nuevos modelos que permitan cuantificar con mayor precisión las necesidades hídricas con respecto al ya comentado método de la FAO de la ET_0 y el Kc. En la actualidad nuestro grupo de investigación está trabajando en integrar modelos semimecanicistas para simular el balance hídrico del suelo y realizar la programación del riego (dosis y frecuencia) específica para las características edáficas y del cultivo. Así pues, se pretende integrar modelos de cultivo en un sistema de asesoramiento sobre riego capaz de predecir la respuesta productiva en función del volumen de agua aplicada y de la calidad de la misma. En este sentido, se está tratando de integrar un módulo de previsión de condiciones climáticas a 72 horas que permitirá realizar una programación de riego de precisión y, así mismo, ajustar en tiempo real el riego a las condiciones del cultivo. Para ello se utilizarán predicciones meteorológicas profesionales, adaptadas a las características microclimáticas de la finca mediante la integración en tiempo real de observaciones de estaciones automáticas instaladas

en dicha finca. El carácter innovador radica en que se incluirán no solo variables meteorológicas básicas (temperatura, humedad, precipitación, etc.), sino también variables derivadas, que pongan de manifiesto cómo afectan las condiciones meteorológicas al cultivo (ET_0 , índices de estrés hídrico) y que se identificarán, verificarán e implementarán en el proyecto.

La herramienta estará preparada para la conexión del sistema integral de asesoramiento *online* con los automatismos de actuación y control del riego (SCADA y Programadores en el mercado) con el fin de automatizar de forma integral la práctica del riego. De este modo será posible, no solamente realizar recomendaciones profesionales del riego, sino además actuar directamente sobre los programadores de riego para automatizar de forma integral esta práctica de cultivo.

3. Estrategias de riego con dotaciones hídricas inferiores al óptimo

3.1. El riego deficitario controlado

Cuando no se pueden cubrir mediante el riego todas las necesidades de agua de un cultivo hay que recurrir a riegos deficitarios que, en su concepto más amplio, consisten en el riego deliberado y sistemático con menos agua de la que necesitan los cultivos para su máxima producción y crecimiento. El planteamiento puede establecerse desde dos aspectos diferentes:

- Riego deficitario sostenido: reducción constante durante todo el período de cultivo.
- Riego deficitario controlado (RDC): reducción controlada de los aportes de agua solo en ciertos períodos fenológicos.

El RDC, consiste en la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesidades máximas teóricas durante períodos determinados del ciclo del cultivo, en los que la producción y la calidad se vean poco (o nada) afectados, y durante el resto del ciclo aplicar el total de dichas necesidades, especialmente en los períodos en los que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua.

En los cítricos el RDC ha sido ampliamente estudiado en Clementina de Nules (González-Altozano y Castel, 2003). Los resultados de estas investigaciones determinaron que el periodo más crítico y, por lo tanto, menos aconsejable para reducir los aportes hídricos es el que abarca la floración y el cuajado, donde un estrés hídrico, incluso moderado, suele reducir sensiblemente la cosecha final por un menor número de frutos recolectados. Del mismo modo, se desaconseja imponer estrés hídrico durante el otoño ya que puede reducir el tamaño final de la fruta. El periodo idóneo para ahorrar agua es pues el verano (meses de julio y agosto) cuando pueden reducirse moderadamente los aportes hídricos sin afectar la cosecha final ni el tamaño de la fruta, como han señalado investigadores del Departamento del Riego del CEBAS-CSIC (Pedrero *et al.*, 2015; Nicolás *et al.*, 2016).

En frutales de hueso, el Departamento de Riego del CEBAS-CSIC ha establecido recientemente distintos períodos no críticos en los que pueden establecerse restricciones hídricas bajo una estrategia de RDC, como es la fase II de endurecimiento del fruto y el período poscosecha en melocotonero (Mirás-Ávalos *et al.*, 2016). En ciruelo japonés, los resultados obtenidos por Intrigliolo y Castel (2006) muestran distinta sensibilidad del cultivo al riego deficitario según el periodo fenológico en el que se aplique. En poscosecha, las restricciones hídricas permitieron ahorros de agua de hasta un 29 %, sin afectar a la intensidad de floración ni al cuajado ni al crecimiento del fruto del año siguiente. Sin embargo, a medio plazo, tres años, el estrés hídrico aplicado en poscosecha puede reducir la producción de la plantación, debido al efecto acumulado de las restricciones sobre el crecimiento del árbol. De todos modos, esta pérdida de producción podría ser compensada por los importantes ahorros en costes de cultivo, en particular poda y aclareo, que pueden conseguirse. Por tanto, el estrés hídrico en poscosecha podría emplearse a escala comercial, no solamente en caso de escasez de recursos hídricos, sino además como herramienta para controlar el crecimiento del árbol.

4. Conclusión

Existen en la actualidad herramientas que permiten al agricultor hacer un uso más eficiente del agua de riego contestando de manera precisa a las tres preguntas básicas de la programación del riego: «cuánto», «cuándo» y «cómo» regar. El procedimiento de estima de las necesidades hídricas sobre la base de la información climática (ET_0 y K_c) debe emplearse en primera instancia para

cuantificar los volúmenes de riego a aplicar. Sin embargo, para tener un mejor control del riego aplicado a nivel de parcela, los sensores de determinación de la humedad del suelo posibilitan un mejor control del contenido de agua en el perfil del suelo. Un excelente complemento son las medidas de potencial hídrico de tallo, que permiten cuantificar el estado hídrico real de los árboles y, por lo tanto, asegurar que la estrategia de riego que se está empleando es la adecuada. Finalmente, en caso de escasez de recursos hídricos, puede emplearse el riego deficitario controlado, siendo, en este caso, fundamental utilizar las herramientas aquí descritas para cuantificar el estado hídrico del suelo o mejor aún de la planta, a fin de evitar que un estrés hídrico potencialmente beneficioso pueda convertirse en dañino repercutiendo negativamente sobre la producción.

Agradecimientos

La redacción de este capítulo nace de los conocimientos y formación adquiridos durante varios años de trabajo junto a muchos compañeros tanto del Instituto Valenciano Investigaciones Agrarias como del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura del CSIC, entre los cuales se quiere agradecer en particular al Dr. Juan R. Castel. Además los conocimientos y resultados aquí obtenidos provienen de ensayos de investigación financiados por varios proyectos y en particular cabe mencionar: i) WEAM4i financiado por el FP7 bajo el acuerdo de consorcio 619061, ii) PCIN-2015-263 IRIDA ERA-NET Cofund WaterWorks2014 Call, iii) RTC-2015-3453-2 RiegoAsesor, iv) AGL2014-54201-C4-4-R SOSTGRAPE v) Convenio con Cajamar Caja Rural sobre «Experimentación sobre prácticas de cultivo dirigidas a optimizar la composición de la uva y la rentabilidad del cultivo de la vid para vinificación en el sureste de España» y vi) CARM, Fundación Séneca. Grupos Investigación de Excelencia19903/GERM/15.

Referencias bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): «Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements»; *FAO Irrigation and Drainage paper* (56). Roma, FAO.
- CONEJERO W.; ALARCÓN J. J.; ORTUÑO M. F.; NICOLÁS E.; TORRECILLAS A. y GARCÍA-ORELLANA Y. (2007): «Programación del riego del melocotonero mediante medidas de las variaciones del diámetro del tronco. Aproximación a la estima de las necesidades hídricas»; *Agricultura* (897); pp. 442-446.
- FERERES, E.; GOLDHAMER, D. y PARSONS, L. (2003): «Irrigation water management of horticultural crops»; *Hort Science* (38); pp. 1036-1042.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO P. y 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); pp. 81-92.
- INTRIGLIOLO, D. S. y CASTEL, J. R. (2006): «Riego deficitario en ciruelo japonés cv. Black-Gold»; *Agrícola Vergel* (293); pp. 253-260.
- JONES, H. G.; STOLL, M.; SANTOS, T.; DE SOUSA, C.; CHAVES, M. M. y GRANT, O. M. (2002): «Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine»; *Journal of Experimental Botany* (53); pp. 2249-2260.
- MARTÍNEZ-GIMENO, M. A.; CASTIELLA, M.; RÜGER, S.; INTRIGLIOLO, D. S. y BALLESTER, C. (2016). «Evaluating the usefulness of continuous leaf turgor pressure measurements for the assessment of Persimmon tree water status»; *Irrigation Science*. DOI:10.1007/s00271-016-0527-3.
- MIRÁS-AVALOS, J. M.; PÉREZ-SARMIENTO, F.; ALCOBENDAS, R.; ALARCÓN, J. J.; MOUNZER, O. y NICOLÁS, E. (2016): «Using midday stem water potential for scheduling deficit irrigation in mid-late maturing peach trees under Mediterranean conditions»; *Irrigation Science* (34); pp. 161-173.
- NICOLÁS, E.; ALARCÓN, J. J.; MOUNZER, O.; PEDRERO, F.; NORTES, P. A.; ALCOBENDAS, R.; ROMERO-TRIGUEROS, C.; BAYONA, J. M. y MAESTRE-VALERO, J. F. (2016): «Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water»; *Agricultural Water Management* (166); pp. 1-8.

- PADILLA-DÍAZ, C. M.; RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M.; HERNANDEZ-SANTANA, V.; PEREZ-MARTIN, A. y FERNÁNDEZ, J. E. (2016): «Scheduling regulated deficit irrigation in a hedgerow olive orchard from leaf turgor pressure related measurements»; *Agricultural Water Management* (164); pp. 28-37.
- PEDRERO, F.; MAESTRE-VALERO, J. F.; MOUNZER, O.; NORTES, P. A.; ALCOBENDAS, R.; ROMERO-TRIGUEROS, C.; BAYONA, J. M.; ALARCÓN, J. J. y NICOLÁS, E. (2015): «Response of young ‘Star Ruby’ grapefruit trees to regulated deficit irrigation with saline reclaimed water»; *Agricultural Water Management* (158); pp. 51-60.
- VÉLEZ, J. E.; INTRIGLIOLO, D. S. y CASTEL, J. R. (2007): «Programación del riego deficitario en Clementina de Nules mediante dendrómetros»; *Levante Agrícola* (387); pp. 313-317.

V. REVISIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Análisis crítico de la modernización de regadíos

Pensando el futuro ¿cómo será el nuevo paradigma?

Joan Corominas Masip^(a) y Rafael Cuevas Navas^(b)

^aFundación Nueva Cultura del Agua y ^bJunta de Andalucía

1. El final del mito de más regadíos

Desde que en los años finales del siglo XIX Joaquín Costa pregonaba las excelencias del regadío y la política hidráulica, con frases lapidarias como «Ahí tiene usted lo que es la ‘política hidráulica’; una expresión sublimada de la ‘política agraria’, y generalizando más, de la ‘política económica’ de la Nación», ha ido calando en toda la sociedad española la bondad de llevar agua a nuestros áridos campos. Así se fue creando el mito de la transformación en regadío, anhelada por todos los agricultores y en el que el Estado asumió a lo largo de todo el siglo XX su promoción con la construcción de más de mil grandes presas, los canales de distribución y aún en muchos casos la propia transformación en regadío y la instalación de colonos agrícolas (MIMAM, 2008): en este período hemos aumentado la superficie regada históricamente (1 millón de hectáreas) hasta los 3,6 millones de hectáreas actuales (21 % de la superficie cultivada en España).

Antes de esta inmensa política de obras hidráulicas los recursos hídricos que podían ser utilizados para abastecimiento y agricultura únicamente representaban un 7,4 % del total de aportaciones medias de los ríos y después de este siglo de construcciones de embalses y apertura de sondeos profundos se ha más que quintuplicado este porcentaje, alcanzando en el año 2000 el 40,5 % de todas las escorrentías medias (MIMAM, 2008).

Se ha considerado que el período de la dictadura franquista representó el apogeo de estas políticas hidráulicas, pero no es menos cierto que en el período democrático actual tanto los gobiernos socialistas como los populares se han afanado en la continuación de la construcción de presas a un ritmo medio de unas 16 cada año, y llevado a cabo las subsiguientes transformaciones en regadío.

Tabla 1. Recursos y usos del agua en España y Andalucía

	España		Andalucía	
	hm ³	Aportaciones medias (%)	hm ³	Aportaciones medias (%)
Aportaciones medias a los ríos	111.186	100,0	12.244	100,0
Disponibilidad de recursos en regimen natural	8.179	7,4	251	2,1
Capacidad de embalses	56.500	50,8	10.489	85,7
Disponibilidades de recursos	45.034	40,5	4.848	39,6
<i>Regulado en embalses</i>	<i>39.175</i>		<i>3.764</i>	
<i>Bombeo actual de aguas subterráneas</i>	<i>5.532</i>		<i>1.011</i>	
<i>Desalación</i>	<i>233</i>		<i>41</i>	
<i>Reutilización directa</i>	<i>94</i>		<i>32</i>	

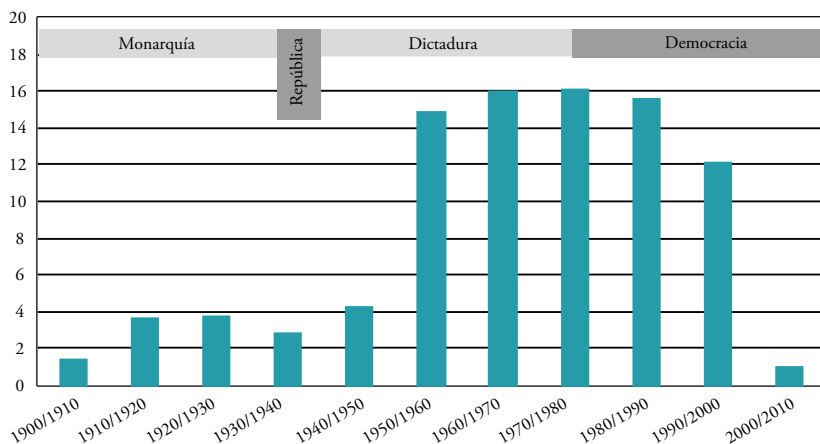
Fuente: *Libro Blanco del Agua* (1998). Elaboración propia.

Pero a partir del cambio de siglo se ha cortado de raíz la construcción de embalses por diferentes causas coadyuvantes: agotamiento de las cerradas adecuadas, complejidad creciente de su construcción y aumento de los costes económicos, afecciones crecientes y en muchos casos inadmisibles para el medioambiente, frecuentemente afectando a espacios protegidos, y creciente oposición de poblaciones cercanas a las presas y colectivos sociales y ecologistas que se oponen a estas grandes infraestructuras. Finalmente, la promulgación en el año 2000 de la Directiva Marco del Agua (DMA) ha puesto el principio de no deterioro de las masas de agua como un valladar a estas obras, salvo que se demuestre motivado y fehacientemente el interés público superior de aumentar las demandas de recursos hídricos y que no existan alternativas viables a las obras de regulación. Hemos llegado a un momento en que puede darse por concluida y agotada la política de nuevos embalses y en consecuencia la de nuevos regadíos (Corominas, 2015).

En la grave y larga sequía de 1992 a 1996 se establecieron severas restricciones en los abastecimientos urbanos y prácticamente no se pudo regar en el levante, centro y sur peninsular. Como consecuencia, regantes y administraciones se concienciaron de la necesidad de finalizar la etapa secular de continuo crecimiento de los regadíos. Las administraciones han asumido esta tendencia, disminuyendo claramente el apoyo a los nuevos regadíos y controlando mejor las concesiones y el uso ilegal de las aguas superficiales. Pero la inercia del mito del regadío, junto con las ventajas competitivas del

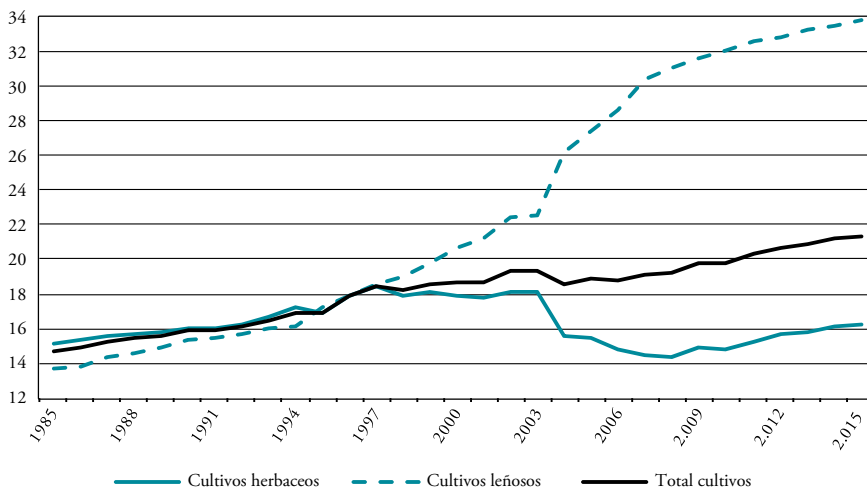
riego deficitario de cultivos leñosos como el olivo y la viña, ha propiciado que continúen creciendo los regadíos de cultivos leñosos y hayan descendido los dedicados a cultivos herbáceos (MAGRAMA, 2015, 2016).

Gráfico 1. Ritmo de construcción de embalses en España



Fuente: MAGRAMA. Elaboración propia.

Gráfico 2. Importancia del regadío en la agricultura española (1985-2015). En porcentaje



Fuente: Anuarios de Estadística y Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos-ESYRCE (MAGRAMA). Elaboración propia.

Este aumento se manifiesta en el desmesurado y descontrolado crecimiento de los regadíos con aguas subterráneas, en donde es más difícil de controlar su uso, y que en el caso de Andalucía ha supuesto un crecimiento de 228.000 ha en el período 1997-2008 (CAP, 2010), dedicados en su gran mayoría a riegos deficitarios de olivar. Ejemplos similares se han producido en Castilla-La Mancha, Murcia y en todo el levante mediterráneo.

Tabla 2. Crecimiento de los regadíos andaluces en función del origen del agua (1997-2008)

	Superficie en regadío (ha)	Origen del agua (ha)			Riego de olivar (ha)
		Superficial	Subterránea	Residual y desalada	
Inventario de regadíos 2008	1.106.394	669.679	423.153	13.563	507.394
Inventario de regadíos 1997	814.285	614.978	194.970	2.833	277.745
Variación 2008/1997 (ha)	292.109	54.701	228.183	10.730	229.649
Variación 2008/1997 (%)	35,9	8,9	117,0	378,8	82,7

Fuente: Inventarios de regadíos de Andalucía (1997-2008). CAP. Elaboración propia.

La DMA obligaba a alcanzar el buen estado de todas las masas de agua, superficiales, subterráneas o de transición y costeras, en el año 2015, lo que dista mucho de ser cierto en España en la actualidad, en la que en muchas demarcaciones hidrográficas no se alcanza el 50 % de las masas de agua en buen estado (Comisión Europea, 2015a). Existe una relación clara entre la presión de las extracciones de agua para regadío (65-90 % de la demanda), contaminación difusa de origen agrario y estado de las masas de agua (WWF, 2010) y (García Bautista y Martínez, 2016).

En el 2.º ciclo de planificación hidrológica (2015-2021) tendremos que hacer un esfuerzo radical en invertir estas tendencias, lo que obliga a disminuir las presiones cuantitativas y cualitativas sobre las masas de agua, teniendo el regadío una tarea importante que asumir (Comisión Europea, 2015b).

Aunque las expectativas de fondo sobre la deseabilidad de nuevos regadíos continuen en buena parte de los agricultores, cada vez se convierten en más retóricas que alcanzables, por el estrés y deterioro a que están sometidos

los recursos hídricos, por las orientaciones y directrices de las políticas europeas agraria y de aguas, y por el mayor control, y menor apoyo institucional y financiero, de las administraciones españolas a las tradicionales políticas de nuevos regadíos (Lopez Gunn *et al.*, 2012). Estamos ya instalados definitivamente en el final del mito de más regadíos (Corominas, 2008).

Tabla 3. Indicadores del estado de las masas de agua y de la presión del regadío en las demarcaciones hidrológicas españolas

Demarcación hidrográfica	Masas de agua en buen estado (%)	Índice de uso agrícola del agua (% sobre total de usos)
Cantábrico Occidental	81,0	16,2
Ebro	69,0	93,8
Duero	21,0	
Tajo	58,0	68,9
Guadiana	28,5	83,2
Guadalquivir	61,0	87,9
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	49,0	70,8
Guadalete-Barbate	42,0	70
Tinto, Odiel y Piedras	38,0	64,7
Segura	44,0	86,2
Baleares	40,0	28,4

Fuente: García Bautista, A. y Martínez Fernández, J. (FNCA, 2016).

2. La modernización de regadíos: el paradigma que se agota

El crecimiento del regadío, a menudo sin control ni concesión de aguas, ha generado una presión con efectos inasumibles por ríos y acuíferos, degradando los ecosistemas hídricos, que a su vez provocan situaciones de restricción en el abastecimiento (sequía de los años 1992-1995) y la disminución frecuente de las propias dotaciones de riego cuando se solapan varios años secos. Esta fuerte sequía fue un aldabonazo a la Administración y a los regantes para ahorrar agua, poniendo como modelo de actuación (casi único) la modernización de los regadíos. Se entendía que muchas infraestructuras de conducción y distribución del agua a cielo abierto, y muchas veces sin revestir, eran la causa de un gran desperdicio del agua que se valoraba entre el 40 y 50 % de la utilizada en antiguos sistemas de riego por gravedad (MAPA, 1999).

Tabla 4. Objetivos del Plan Nacional de Regadíos (H-2008)

Actuaciones del PNR	Superficie (miles ha)	Incremento respecto a 1999 (%)	
Superficie de regadío 1999	3.345		
Nuevos regadíos y regadíos sociales	225	6,7	
Modernización y consolidación de regadíos	1.135	33,9	
Inversiones del PNR	(millones de euros)	Total inversión (%)	Financiación pública (%)
Nuevos regadíos y regadíos sociales	1.818	36,2	76,5
Modernización y consolidación de regadíos	3.057	60,8	50,0
Subvención a regadíos privados	150	3,0	
Total inversiones del PNR	5.024	100,0	60,0

Fuente: PNR-H2008 (MAPA, 1999). Elaboración propia.

Como consecuencia se aprobó el Plan Nacional de Regadíos H-2008 (PNR), y otros planes de carácter autonómico (Plan de Regadíos de Andalucía 1996) que, en sintonía con los planes hidrológicos de 1998 de las diversas cuencas, buscaba el objetivo de modernizar 1.135 miles de ha, con un ahorro medio del 22 % del agua que se consumía en aquel momento.

El importante apoyo financiero público ha incentivado a las principales comunidades de regantes a desarrollar proyectos de modernización de las infraestructuras de riego, superándose los objetivos iniciales del PNR, después de ampliar su vigencia en 2 años, estimándose que se han modernizado 1,5 millones de ha, aunque no existe información estadística publicada por el MAGRAMA de los resultados e impactos del PNR (WWF, 2015).

2.1. La modernización de regadíos en Andalucía (1997-2008)

En cambio, en la comunidad autónoma de Andalucía se dispone de información detallada de las actuaciones de modernización de regadíos llevadas a cabo desde 1997, por lo que detallaremos los cambios que han producido en los regadíos modernizados. Esta información detallada puede dar pistas de los efectos de la modernización de regadíos en el conjunto de España (CAP, 2010, 2011).

Tabla 5. Actuaciones de modernización de regadíos en Andalucía (1997-2008)

	Total regadíos 2008	Zonas modernizadas 1997-2008 (> 80 % del área de riego)	Zonas modernizadas 1997-2008 (> 20 % y < 80 % del área de riego)	Zonas modernizadas 1997-2008 (< 20 % del área de riego)
Superficie modernizada 1997-2008 (ha)	347.234	204.056	110.289	32.889
Inversión prevista modernización (millones de euros)	1.541	1.112	345	84
Subvención modernización (millones de euros)	914	634	230	49
Inversión modernización/ha (euros/ha)	4.438	5.450	3.130	2.541
Superf. modernizada del área de riego de 1997 (%)	43	105	42	9

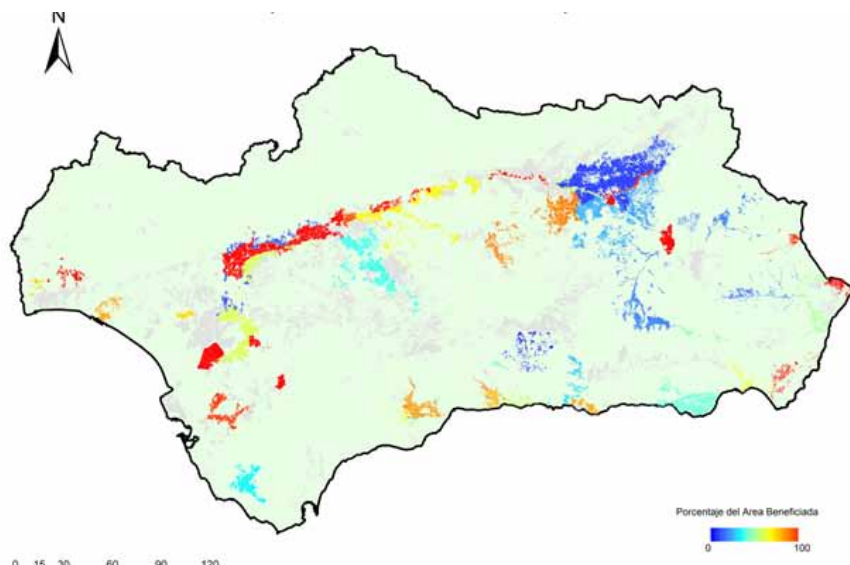
Fuente: Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (CAR, 2010). Elaboración propia.

En el período 1997-2008 se han modernizado 347 mil ha, lo que supone un 43 % del total de los regadíos existentes en 1997. La información se ha clasificado en tres grupos de áreas de riego en función del porcentaje de riegos modernizados (Corominas, 2011): desde las zonas prácticamente modernizadas en su totalidad (la superficie modernizada incluso supera a la existente en 1997, lo que sugiere la aparición del *efecto rebote* en el que se incidirá más adelante), las de un nivel de modernización media y las de muy baja modernización. En las primeras se encuentran las grandes zonas regables de iniciativa pública, en las segundas zonas de tamaño medio y regadío tradicional y en el tercer grupo las zonas de pequeños regadíos del interior de Andalucía y las zonas de gran crecimiento del riego deficitario de olivar con aguas subterráneas.

La inversión total en la modernización de regadíos ha alcanzado los 1.541 millones de euros, contando con una financiación pública del orden del 60 %, con una inversión media 4.438 euros/ha, aunque con grandes diferencias entre zonas regables según el grado de intensidad de la modernización (entre 1.500 y 10.000 euros/ha).

La financiación pública se ha realizado a través de múltiples instituciones y empresas públicas, dependientes de la administración central y de las autonómicas, con evidente descoordinación y competencia desleal para conseguir atraer a comunidades de regantes con condiciones financieras más ventajosas.

Figura 1. Áreas de riego modernizadas en Andalucía en el período 1997-2008



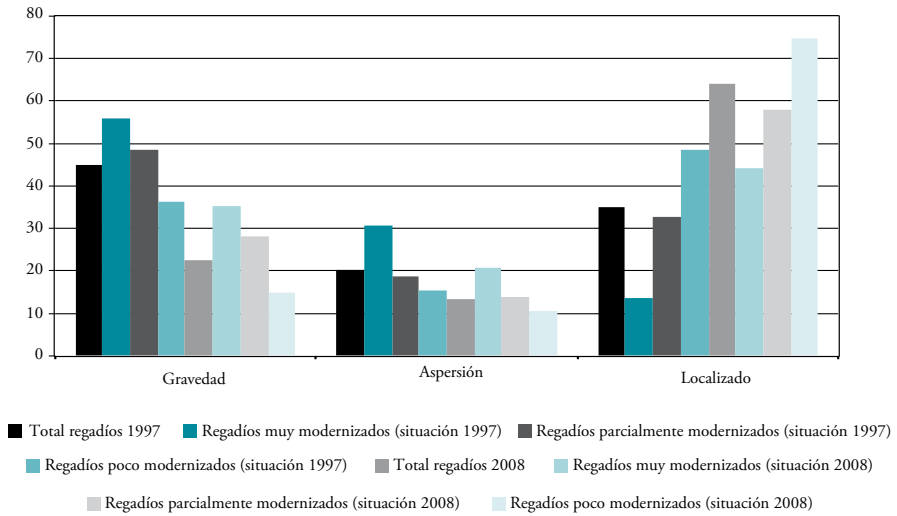
Fuente: Agenda del regadío andaluz (H-2015). CAP (2011).

Los proyectos de modernización de regadíos, pensados para ahorrar agua en las zonas de riego, se han diseñado modificando las infraestructuras de distribución del agua para disminuir las pérdidas en su trayecto hasta la planta. El formato general ha sido la sustitución de los sistemas de canales y acequias a cielo abierto, en la mayor parte de los casos, por redes de tubería a presión con sistemas de riego por aspersión o localizado.

La constatación de este modelo de proyectos de modernización de regadíos se repite en los territorios del levante y sur peninsular, junto con las islas, en los que ha sido más intensa. De esta forma, en Andalucía y Murcia más del 70 % de los regadíos lo son por riego localizado. En el otro extremo Navarra, Aragón y Cataluña mantienen más del 55 % de los riegos por el sistema de gravedad (MAGRAMA, 2015).

La mayor garantía de disponibilidad del agua, y la mayor flexibilidad en su uso alcanzada con la modernización de regadíos, ha inducido en Andalucía una intensificación de la explotación con una fuerte disminución de los cultivos extensivos de invierno, gran crecimiento de los cultivos extensivos y semintensivos de verano en las zonas muy modernizadas y un extraordinario crecimiento del riego deficitario de olivar tradicional de secano y de nuevas plantaciones.

Gráfico 3. Cambios en los sistemas de riego en Andalucía (1997-2008) en función del grado de modernización de regadíos. En porcentaje



Fuente: Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (CAP, 2010), Elaboración propia.

Figura 2. Distribución de los sistemas de riego en las comunidades autónomas



Fuente: Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (2015) (MAGRAMA).

Tabla 6. Cambios en los grupos de cultivos en Andalucía (1997-2008), en función del grado de modernización de regadíos

Grupos de cultivos (% superf. total)	Total regadíos 2008		Zonas muy modernizadas 1997-2008 (> 80 % del área de riego)		Zonas parcialmente modernizadas 1997-2008 (> 20 % y < 80 % del área de riego)		Zonas poco modernizadas 1997-2008 (< 20 % del área de riego)	
	Inventario regadíos 1997	Inventario regadíos 2008	Inventario regadíos 1997	Inventario regadíos 2008	Inventario regadíos 1997	Inventario regadíos 2008	Inventario regadíos 1997	Inventario regadíos 2008
Extensivos invierno	24,7	8,4	46,8	7,9	16,4	9,4	18,8	8,0
Extensivos y semiintensivos verano	16,5	19,9	18,2	43,4	23,1	20,8	10,9	10,9
Hortícolas	12,7	8,5	13,2	13,4	10,7	9,3	13,9	6,2
Invernaderos y fresa	4,8	4,3	4,8	5,6	8,4	8,4	2,1	1,5
Frutales, subtropicales y cítricos	13,0	13,0	11,7	21,5	15,5	12,3	12,0	10,3
Olivar	28,2	45,9	5,3	8,2	25,8	39,8	42,2	63,1

Fuente: Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (CAP, 2010 y 2011). Elaboración propia.

En el período de referencia ha aumentado considerablemente la superficie de regadío en Andalucía, siendo desbordados, tanto los planes de regadíos, autonómico y nacional, como los planes hidrológicos de 1998 que consideraban que el crecimiento de los nuevos regadíos debía ser limitado. La realidad devalúa la planificación pública y pone de manifiesto el laxo control de todas las administraciones. Se produce el descontrol en la gestión de las concesiones de aguas, que junto al escaso número de sanciones o cierre de captaciones en relación a la magnitud del fraude, impulsa pasivamente el desarrollo de nuevos regadíos.

El incremento medio del 36 % de regadíos en el período, es menor en las zonas muy modernizadas (9 %) y mucho mayor en las zonas poco modernizadas (60 %).

La modernización del 43 % de los regadíos existentes en 1997 y la dedicación a riegos de olivar de buena parte de los nuevos regadíos ha conseguido que el uso total del agua solo aumente un 2 %, y en cambio el uso por ha disminuya casi un 25 %. Hay que destacar que este descenso del uso unitario solo es del orden del 9 % en los regadíos muy modernizados, ya que son los que han tenido un mayor proceso de intensificación de cultivos.

Tabla 7. Incremento de la superficie regada y cambios en el uso del agua en los regadíos andaluces (1997-2008)

	Total regadíos 2008		Zonas muy modernizadas 1997-2008 (> 80 % del área de riego)		Zonas parcialmente modernizadas 1997-2008 (> 20 % y < 80 % del área de riego)		Zonas poco modernizadas 1997-2008 (< 20 % del área de riego)	
	△ (%)		△ (%)		△ (%)		△ (%)	
Superf. regada 2008 (ha)	1.106.394		211.539		319.699		575.157	
Superf. regada 1997 (ha)	814.285		193.476		260.651		360.158	
Incremento superf. regada 2008/1997 (ha)	292110	36	18063	9	59.048	23	214999	60
Incremento riego con agua superficial 2008/1997 (ha)	54.701	5,2	13.004	6,6	21.638	7,3	20.058	3,6
Incremento riego con agua subterránea 2008/1997 (ha)	228.183	38,9	-409	-0,2	35.475	15,8	193.117	115,6
Uso agua 2008 (hm ³)	3.943		1.194		1.300		1.449	
Uso agua 1997 (hm ³)	3.860		1.202		1.367		1.292	
Var. uso agua 2008/1997 (hm ³)	83	2,1	-8	-0,6	-67	-4,9	158	12,2
Uso de agua por ha en 2008 (m ³ /ha)	3.563		5.643		4.065		2.520	
Uso de agua por ha en 1997 (m ³ /ha)	4.740		6.210		5.243		3.586	
Var. uso agua 2008/1997 (m ³ /ha)	-1.176	-24,8	-567	-9,1	-1.178	-22,5	-1.066	-29,7

Fuente: Inventarios de regadíos de Andalucía 1997-2008 (CAP). Elaboración propia.

De la información disponible de las zonas muy modernizadas se puede deducir que el ahorro bruto en parcela ha sido grande, probablemente del orden del 25 %, pero que también han disminuido mucho los retornos de riego o la infiltración de sobrantes a los subálveos, que eran utilizados aguas abajo en otras zonas de riego (Berbel y Mateos, 2014), con lo que el ahorro neto a nivel de cuenca hidrográfica ha sido mucho menor, del orden del 12 %.

Del análisis de las zonas de riego muy modernizadas se observa que se ha producido en ellas un incremento del 9,3 % de la superficie regada, de la que un 7 % puede considerarse un *efecto rebote* de la modernización de regadíos: se ha aprovechado el proceso de modernización para ampliar la superficie regada a zonas periféricas.

En las zonas donde se produce una intensificación de cultivos se estima que la dotación neta por hectárea es superior en un 21,2 % a la que se producía en 1997. El efecto combinado de esta intensificación y la mejora de

la eficiencia bruta debido a la modernización produce una disminución del 9,1 % del uso de agua por ha. Asimismo, el crecimiento de nuevos regadíos ha comportado un uso total del agua casi idéntico a la del principio del período (-0,6 %).

Tabla 8. Mejora de la eficiencia de los regadíos andaluces modernizados (1997-2008)

	Zonas muy modernizadas 1997-2008 (> 80 % del área de riego)				Cambios producidos
	Inventario 1997	Inventario 2008	△	△ (%)	
Superf. regada 2008/1997 (ha)	193.476	211.539	18.063	9,3	Aumento total de regadíos
Áreas de riego 1997 totalmente modernización en 2008 (ha)	141.945	155.473	13.528	7,0	Incremento de regadíos ligado a la modernización
Incremento de regadíos aparte del efecto rebote (ha)			4.535	2,3	Crecimiento de regadíos no ligado a la modernización
Uso de agua (hm ³)	1.202	1.194	-8	-0,6	Pequeño descenso del uso total
Uso de agua (m ³ /ha)	6.210	5.643	-567	-9,1	Apreciable descenso del uso por hectárea
Estimación del incremento de dotación neta por hectárea, ligado a la intensificación de cultivos (%)				21,2	Crecimiento de cultivos extensivos de verano y frutales y cítricos
Estimación eficiencia del riego antes de la modernización (%)				0,65	
Estimación eficiencia del riego después de la modernización (%)				0,87	
Estimación del ahorro bruto exclusivamente por la modernización de regadíos (%)				-25,0	Alto ahorro bruto
Estimación del ahorro neto exclusivamente por la modernización de regadíos (%)				-11,7	Bajo ahorro neto
Estimación del incremento de consumo por hectárea, después de la modernización (%)				7,0	Pequeño aumento del consumo por hectárea
Estimación del incremento de consumo total, después de la modernización (%)				17,0	Fuerte aumento del consumo total: efecto rebote

Fuente: Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (CAP, 2010). Elaboración propia.

En el conjunto de estas zonas muy modernizadas de Andalucía, si nos fijamos en el consumo de agua (descontado del uso los retornos de riego), se ha producido un incremento del 7 % del consumo por hectárea y un 17 % en el conjunto de la superficie modernizada: un resultado inesperado por el *efecto rebote*, la intensificación de cultivos y la confusión entre ahorro bruto y neto de agua (Berbel *et al.*, 2015).

Consecuencia del modelo de modernización elegido junto a la mejora de la eficiencia bruta en el uso del agua se ha producido un incremento del consumo energético muy elevado (del orden de un 32,5 %) en las zonas muy modernizadas (Corominas, 2008) y (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2011).

Tabla 9. Incremento de la producción y el empleo en las zonas modernizadas de Andalucía (1997-2008)

	Total regadíos 2008		Zonas modernizadas 1997-2008 (> 80 % del área de riego)		Zonas modernizadas 1997-2008 (> 20 % y < 80 % del área de riego)		Zonas modernizadas 1997-2008 (< 20 % del área de riego)	
	△ (%)		△ (%)		△ (%)		△ (%)	
Superf. regada 2008 (ha)	1.106.394		211.539		319.699		575.157	
Ingresos 2008 (millones de euros)	6.594		1.507		2.448		2.640	
Incremento producción 2008/1997 (millones de euros)	2.318	54,2	474	45,9	726	86,7	1.119	73,6
Ingresos por ha en 2008 (euros/ha)	5.960		7.124		7.656		4.590	
Incremento producción 2008/1997 (euros/ha)	709	13,5	1.784	33,4	1.049	15,9	366	8,7
Empleo 2008 (UTA)	176.778		40.186		64.183		72.409	
Incremento empleo 2008/1997 (UTA)	52.179	41,9	11.523	40,2	21.134	49,1	19.522	36,9
Empleo 2008 (UTA/100 ha)	16,0		19,0		20,1		12,6	
Incremento empleo 2008/1997 (UTA/100ha)	0,7	4,4	4,2	28,2	3,6	21,6	-2,1	-14,3

Fuente: Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (CAP, 2010). Elaboración propia.

Los efectos del proceso de modernización de regadíos también se ponen de manifiesto en el incremento de la productividad y el empleo en los regadíos con incrementos de la producción y empleo por ha. del 33,4 % y 28,2 % respectivamente en las zonas altamente modernizadas, como consecuencia de la intensificación de cultivos producida. En las zonas medianamente o escasamente modernizadas son bastante inferiores ambos indicadores, lo que muestra el efecto beneficioso para la agricultura de regadío de su modernización, más allá de los efectos negativos que se hayan producido (escaso ahorro de agua consumida, e incluso aumento en determinadas zonas, y fuerte aumento del consumo energético).

2.2. La modernización de regadíos en Andalucía (2009-2015)

En el período 2009-2015 ha seguido aumentando la superficie modernizada, si bien a menor ritmo que en el decenio anterior. Y ello es debido en gran parte, a que las zonas con mayores ventajas e interés en la modernización ya se han beneficiado del proceso y a la crisis económica, que afecta tanto a las instituciones financieras como a regantes.

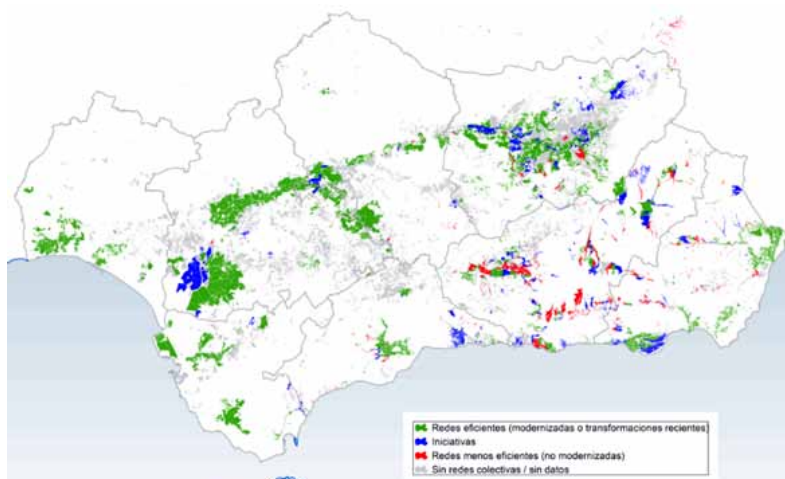
Tabla 10. Actuaciones de modernización de los regadíos andaluces (2009-2015)

Superficie modernizada 2009-2015, o intensificada la modernización anterior (ha)	193.068
Superficie de actuación 2009-2015, no modernizada anteriormente (ha)	123.197
Inversión en la modernización (millones de euros)	511.771
Subvención otorgada a la modernización (millones de euros)	374.639

Fuente: elaboración propia a partir de información no editada de la CAPDER.

Se ha actuado sobre un total de 193 mil ha, de las cuales 71.000 ha han intensificado, con actuaciones complementarias, la modernización realizada en el período 1997-2008, por lo que las nuevas modernizaciones del período 2009-2015 han alcanzado la cifra de 123.000 ha.

Figura 3. Situación de la modernización de regadíos en Andalucía 1995-2015



Fuente: elaboración propia a partir de información no editada de la CAPDER.

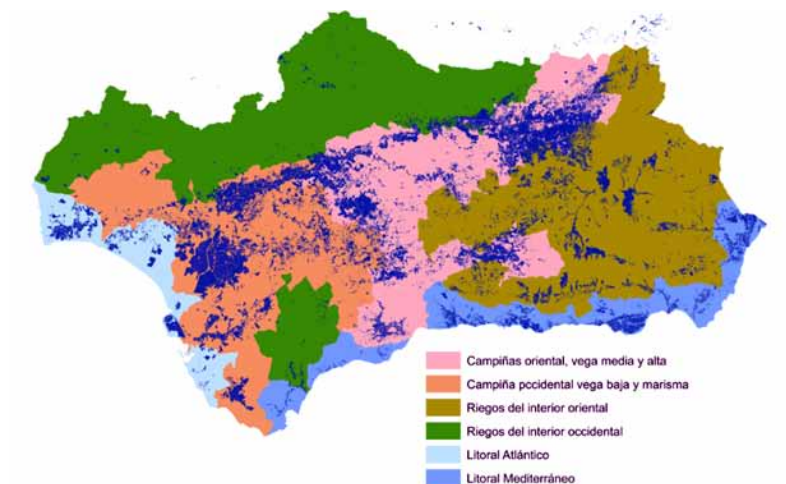
Esta información actualizada se puede observar en el mapa de resultados en materia de regadíos. A grandes rasgos, en el litoral, las redes de riego son eficientes y el problema del sector es la garantía de suministro de agua para riego acorde al elevado nivel de inversión exigido de sus producciones en explotación intensiva. En consecuencia, no es de esperar se haya producido un gran ahorro de agua mediante la mejora de redes. Es hora de exigir medidas de gestión y autocontrol. La lógica hidrológica debe orientarse en esta línea a la que se suman cuestiones inherentes a afecciones en la calidad del agua y ambientales, incluida la intrusión salina de agua de mar.

En el interior parecen observarse patrones dependiendo de la morfología y estructura consolidada de las organizaciones de regantes. En el ámbito occidental se observa un salto cualitativo en la mejor eficiencia de las redes por lo que el ahorro de agua por vía de la modernización de regadíos se encuentra en su tramo asintótico. Los objetivos de ahorro previstos en los planes hidrológicos tan solo son posibles con una política consensuada de redistribución del recurso, transparencia en la gestión, autocontrol de los usuarios y refuerzo de la gobernanza.

En la zona oriental se observa una gran dispersión de ámbitos en los que es posible mejorar la eficiencia de las redes. Pero no hay que olvidar que son ya más de dos décadas de decidido impulso a la modernización, y en pura lógica, se ha realizado lo «fácil» y quedan las zonas en las que es más problemática la actuación. Y el primer freno son las estructuras organizativas, estimándose que del orden de 40.000 ha corresponden a regadíos tradicionales que surgen varios siglos atrás y una edad media avanzada del regante. En muchas ocasiones el valor de conservación de esta economía rural en semisubsistencia, viene dado por su vertiente social al fijar población en el medio rural. La utilización de conceptos como ahorro o productividad económica del agua tienen un dudoso alcance. En estos casos debe ser la Política de Desarrollo Rural quien debe definir la estrategia de sostenibilidad en un sentido amplio que excede lo meramente económico y ambiental.

Llegado este punto, parece adecuado continuar el análisis desglosado en las diferentes agriculturas de riego, y a tal fin, se ha sectorizado Andalucía separando el litoral del interior, que a su vez se subdivide en la zona de valles y campiñas, por lo general con mejores capacidades agrológicas, y otro de interior con régimen térmico e hídrico no tan favorable. En la Figura 4 se puede observar esta división de los regadíos andaluces.

Figura 4. Las agriculturas de regadío en Andalucía



Fuente: elaboración propia.

En el análisis comparativo entre inventarios de regadíos 1997-2008, tal como se indicó con anterioridad, confluye la finalización del paradigma de desarrollo de regadíos, conviviendo, en su fase final, con la expansión incontrolada de regadíos con aguas subterráneas, la modernización de regadíos y regionalmente la expansión del olivar en riego.

En la Tabla 11 se muestra la tendencia de una serie de indicadores cuya observación cualitativa nos da pista del cambio y tendencias. El elevado crecimiento medio de los regadíos se ha acelerado en los ámbitos donde las aguas subterráneas han estado más accesibles, siendo más notable aún en las zonas de confluencia con el cultivo tradicional de olivar.

Tabla 11. Cambios en los grandes grupos de regadíos de Andalucía (1997-2008)

Sup. regada (%)	Incremento regadío		Regadío moderniz. 2015	Var. producc.	Var. empleo	Var. uso agua subterr.	Riego localiz.	Cultivos extensivos y semitensivos	Olivar	Frutal, subtropical y cítricos	Hortícolas, invernaderos y fresas	Consumo de energía 2008
	1997	1997-2008										
Litoral Atlántico	4	●	●	○	●	○	○	●	○	●	●	●
Litoral Mediterráneo	9	○	●	○	●	○	○	●	○	●	○	●
Litoral	13	○	●	○	●	○	○	●	○	●	●	●
Campañas orientales, vegas medias y altas	36	●	●	●	○	○	●	○	●	○	○	○
Campañas occidentales, vega baja y marismas	30	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○
Vegas y campañas	66	●	●	●	○	○	●	○	●	○	○	○
Riegos del interior oriental	18	○	○	○	●	○	○	●	○	○	○	○
Riegos del interior occidental	3	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○
Regadíos del interior	20	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
Var. 1997-2008 (%)	100	36	36	23	54	-3	32	-3	34	4	-0,2	

● Superior a la media ○ En el entorno de la media ○ Inferior a la media

Fuente: elaboración propia.

En el ámbito litoral se observa el mayor desarrollo de los regadíos onubenses en comparación con el Mediterráneo, en donde, por lo general, se ha favorecido el desarrollo de infraestructuras de trasvase, desalación y reutilización de aguas regeneradas, que de alguna forma, alientan el crecimiento del regadío. La mayor preocupación de los regantes es la garantía del suministro de agua. Corresponde al ámbito en el que, por razones obvias derivadas de la intensidad productiva, la innovación tecnológica ha podido penetrar con mayor fluidez. Como efecto negativo, esta elevada intensidad productiva genera un grave problema de contaminación difusa y de gestión de residuos, asignatura pendiente y compartida de instituciones y regantes. Los indicadores socioeconómicos muestran una tendencia creciente, si bien situada en un tramo asintótico en el que es difícil adelantar situaciones, y ello está avalado por la importancia del tejido empresarial en la comercialización de productos y de penetración en mercados. Al corresponder a zonas muy especializadas los indicadores de tendencia de cultivos no muestran un comportamiento homogéneo. En el aspecto energético por lo general se observa una tasa elevada de consumo que repercute en el coste total del agua que alcanza del orden del 6 % del total de gastos de las explotaciones, por lo que el regante no visualiza en toda su importancia la creciente subida de las tarifas eléctricas.

En las vegas y campiñas se sitúan la mayor parte de las grandes zonas regables de iniciativa pública. Se ha producido la expansión de los cultivos de frutales y cítricos y del olivar en riego, propiciada por el riego localizado típico de estos cultivos, que se compensa con el fuerte descenso de los riegos por gravedad más propio de cultivos extensivos y semintensivos. Los indicadores socioeconómicos sugieren el incremento generalizado de producción final y empleo. La mejora de las redes y el cambio de cultivos con alta exigencia hídrica en favor del olivar con riego deficitario han propiciado una contención en el uso de agua, a pesar del crecimiento de regadíos. Los costes energéticos han aumentado en las zonas modernizadas, llegando en algún caso extremo a alcanzar hasta el 25 % de los costes totales de las explotaciones, lo que pone de manifiesto la fragilidad de este modelo de modernizaciones frente al incremento de los costes de la energía.

Los regadíos tradicionales del interior corresponden a las agriculturas de regadío más tradicionales y con menor capacidad productiva. Su fortaleza radica en la capacidad de contribuir al arraigo de la población en el medio

rural al generar actividad en pequeños valles o agriculturas de montaña –por lo general respetuosa con el medio natural– donde un sistema diferente de producción es escasamente viable. Hay que buscar en los condicionantes climáticos y agronómicos las causas que generan la avidez por la expansión del regadío contagiada por zonas vecinas más favorecidas. Y esta expansión genera un incremento relativo de la demanda por comparación con el litoral, vegas y campiñas. La producción final se mantiene a duras penas y a pesar de la tendencia al crecimiento del riego.

El fomento público de actuaciones de modernización de regadíos ha continuado muy vivo en el último septenio. Se estima que la inversión público-privada en materia de redes colectivas de regadío en Andalucía en el ciclo que acaba de finalizar (2009-2015) asciende a 511,8 millones de euros.

Tabla 12. Inversión y subvención estimada en materia de regadíos en Andalucía en el ciclo 2009-2015. En millones de euros

Origen de la financiación	Inversión	Subvención
Administraciones públicas	156,1	148,2
FEADER	196,8	110,5
FEDER	141,2	112,5
Regantes	17,7	
Total	511,8	374,6

Fuente: elaboración propia a partir de información no editada de la CAPDER.

La mayor parte de las actuaciones han sido cofinanciadas tanto por las administraciones públicas españolas como por los Fondos Europeos FEDER y FEADER. Han recibido una subvención de 374,6 millones de euros, lo que equivale como valor medio al 73 % de la inversión.

Realizando la agregación de etapas, en las dos últimas décadas el salto ha sido verdaderamente notable, habiéndose modernizado el 58 % de los regadíos anteriores a 1995.

Durante la vigencia del Plan de Desarrollo Rural 2014-2020 (PDR) se debería terminar de actuar en las zonas que mantienen aún su interés y conveniencia en modernizarse.

Tabla 13. La modernización de regadíos en Andalucía 1995-2015

	Superficie (ha)		Inversión (millones de euros)	Subvención (millones de euros)
	Total regadíos	Actuaciones de modernización		
Litoral Atlántico	46.106	38.112	324	226
Litoral Mediterráneo	89.345	63.643	412	276
Litoral	135.451	101.755	736	502
Campiñas orientales, vegas medias y altas	426.264	131.899	427	265
Campiñas occidental, vega baja y marismas	341.289	176.300	741	436
Vegas y campiñas	767.552	308.199	1.168	701
Riegos del interior oriental	168.338	58.191	116	65
Riegos del interior occidental	35.053	2.286	33	20
Regadíos del interior	203.391	60.477	149	85
Total	1.106.394	470.431	2.053	1.288

Fuente: elaboración propia a partir de información no editada de la CAPDER.

Tabla 14. Previsión de actuaciones de modernización de los regadíos andaluces (2016-2020). En miles de hectáreas

Superficie modernizada 1997-2008	347
Superficie modernizada 2009-2015	123
Estimación modernizaciones 2016-2020	104
Total modernizaciones 1997-2020	575
Zonas que no necesitan la modernización (regadíos posteriores a 1997)	292
Zonas que no se modernizarán por falta de redes colectivas o interés en la modernización	239
Total regadíos 2008	1.106

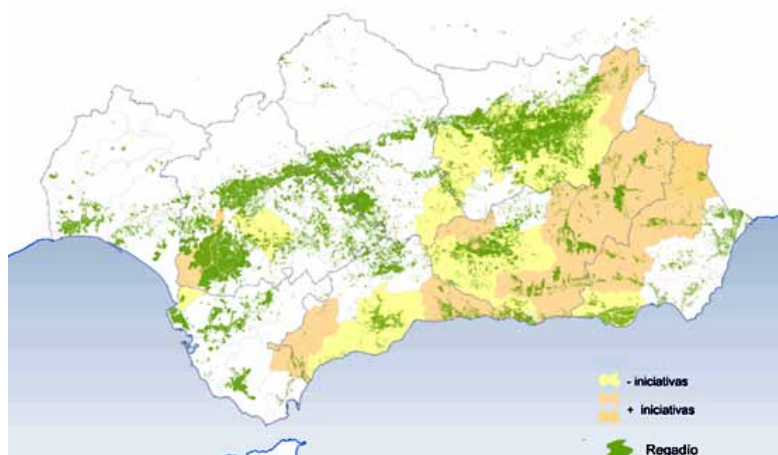
Fuente: CAP. Elaboración propia.

La escasez de fondos europeos, y la continuación de la crisis económica, para apoyar la financiación de las actuaciones de modernización, probablemente dificultarán alcanzar las previsiones de actuar en las 104.000 ha con mayores posibilidades de acometer su modernización. En el próximo marco la previsión de fomento público será muy limitada. Los fondos FEDER no podrán destinarse a la mejora de redes de riego y es de prever que aconteci-

mientos recientemente acaecidos limiten las aportaciones públicas a las infraestructuras del agua por lo que asistiremos a un proceso competitivo de acceso a fondos para la mejora de las infraestructuras en alta (presas, trasvases, canales, desaladoras...), incluida su conservación y mantenimiento y las infraestructuras del ciclo urbano del agua incluida la regeneración.

La liquidación del proceso de modernización de regadíos entendida en el sentido comúnmente admitido de sustitución de acequias por tuberías no va a ser fácil. El elenco de problemas no es menor: dificultades financieras, reconocimiento administrativo de derechos de riego, incorporación de jóvenes y dualidad de intereses de comuneros, insuficiente margen económico para amortización de inversiones, etc. En el mapa inserto a continuación se visualizan a grandes zonas el ámbito de acción para el horizonte 2020.

Figura 5. Previsión de la modernización de regadíos en Andalucía (H-2020)



Fuente: CAPDER. Elaboración propia.

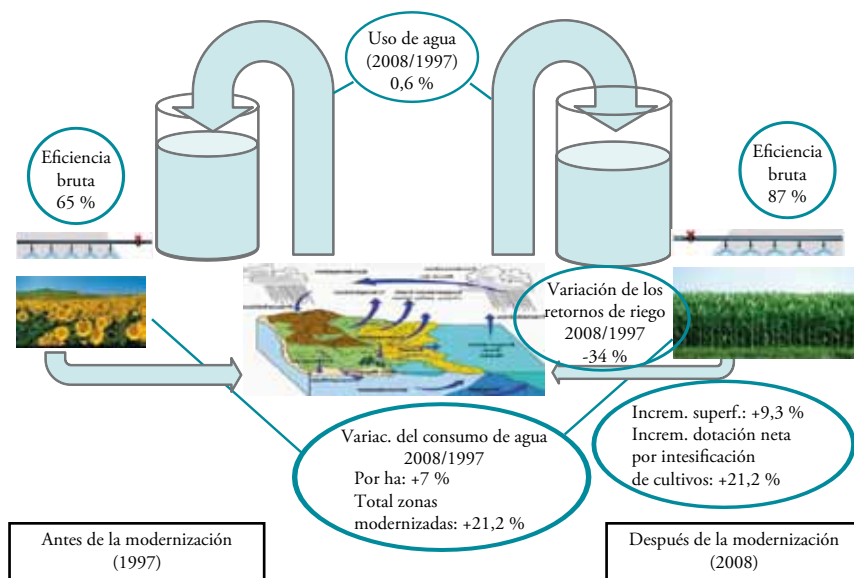
2.3. Análisis crítico de la modernización de regadíos

El balance del proceso de modernización de regadíos de Andalucía ha sido muy exitoso en cuanto al colectivo de regadíos modernizados y efectos socio-económicos, en relación a lo previsto en la planificación, pero un análisis crítico deja entrever claroscuros que analizaremos, y que probablemente

pueden extrapolarse, con las singularidades de cada territorio, al conjunto del regadío español:

- El ahorro bruto de agua usada en las superficies modernizadas ha sido elevado (del orden del 25 %), pero el ahorro neto, teniendo en cuenta la disminución de la infiltración a los subálveos y los retornos a los cauces, se reduce al entorno del 12 %.
- Los ahorros netos de agua por ha tampoco se han destinado a los fines públicos que justificaron el PNR: aumentar la resiliencia frente a las sequías y mejorar los caudales ecológicos de los ríos. No se ha producido la legal revisión de las dotaciones de las concesiones de agua para adaptarlas a las nuevas demandas después de la modernización (WWF, 2015).
- Se ha producido el llamado *efecto rebote* por el cual se consume más agua, después de la modernización, por sustitución de cultivos e intensificación de la producción al tener más asegurada la disponibilidad del agua e incluso por aumento de superficies aledañas a las zonas de riego (Berbel *et al.*, 2015).
 - Ha aumentado un 7 % la superficie de riego ligada al proceso de la modernización.
 - La intensificación y diversificación de los regadíos modernizados ha aumentado las necesidades netas de riego en un 21 %.
- La productividad del regadío por hectárea, y el empleo generado, han aumentado en un 33 % y un 28 % respectivamente en las zonas modernizadas.
- Como resultado final de los cambios inducidos por la modernización de regadíos el uso unitario del agua ha descendido un 9 % y se ha estabilizado el uso total del conjunto de los regadíos modernizados, pero como consecuencia de la mayor eficiencia han disminuido los retornos del riego y el consumo unitario ha aumentado un 7 % y el consumo total un 17 %.
- El proceso paralelo de incremento de 228 mil ha de regadíos con aguas subterráneas destinadas al olivar con riego deficitario (unos 1.500 m³/ha) ha conducido a que no haya disminuido el uso del agua a nivel de Andalucía y que el consumo neto haya aumentado.

Figura 6. Estimación de los efectos de la modernización de regadíos en los cultivos y en el ciclo hidrológico



Fuente: Inventarios de regadío (1997 y 2008) y las modernizaciones de regadíos en este período (CAPDER).
Elaboración propia.

- El modelo de modernizaciones predominante se ha basado en sustituir las redes de distribución abiertas y sistemas de riego por gravedad por conducciones cerradas a presión para riego localizado. El consecuente aumento del consumo energético (MITYC, 2008), la complejidad tecnológica en la gestión y el aumento de los costes del agua se hace insostenible (Corominas, 2010).
- No ha habido creatividad y adaptabilidad a las características de cada zona en el diseño de la modernización de regadíos, aplicando un patrón común sin tener en cuenta las circunstancias del regadío a modernizar y los parámetros de rentabilidad.
- La mejora de la seguridad en el abastecimiento, la mayor flexibilidad en el uso del agua y la comodidad para el regante son factores altamente positivos y que mejoran las posibilidades de adaptar la estrategia productiva más conveniente para cada regante.
- Muchas comunidades de regantes no disponen del personal técnico de gestión de las nuevas instalaciones de riego.

- En zonas en las que conviven medianas y grandes explotaciones con pequeñas explotaciones a tiempo parcial, las diversas estrategias productivas son más difícil de compaginar después del proceso de modernización.

Más allá de la mayor, o menor, extrapolación de este análisis al conjunto nacional sí existen algunos elementos comunes que denotan debilidades institucionales en gobernanza y transparencia:

- No existe información nacional y de la mayoría de comunidades autónomas sobre la ejecución y evaluación del PNR y del conjunto del proceso modernizador, tanto en alcance, intensidad, inversiones y efectos sobre la agricultura de regadío, lo que hace muy difícil una valoración crítica de este proceso (WWF, 2015).
- La intervención en el proceso de modernización de multitud de instituciones y empresas públicas ha producido distorsión en los procesos de decisión de las comunidades de regantes por la competencia desleal con las condiciones de financiación, y por falta de coordinación entre administraciones.
- No se ha logrado la colaboración de las administraciones agrarias y los organismos de cuenca para ligar el apoyo a la modernización con la reducción del consumo de agua, la consiguiente modificación de las concesiones y la vigilancia para que no se produjera el *efecto rebote*.

Probablemente, al final del período de ejecución del PDR 2014-2020 se podrá dar por finalizado el paradigma de la modernización de regadíos, entendido como un gran esfuerzo colectivo, de regantes y administraciones, destinado primordialmente a ahorrar agua, construyendo redes y sistemas de riego más eficientes y con alto nivel tecnológico para su gestión.

Desde la perspectiva del regante se valoran muy positivamente la mayor garantía de suministro del agua, la flexibilidad en su uso y la ampliación de la gama de estrategias productivas.

En una panorámica general, no se ha alcanzado el principal objetivo: el ahorro de agua nivel de cuenca. La brecha entre recursos y demandas no ha disminuido en relación al gran esfuerzo realizado y continuamos siendo muy vulnerables a las sequías, como cruda manifestación de la brecha. La mejora en la eficiencia neta de riego ha sido superada por la intensificación de cultivos y el aumento de superficies de riego. Como efecto perverso, no previsto, ha aumentado mucho el consumo energético de los sistemas de riego, incidiendo negativamente en la sostenibilidad ambiental y económica de los regadíos (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2011; Corominas, 2012).

3. Pensando el futuro: ¿cuál será el nuevo paradigma?

Es necesario pasar página y traspasar la frontera del fin de los paradigmas de *más regadíos y ahorro de agua por la modernización de regadíos* (Corominas, 2013). Siendo la política hidráulica su motor, el sector del regadío debe realizar autocrítica, prospectiva y análisis de nuevos escenarios y retos en que deberá desarrollarse la actividad en los próximos 20 años. Esta transición al nuevo paradigma del regadío no tendrá la misma velocidad, ni intensidad, en todos los regadíos (del Moral Ituarte, 2011), dependiendo entre otros factores de su dinamismo, rentabilidad, ventajas comparativas con otros tipos de regadíos o de agriculturas, innovación tecnológica, dedicación a mercados locales o globales, mayor o menor escasez de recursos hídricos, y zona climática en que se desarrollen.

Tabla 15. Configuración de la política de regadíos en los últimos 50 años y previsiones de su futuro

	1960/70	1980/90	2000/2015	Futuro
Escenarios	Planes de desarrollo	Incorporación a la UE. Desarrollo del estado del Bienestar.	Globalización. Crisis económica. Desarrollo sostenible.	Profundización de la globalización: <i>¿visión neoliberal o gobernanza global?</i> Aceleración del <i>desarrollo tecnológico</i> . Mitigación y adaptación al <i>cambio climático</i> .
Política de aguas	La oferta de agua como motor del desarrollo económico	Cada vez es más difícil encontrar cerradas eficientes, sin impactos medioambientales y efectos colaterales importantes y sin rechazo social.	Implantación de la DMA. Los recursos no convencionales como oportunidad. Los recursos públicos presupuestarios disminuyen.	Buen estado de las masas de agua: • Disminución de presiones, eficiencia, ahorro y uso inteligente. <i>Contexto institucional:</i> • Modificación del sistema concesional. • Repercusión de costes. • Transparencia, gobernanza y participación.
Política agraria	Proteccionismo de los productos y precios agrarios	Liberación de los mercados. La producción se desincentiva.	Las ayudas a la renta disminuyen y evolucionan hacia el pago único. Introducción de la ecocondicionalidad y del segundo pilar de la PAC.	Verdización o <i>greening</i> de la PAC. <i>Hacia la gestión de los mercados:</i> • Calidad, proximidad y equilibrio de la cadena de valor. • Trazabilidad. • Seguridad alimentaria.
Política de regadíos	Impulso público a los nuevos regadíos	La promoción pública de nuevos regadíos se minimiza. Primeras iniciativas de modernización de regadíos.	Apoyo público a la modernización ligado al ahorro de agua. Se generaliza el uso de riego localizado. Expansión del olivar y la viña en riego deficitario. Incremento del consumo y coste de la energía.	<i>Más agraria y menos hidráulica.</i> <i>Sostenibilidad ambiental.</i> <i>Competitividad</i> de las explotaciones. <i>Productividad</i> del agua: prioridad a cultivos de mayor valor añadido, extensificación en cultivos de menor valor. <i>Adaptación</i> de los modelos de regadíos en función de su rentabilidad. <i>Incremento de costes</i> del agua y la energía.

Fuente: elaboración propia.

Entre los escenarios que previsiblemente conformarán la actividad económica española y de la agricultura de regadío en particular destacan:

- Profundización de la globalización, aunque desconocemos si prevalecerá la actual visión neoliberal, financiera y de libertad de mercados, o se abrirá paso un proceso de gobernanza global que tienda a regularla, y contemple el capital humano y los impactos en el medioambiente.
- Aceleración, quizás exponencial, del desarrollo tecnológico, que en el caso de la agricultura comportará innovaciones importantes en variedades de cultivos adaptadas a las diversas condiciones climatológicas y de suelos. Desconocemos en este momento si las mejoras procederán de la selección genética tradicional o se impondrán los organismos genéticamente modificados (OGM).
- Adaptación al cambio climático, que según el conocimiento actual del mismo será claramente perceptible en sus efectos, aunque aún no podamos precisar su cuantía, antes del año 2050. Una de las más importantes acciones previsibles a nivel mundial es la transición a una economía descarbonizada y basada en energías renovables. Los efectos sobre el aumento de la temperatura en nuestro país se consideran seguros, manteniéndose una mayor incertidumbre sobre las variaciones del patrón pluviométrico, con una tendencia a la mayor irregularidad temporal y espacial.

La atención al desarrollo de estos escenarios deberá trasladarse a las grandes líneas que informen la política de la agricultura de regadío española en los próximos decenios.

Pero los retos a corto y medio plazo a los que deberá adaptarse el regadío son más ciertos y con previsiones más concretas:

- Necesidad de cumplir la DMA para conseguir el buen estado de las masas de agua, ya que en 2015 únicamente la mitad están en buen estado en la mayor parte de las demarcaciones hidrológicas, debido a presiones por extracción de agua (en las que el regadío representa más del 80 % del total) lo que obligará a disminuir esta presión en muchas masas, disminuyendo las extracciones entre un 10 y 25 %, y presiones muy elevadas por la contaminación agraria difusa producida por los

- agroquímicos, tanto por el secano como el regadío, aunque el segundo sea el más relevante. La Comisión Europea estudia abrir un procedimiento sancionador a España por el escaso avance en la mejora del estado de las masas de agua desde el año 2000 y la no justificación adecuada de las prórrogas o excepciones en los objetivos ambientales.
- La nueva PAC 2021-2027 casi seguro que se coordinará mejor con las políticas de aguas y medioambientales, condicionando las ayudas a estos objetivos, lo que comportará una mayor clarificación de los objetivos y condicionantes del *greening*. En la elegibilidad de las actuaciones de modernización de regadíos incluidas en los PDR 2014-2020 ya se observa nítidamente el acoplamiento de las políticas de aguas y agraria.
 - Aunque los efectos del cambio climático no sean plenamente perceptibles hacia el H-2027 de la planificación hidrológica, sí debería tenerse en cuenta como una restricción posible en este horizonte, a la que los planes hidrológicos hacen referencia señalando una disminución de la escurrimiento del orden del 5-10 %, pero pasan sobre ellas de puntillas sobre sus consecuencias. Una estimación propia sobre la incidencia en la superficie de regadío que podrá mantenerse, en el supuesto de que se confirmen las predicciones de los modelos del cambio climático, señala que en el horizonte del año 2027, última referencia de la planificación hidrológica, tendremos que reducir un 12 % la superficie de regadíos en Andalucía. Hasta el período de 2027 se considera en los modelos del cambio climático que la disminución de la precipitación en Andalucía será pequeña, del orden del 1,8 %, pero con el incremento de temperatura (0,8 %) crecerá fuertemente la evapotranspiración potencial (un 4,8 %) y en menor medida la real (0,3 %). La interacción de estos efectos hará disminuir la escurrimiento media en un 8,4 %, lo que junto con la mayor demanda de agua por los cultivos (4,8 %) mermará la posibilidad de atender las demandas de agua de los regadíos actuales en un 12 %. Analizar con mayor profundidad estos posibles impactos en el regadío debería ser una prioridad de la planificación hidrológica y agronómica (Corominas, 2015).

Tabla 16. Previsión de impacto del cambio climático sobre la superficie dedicada al regadío

	España		Andalucía		Previsión del cambio climático H-2027 (%)
	mm	Precipitaciones (%)	mm	Precipitaciones (%)	
Precipitación	684	100	591	100	-1,8
Evapotranspiración potencial (ETP)	862	126	797	135	4,8
Evapotranspiración real (ET)	464	68	448	76	0,3
Escorrentía	220	32	139	24	-8,4
	Superficie de riego				-12

Fuente: elaboración propia.

En el contexto de los escenarios en que se moverá la economía agraria y afrontando los retos a corto y medio plazo, las tendencias probables que modificarán la actividad de los regadíos buscarán mejorar la rentabilidad, y producir de manera sostenible:

- El agua deberá dedicarse a los cultivos de mayor valor añadido para el agricultor y el sector agroalimentario.
- Una parte de los regadíos que no puedan seguir esta tendencia deberán extensificarse, con riegos de apoyo al secano utilizando técnicas de riego deficitario.
- Las instalaciones de riego deberán rediseñarse en función de la rentabilidad de la explotación de regadío. La tecnología más eficiente no es siempre la más novedosa y puntera (Rodríguez *et al.*, 2009).
- El actual sistema concesional del agua deberá dar paso a un modelo de asignaciones más flexibles, que puedan contemplar diversos niveles de garantía de su uso.
- El coste total de los servicios asociados al agua para el agricultor tenderá a subir, tanto el recurso en sí como la energía consumida, forzando a las dos estrategias de cultivo señaladas.

- La política de regadíos se acoplará a la política agraria y de aguas, deviniendo de política de infraestructuras a política de gestión sostenible de los recursos para el regadío.
- La rentabilidad no vendrá por aumentar producciones sino en producir lo que demanda el mercado en el momento oportuno y con la máxima calidad y participando más en la cadena de valor agroalimentario.
- Será imprescindible la innovación, la incorporación de tecnología y gestores, y la capacitación de los regantes.
- Los sistemas de producción integrada o ecológica serán exigidos por la política agraria y de aguas y por los mercados.
- La diversificación de la distribución entre mercados locales y europeos y globales deberá ser contemplada entre las estrategias productivas del regadío.

En apenas dos décadas estamos dejando atrás, uno detrás de otro, los paradigmas que han vertebrado la política del regadío español. El nuevo, a alumbrar entre todos los colectivos interesados, seguramente será menos atractivo porque no tendrá un banderín de enganche ligado al reparto de un recurso escaso como el agua, la financiación de infraestructuras y la aprobación de cánones y tarifas. Dará más importancia a la gestión de la explotación agraria de regadío, en la que el agua disponible permitirá buscar la mejor rentabilidad de la misma. Deberá ser más innovadora, flexible y adaptable a muchos tipos de regadíos y regantes. La compatibilidad del uso del agua en el regadío con la salud de nuestros ecosistemas hídricos deberá formar parte de la gobernanza del agua. Se preocupará de disminuir drásticamente la contaminación difusa y estará atenta a los cambios que vayan percibiéndose del cambio climático. Atenderá, como todo el sector agrario, a las demandas de los diversos mercados, necesitando una apuesta por el tejido cooperativo y los acuerdos interprofesionales para no quedar relegado en el reparto de la cadena de valor agroalimentaria. Como resumen, lo expuesto son elementos de un esbozo del nuevo paradigma para el regadío, y en gran parte para todo el sector agrario.

Las visión de lo rural desde la perspectiva urbana y viceversa están condenadas al entendimiento, porque el despoblamiento rural incide negativamente en la generación y reparto de la riqueza y porque el futuro del mundo rural pasa por la competitividad ambientalmente sostenible.

Tabla 17. Configuración de la política de regadíos en los últimos 50 años y previsiones de su futuro (2)

	1960/70	1980/90	2000/2015	Futuro
Medioambiente	No es prioritario.	Inicio del debate desarrollo/ conservación.	Aumento del estrés de los ecosistemas. Contaminación por nitratos y residuos fitosanitarios.	<i>Integración de políticas medioambientales y económicas.</i> <i>Protección de la biodiversidad.</i> <i>Valorización del paisaje.</i>
Sequías	La pertinaz sequía es el parche político para continuar con el modelo de las políticas de oferta.	Primeros síntomas del fin de las políticas de oferta de agua. Se agravan las consecuencias sociales y económicas.	Comprensión social de la recurrencia de las sequías. Se aprueban los primeros planes de contingencia ante sequías.	<i>Gestión del riesgo</i> de sequía: adaptación y paliación de sus efectos.
Innovación tecnológica	Uso de bombas hidráulicas para pozos profundos. Riego por aspersión. El drenaje permite colonizar zonas insalubres.	Diseño de regadíos a presión. Riegos localizados. Inicio de los sistemas de automatización y control de riegos.	Se desarrolla las técnicas de desalación, regeneración de aguas y de riego deficitario.	<i>Bioteología</i> y mejor aprovechamiento del agua por las plantas. <i>Prevención, gestión y control:</i> sensores y drones. <i>Programación y big data.</i> <i>Teledetección</i> aplicada al riego. <i>Telegestión</i> del riego.
Gobernanza	Innecesaria para un bien, con el único objetivo de satisfacer la demanda.	Fortalecimiento de las comunidades de regantes como gestores.	Aumento de regadíos incontrolado, especialmente con aguas subterráneas. Debilidad institucional.	<i>Transparencia</i> y rendición de cuentas. <i>Autocontrol</i> de los usuarios. <i>Apertura</i> y participación de la sociedad en los organismos de Cuenca.
Percepción social	El agua es un bien muy apreciado como motor del desarrollo.	El agua escasea, aumenta la competencia por su uso y aparecen conflictos.	Se apoya el ahorro de agua. Se demanda una mayor participación en la toma de decisiones.	<i>Acercamiento</i> de las percepciones sobre el regadío de origen urbano o rural. <i>Apoyo al regadío</i> en función de los bienes económicos, sociales y medioambientales que produzca.

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Ha transcurrido más de un siglo de política de regadíos, inspirada en el regeneracionismo, en el que el sector público ha sido un actor principal junto con las comunidades de regantes. Las dificultades infranqueables, de tipo económico, ambiental e institucional, para seguir extrayendo más recursos hídricos superficiales y subterráneos, junto con la evidencia de que existían más demandas de regadío que recursos disponibles, puesta de manifiesto durante la gran sequía de mitad de los años noventa del siglo pasado, ha dado paso al fin del *mito de más regadíos*, aunque muchos agricultores de secano se resistan a desistir.

Al paradigma acabado lo substituyó, sin apenas discontinuidad, uno nuevo: la *modernización de regadíos* destinada a ahorrar agua. Estaba soportado por la evidencia del mal estado de muchos canales y redes antiguas de riego, con altas pérdidas y una baja eficiencia. Pero la confusión entre uso de agua y consumo de agua en el regadío, olvidando la importancia de los retornos de riego por infiltración al subálveo o vertido de nuevo a los cauces, elevó las expectativas de ahorro de agua, que se estimaron entre un 20 y un 25 %. El Plan Nacional de Regadíos H-2008, y diversos planes autonómicos, se fijaron la tarea de modernizar en una década más de una tercera parte de los regadíos. Parece, aunque hay poca información disponible, que se han superado los objetivos de superficie a modernizar, aunque se desconoce el grado de cumplimiento del ahorro de agua esperado.

Andalucía, a partir de los inventarios de regadíos de 1997 y 2008, dispone de mucha información sobre variables de uso y origen del agua, sistemas de riego, cultivos, economía y empleo, de más de 2.500 zonas de riego. Esta información y una completa base de datos sobre todas las actuaciones de modernización de regadíos ha permitido hacer un análisis detallado de los efectos de la modernización y los logros conseguidos: presenta claros entre los que destacan la mayor garantía de uso del agua, la flexibilidad y la posibilidad de ampliar el abanico de cultivos, la mayor intensidad productiva y de empleo que se ha producido, junto con un ahorro neto de agua muy inferior al establecido como objetivo, y la aparición de un *efecto rebote* ligado a un crecimiento de la superficie de riego ligado a la modernización y a las mayores demandas netas de agua por la intensificación de cultivos, lo que ha conducido a la paradoja de un aumento del consumo de agua. Otro efecto nocivo del tipo de modernizaciones llevadas a cabo, casi único, ha sido el fuerte incremento de consumo energético que los sistemas de riego a presión comportan.

Se estima que se han modernizado más del 55 % de las redes colectivas de riego en Andalucía existentes en 1997, aunque con diverso nivel de intensidad, y que al final del actual Plan de Desarrollo Rural 2014-2020 se alcanzará la totalidad de los regadíos con interés en llevar a cabo la misma, que se estima del orden del 70 %. Se agota, por tanto, este segundo paradigma del regadío.

Planteamos una reflexión sobre el futuro del regadío en las próximas décadas, que debe enmarcarse en los grandes escenarios mundiales de la globalización, la innovación tecnológica y el cambio climático, pero que deberá afrontar con rapidez los retos de contribuir a mejorar el estado de los ecosistemas hídricos, prepararse para la presumiblemente profundización de la *verde-rización (greening)* de la PAC, buscar estrategias de mejorar la rentabilidad de las explotaciones de regadío utilizando de manera más eficiente económicamente y flexible el recurso agua. Una tarea, la de definir un nuevo paradigma del regadío, a la que están convocados todos los sectores implicados.

Referencias bibliográficas

- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678.
- BERBEL, J. y MATEOS, L. (2014): «Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model»; *Agricultural Systems* 128; pp. 25-34.
- CAP (2010): *Inventario de Regadíos 2008 y su evolución en la última década*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- CAP (2011): *Agenda del Regadío Andaluz H-2015*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- COMISIÓN EUROPEA (2015a). *Informe sobre la aplicación de los Planes Hidrológicos de Cuenca de la Directiva Marco del Agua. Estado miembro: España*.
- COMISIÓN EUROPEA (2015b). *Puntos de Acción (Action Points) indicados por la Comisión Europea para la mejora de los Planes Hidrológicos españoles en el segundo ciclo de planificación*. EU Pilot 7835/15/ENVI.
- COROMINAS, J. (2008): *¿Modernización o reconversión de regadíos? Dimensiones socio-económicas, ambientales y territoriales*. Vitoria, comunicación presentada en 6.º Congreso Ibérico sobre planificación y gestión del agua.

- COROMINAS J. (2010): «Agua y Energía en el riego en la época de la Sostenibilidad»; *Ingeniería del Agua* 17(3); pp. 219-233.
- COROMINAS, J. (2011): *Análisis de las modernizaciones de regadíos en Andalucía*. Madrid, comunicación presentada en Congreso Agricultura, agua y energía.
- COROMINAS, J. (2012): «El regadío en los postulados de la PAC»; *Agricultura Familiar en España, Anuario 2012*; pp. 103-108.
- COROMINAS, J. (2013): *Modernización y desarrollo de regadíos en la encrucijada*. Curso sobre tecnologías y estrategias para el ahorro de energía en regadíos. Huesca, Universidad Menéndez Pelayo.
- COROMINAS, J. (2015): *La nueva cultura del agua para su eficiente uso en la agricultura*. Curso Hacia un agua más justa para hombres, ríos, ciudades y pueblos. Universidad de Valladolid.
- GARCÍA BAUTISTA, A. y MARTINEZ, J. (2016): *Indicadores del agua en las demarcaciones hidrológicas españolas. 2ª ciclo de planificación 2015-2021*. FNCA. p. 20.
- LÓPEZ GUNN, E.; WILLARTS, B.; RICA, M.; COROMINAS, J. y LLAMAS, R. (2012): «The Spanish water «pressure cooker»: Threading the interplay between resource resilient water governance outcomes by strengthening the robustness of water governance processes»; *International Journal of Water Governance* 1(2013); pp. 13-40.
- MAGRAMA (2015): *Encuesta sobre superficies y rendimiento de cultivos. Informe sobre regadíos en España*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2016): *Avance Anuario de Estadística del MAGRAMA 2015*. Madrid, Publicaciones del MAGRAMA.
- MAPA (1999): *Plan Nacional de Regadíos (Horizonte 2008)*. Madrid, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- MIMAM (1998): *El Libro Blanco del Agua en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- MIMAM (2007): *Precios y costes de los servicios de agua en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.
- MITYC (2008): *La energía en España 2007*. Madrid, Ministerio de Innovación, Tecnología y Ciencia.

- DEL MORAL ITUARTE, L. (2011): *El debate sobre el presente y futuro del regadío: doce años de reflexión en España (1998-2010)*. Comunicación presentada en Jornadas sobre riegos. Marsella.
- RODRÍGUEZ, J. A.; MARTOS, J. C.; MOLINA, F.; OYONARTE, N. y MATEOS, L. (2009): *Impacto de la modernización de regadíos sobre el manejo y la productividad del riego en el contexto de las políticas agrícolas y de aguas. Estudio de caso del valle medio del Guadalquivir*; pp. 17.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2011): «The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1000-1008.
- WWF (2010): *¿Quién contamina cobra? Relación entre la política agraria común y el medioambiente en España*. Madrid, WWF.
- WWF (2015): *Modernización de regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*. Madrid, WWF.

Evolución de la productividad del agua en el proceso de cierre de la cuenca del Guadalquivir

Alfonso Expósito^a y Julio Berbel^{b,c}

^aUniversidad de Sevilla y ^bUniversidad de Córdoba

1. Introducción

Actualmente, la agricultura de regadío en España ocupa cerca del 20 % de la superficie total cultivada y es responsable del 55 % de la Producción Final Agraria (PFA). Esta disparidad entre la importancia relativa del regadío en superficie y producción se explica por la mayor productividad del regadío respecto al secano, llegando a producir como media 6,5 veces más por hectárea. La importancia del regadío es si cabe más relevante en un país como España, sujeto a un clima de tipo mediterráneo con una marcada escasez estacional del agua y con regiones semiáridas como es el caso de la mitad sur de la península ibérica.

En este escenario, el desarrollo agronómico experimentado en la cuenca del Guadalquivir durante los últimos 50 años se ha caracterizado por un considerable aumento de la superficie agrícola destinada al regadío y un cambio en la composición de los cultivos, primando aquellos capaces de generar mayor valor añadido en un contexto de escasez del recurso hídrico y de descenso continuado de las rentas agrarias (1,1 % anual desde el inicio de la década de los 90, según datos de MARM, 2010). El aumento de la presión sobre el agua derivado de la creciente superficie de regadío, junto con aquellas otras ejercidas por los usos alternativos (especialmente del consumo humano), han generado continuos incrementos del coste del recurso en los últimos años. Como respuesta a la escasez, los agricultores se han visto abocados a utilizar el recurso de forma más eficiente.

El objetivo de este trabajo es analizar el papel que la modernización del regadío ha jugado en el proceso de cierre de la cuenca del Guadalquivir. Así, el intenso crecimiento de la demanda del agua de riego observado en las últimas décadas no habría sido posible sin la existencia en paralelo de un intenso proceso modernizador del regadío que, entre otros factores, ha incrementado

las presiones sobre el recurso hasta llevar a la cuenca a su estado actual de «cierre» hidrológico. Para ello, este trabajo se estructura de la siguiente forma. Una primera sección analiza la evolución del regadío en la cuenca, tanto en extensión como en consumo de agua, para continuar con el análisis de los cambios acontecidos como consecuencia de su modernización en los últimos veinte años. En la siguiente sección, se estima la productividad económica del regadío respecto del secano para el período analizado, así como para los cultivos mayoritarios de la cuenca del Guadalquivir, poniéndose de manifiesto como la modernización del regadío ha llevado al agotamiento de la oferta disponible del recurso, así como a cambios en la composición de los cultivos, fomentando la expansión de aquellos más productivos por unidad consumida de riego. Con ello, se pone de manifiesto el importante papel jugado por la modernización del regadío para explicar el continuo aumento de la productividad económica del regadío, y que caracterizaría a una cuenca agotada en términos hidrológicos o «cerrada». Finalmente, se realizan unos comentarios finales y se invita a la discusión.

2. Evolución del regadío en la cuenca del Guadalquivir

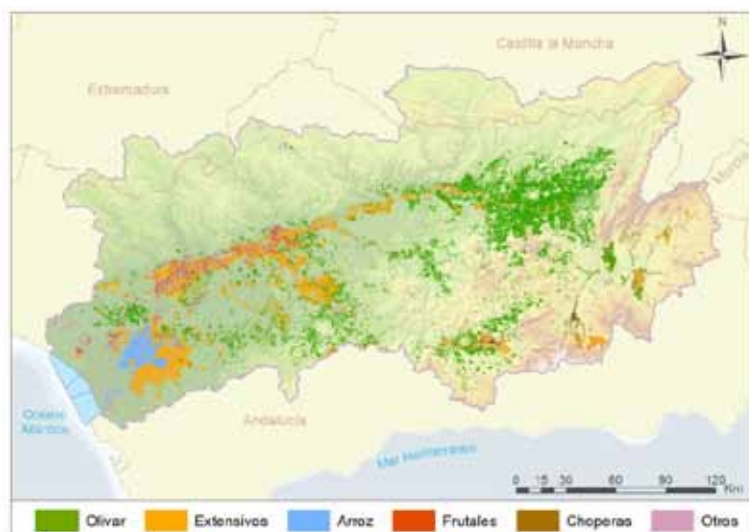
La importancia económica del regadío en España tiene su máximo exponente en el caso de la cuenca del Guadalquivir, donde el proceso de modernización y transformación ha sido especialmente intenso en las últimas décadas, llegando en la actualidad a ocupar más de 850.000 ha de regadío. El Guadalquivir es el río más largo del sur de España, con una longitud de 650 km aproximadamente, y una cuenca que se extiende sobre 57.527 km², donde los usos del suelo se dividen entre bosques (49,1 %), agricultura (47,2 %), zonas urbanas (1,9 %) y humedales (1,8 %). La cuenca tiene un clima mediterráneo con una precipitación media de 573 mm, muy heterogénea y con períodos alternos de sequías prolongadas. La temperatura media anual es de 16,8 °C.

La capacidad de embalse alcanza actualmente los 8.600 hm³ y el consumo medio de la cuenca se sitúa entorno a los 3.800 hm³ anuales (CHG, 2016), de los que cerca de 3.400 hm³ se destinan a satisfacer la demanda de la agricultura de regadío (lo que representa el 85 % de la demanda total de agua de la cuenca). Como se puso de manifiesto en el Plan Hidrológico del Guadalquivir (2008-2013), así como en la planificación para el período 2015-2021, este nivel de consumo ha llegado a su límite máximo al no existir recursos adicionales que puedan ser destinados a la agricultura de regadío. En este contexto de ago-

tamiento de la oferta, el control de la demanda se ha convertido en prioritario, planificándose unas necesidades de ahorro en el consumo de agua de riego como resultado de las inversiones realizadas en la modernización del mismo (Corominas, 2010). Así, la utilización de técnicas de regadío más eficientes en el uso del recurso está jugando un papel fundamental en la consecución de los citados objetivos de ahorro, más aún cuando las presiones para aumentar la superficie agrícola destinada al regadío se mantienen a pesar de la expresa prohibición administrativa para transformar tierras de secano en regadío.

La superficie agrícola de regadío en la cuenca del Guadalquivir representa más del 23 % de la superficie regada a nivel nacional (MAGRAMA, 2015). En las últimas décadas se ha producido una continuada transformación de la agricultura de secano a la de regadío, sobre todo del olivar, cultivo que por extensión es el más significativo de la cuenca (Figura 1). Así, el olivar ocupa un 52 % de la superficie de riego (46 % en 2005, 469.000 ha), seguido en importancia por los cultivos extensivos, con una superficie ocupada de 123.426 ha (14 %). Entre estos últimos destacan los cereales de invierno (14 %), girasol (6 %), algodón (6 %) y maíz (3 %), en este orden y en términos de superficie ocupada. Otros cultivos de especial relevancia en la cuenca son también los frutales, con el 7 % de la superficie, y el arroz, que representa el 4 % (Figura 1).

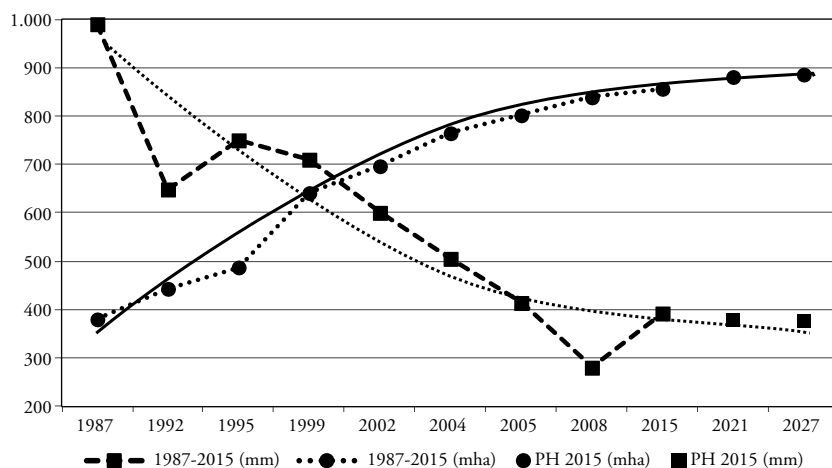
Figura 1. Distribución de cultivos en la cuenca del Guadalquivir



Fuente: PHG 2015-2021 (CHG, 2016).

La superficie de riego en la cuenca del Guadalquivir se ha incrementado de forma continua a lo largo de las últimas dos décadas como consecuencia de la presión ejercida por determinados cultivos (Gráfico 1). Estos aumentos del regadío alcanzaron especial relevancia en la segunda mitad de la década de los noventa, cuando el período de extrema sequía vivido entre 1992 y 1994, disparó la puesta en regadío de numerosas explotaciones por iniciativa privada, especialmente de olivar. La creciente tecnificación del regadío del olivar, junto con la transformación a regadío de cultivos de frutales y hortalizas, así como de cultivos extensivos, mantendrá las elevadas tasas de crecimiento del regadío durante los primeros años del siglo XXI. A partir de 2008, y como consecuencia del paulatino agotamiento de la oferta disponible del recurso, la tasa de transformación de tierras de secano en regadío se desacelera, produciéndose un estancamiento de la superficie de riego en torno a las actuales 860.000 ha. No obstante, y a pesar de la prohibición administrativa de aumentar la superficie agrícola regada en la cuenca, la propuesta del nuevo Plan Hidrológico del Guadalquivir (2015-2021) contempla posibles leves aumentos en el horizonte de 2027 hasta alcanzar las 890.000 ha, aunque muy ligados al aprovechamiento de aguas tratadas de origen residual.

Gráfico 1. Evolución de la superficie (miles de hectáreas) y dotación de riego (mm)



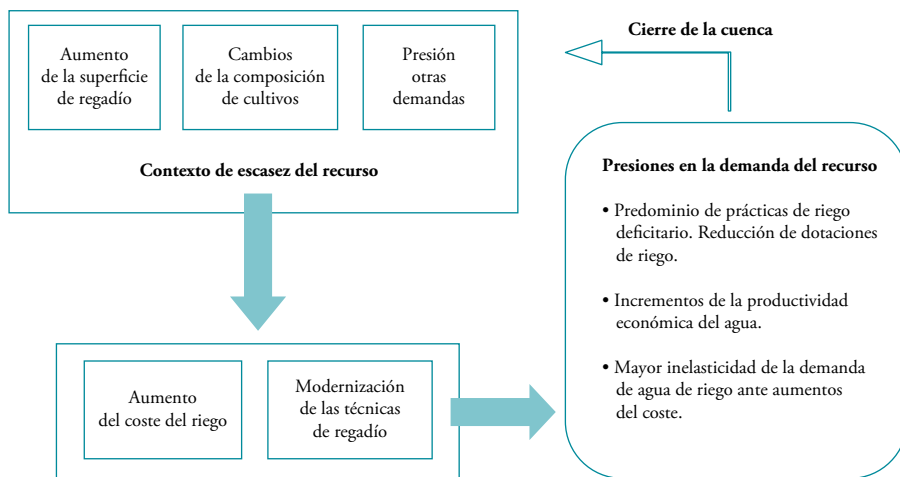
* 1992 y 2008 con restricciones por sequía.

Fuente: CHG, Inventarios de Regadíos, PHG 2008-2014, PHG 2015-2021. Elaboración propia.

Paralelamente al aumento de la superficie de riego en la cuenca, la evolución de la dotación media de riego por hectárea ha registrado una continua reducción en este período, tal y como refleja el Gráfico 1. Mientras que en el año 1987 la dotación media alcanzaba los 9.800 m³/ha, esta se ha reducido hasta los actuales 3.400 m³/ha, nivel que se considera sostenible en los próximos años según la propuesta del PHG (2015-2021). La evolución contrapuesta que han experimentado ambos indicadores (superficie de regadío y dotación media de riego) es solo entendible gracias al relevante papel jugado por la modernización del regadío, sin la cual no habría sido posible multiplicar por dos la superficie regada en la cuenca, al mismo tiempo que se reducía drásticamente la dotación media de riego por hectárea. La mayor eficiencia en el uso del agua como efecto esperado del proceso de modernización del regadío, junto con la apuesta por cultivos más eficientes en el consumo de agua y la mayor capacidad de estos para generar elevados rendimientos agrícolas, han llevado a la cuenca a alcanzar una elevada eficiencia en el uso de sus recursos disponibles, especialmente del agua (aunque también del recurso «tierra», como veremos más adelante). Esta mayor eficiencia productiva de la cuenca se ha traducido en una elevada productividad económica asociada al regadío que, a pesar del continuo aumento de los costes del agua, ha jugado un papel especialmente relevante en el agotamiento de la cuenca para ofrecer cantidades adicionales del recurso, acelerando así el proceso de cierre hidrológico de esta.

En este contexto, las importantes inversiones con financiación pública y privada en modernización de las técnicas de regadío han elevado la eficiencia en el uso del agua, garantizando así la viabilidad productiva de un gran número de explotaciones agrícolas en la cuenca del Guadalquivir. Sin embargo, y como queda reflejado en la Figura 2, el aumento de la superficie de regadío unido a un proceso paralelo de modernización y tecnificación del mismo, ha generado importantes presiones en la cuenca. La reducción en las dotaciones medias de riego y la generalización de las prácticas de riego deficitario han propiciado continuos incrementos en la productividad económica del regadío, reduciendo así la elasticidad de la demanda del recurso ante variaciones en su precio/coste. En este escenario dominado por crecientes presiones sobre el recurso y la desertización del sur peninsular como consecuencia del cambio climático global, la cuenca ha alcanzado un estado de «cierre» al agotar todo el recurso disponible para satisfacer los usos humanos y cubrir mínimamente las necesidades medioambientales de la misma.

Figura 2. Esquema de factores explicativos del cierre de cuenca



Fuente: adaptado de Argüelles *et al.* (2012).

3. Modernización del regadío

La modernización del regadío en la cuenca del Guadalquivir en los últimos años ha estado protagonizada por el Plan de Regadíos de Andalucía (1995-2008). Este plan priorizó la modernización de los regadíos con un doble objetivo. Por un lado, elevar la competitividad de las explotaciones agrícolas, modernizando el campo y garantizando así el sostenimiento de las rentas de los agricultores. Por otro, alcanzar un ahorro de agua y elevar la eficiencia en el uso del recurso, especialmente en un contexto temporal caracterizado por la sequía de los años 1992 a 1995 (Gómez-Limón, 2009). Las inversiones movilizadas para lograr modernizar un total de 352.000 ha alcanzaron los 1.380 millones de euros, de los que el 63 % fue inversión pública. El Plan, además de modernizar el 43 % de los regadíos existentes en 1997, consiguió reducir el consumo de agua en 435 hm³/año, superando las previsiones realizadas al inicio del mismo (CAP, 2010, 2011). La Agenda de Regadíos H-2015 vino a completar el trabajo iniciado con el anterior plan, incorporando la modernización de más de 396.000 ha de regadío y planificando un ahorro esperado de 352 hm³/año. En este caso, la inversión prevista ha superado los mil millones de euros, de los que el 70 % ha estado sujeto a fondos públicos.

Las actuaciones más generalizadas en este proceso de modernización de regadíos han sido las de modificación de las redes de riego, previstas para la implantación de sistemas de riego localizado en su gran mayoría, la construcción de balsas de regulación y la implantación de sistemas de medición y control del consumo de agua. Asimismo, muchas zonas de riego de olivar han incorporado estaciones de bombeo y sistemas de filtrado imprescindibles en sistemas de riego localizado, junto con sistemas de automatización de las redes de riego (Corominas, 2011).

El intenso proceso de modernización del regadío andaluz se observa claramente en el continuo aumento de la superficie de riego localizado. Actualmente es el método mayoritario en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, ocupando un 66 % de superficie regada (Tabla 1). Hay que recordar que este método de riego era minoritario hace no más de dos décadas, con un 12 % de la superficie regada en 1989. Como se puede observar en la Tabla 2, el riego localizado ha ido ganando terreno no solo al riego por gravedad (el menos eficiente) sino también al de aspersión, que en 2008 solo representaba el 12 % de la superficie regada. La adopción de este método de riego ha sido especialmente importante en la explotación de nuevas zonas de riego, especialmente de olivar, aunque también se ha implementado en zonas tradicionales sujetas a modernización. La comparación con el conjunto de España pone de relieve el intenso proceso de modernización vivido en la cuenca del Guadalquivir, muy por delante del experimentado en el resto de España. En concreto, las cifras actuales relativas a la presencia de los distintos métodos de regadío para el conjunto del país muestran que el riego localizado está presente en el 49 % de la superficie regada, seguido del riego por gravedad (27 %) y el riego por aspersión (24 %), según datos de MAGRAMA (2015). De esta forma se puede afirmar que el regadío de la cuenca del Guadalquivir disfruta hoy de un mayor grado de tecnificación y modernización que en el resto de España. Este hecho pone nuevamente de manifiesto el elevado grado de desarrollo agronómico alcanzado por la cuenca del Guadalquivir, lo que la caracterizaría como una cuenca «cerrada» en términos hidrológicos.

Las cuantiosas inversiones asociadas al intenso proceso de modernización del regadío en la cuenca se han traducido también en un aumento del coste del recurso (Tabla 2), como consecuencia de la mayor intensidad en el uso energético de las técnicas de regadío por goteo y aspersión. De esta forma, el coste del agua de riego de origen superficial se ha incrementado en un 47 % en el período 1997-2008, mientras que el agua de origen subterráneo se ha

encarecido 5 céntimos de euro en los mismos años, hasta los 0,14 euros/m³. No obstante, el coste difiere dependiendo de la zona de cultivo de la cuenca. Así, los regadíos del olivar, concentrados en su mayor parte en el medio-alto Guadalquivir, soportan un coste medio de 0,15 euros/m³, mientras que los regadíos extensivos y semi-intensivos del bajo y medio Guadalquivir soportan costes del 0,03 euros/m³ para aguas superficiales y del 0,06 euros/m³ para aguas subterráneas (CAP, 2011).

Tabla 1. Distribución de los métodos de riego en la cuenca del Guadalquivir. En porcentaje

	1989 Censo agrario	1999 Inventario regadíos	2002 Inventario regadíos	2004 Inventario regadíos	2008 (PHG 2009-2013)
Gravedad	61	45	40	38	22
Aspersión	27	20	22	17	12
Localizada	12	35	38	45	66

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Tabla 2. Coste medio del agua por origen del recurso. En euros/m³

	1997	2008	Incremento (%)
Superficial	0,04	0,06	47
Subterránea	0,09	0,14	52
Reutilizada		0,21	

Fuente: CAP (2011).

El crecimiento de la superficie agrícola regada en la cuenca del Guadalquivir, la mayor eficiencia en el uso del agua gracias a la modernización del regadío, así como el incremento del coste del recurso han generado cambios en la composición de los cultivos mayoritarios en la cuenca. Así, se ha intensificado la apuesta por cultivos con una elevada capacidad de generar valor añadido a partir de un uso más eficiente del riego, destacando los cultivos del olivar y los cítricos, como ejemplos más destacados. La Tabla 3 muestra claramente los cambios acontecidos en la evolución agronómica de la cuenca en los últimos años. La superficie ocupada por los cultivos de olivar y cítricos ha experimentado un aumento considerable en los últimos años, mientras que otros cultivos de regadío como el algodón, maíz y remolacha han reduci-

do significativamente su presencia. Paralelamente, la dotación media de agua en la cuenca se ha reducido en aproximadamente 600 m³/ha entre los años 2005 y 2012, afectando a la mayor parte de los cultivos y siendo especialmente relevante en el caso del olivar tradicional. La Tabla 3 muestra también los ratios de suministro relativo de agua (ARIS: *annual relative irrigation supply*) para los cultivos mayoritarios en la cuenca, observándose una reducción de los mismos en la mayoría de los cultivos. No hemos encontrado datos para años anteriores, pero teniendo en cuenta que las dotaciones medias existentes previas a la sequía de 1992-1994 se encontraban en torno a los 9.500 m³/ha, podemos asumir sin miedo a equivocarnos que las dotaciones cubrían más del 100 % de las necesidades de riego de la cuenca a principios de la década de los años noventa. La extensión de las técnicas de riego deficitario, especialmente en el caso del olivar (ARIS de 0,41 y 0,61 para tradicional e intensivo, respectivamente), explicaría las elevadas productividades asociadas al regadío en la cuenca del Guadalquivir. Asimismo, y como veremos en la siguiente sección, estas elevadas productividades no podrían haberse alcanzado sin la mayor eficiencia en el uso del agua gracias al intenso proceso de modernización de las técnicas de riego presentes en la cuenca.

Tabla 3. Dotaciones de riego y ARIS-ratio para cultivos mayoritarios en la cuenca del Guadalquivir (2005-2012)

	Superficie		Dotación (m ³ /ha)		ARIS-ratio	
	2005	2012	2005	2012	2005	2012
Olivar	380.930	393.277	2.281	1.500	0,62	0,41
Olivar intensivo		76.323		2.250		0,61
Algodón	77.020	55.302	6.048	5.600	0,70	0,65
Cereales (invierno)	58.427	67.208	1.500	2.300	0,37	0,57
Hortalizas	49.886	51.470	6.104	5.500	1,03	0,93
Maíz	46.404	17.668	6.624	6.250	0,75	0,70
Frutales	24.795	23.927	5.386	6.000	1,39	1,55
Cítricos	22.578	38.013	5.501	5.500	1,13	1,13
Remolacha	20.185	12.230	3.730	4.500	0,55	0,67
Girasol	18.032	23.251	1.500	3.200	0,31	0,66
Arroz	36.092	35.180	14.000	13.000	1,06	0,99
Media ponderada			3.949	3.392	0,70	0,65

Fuente: MAGRAMA (varios años) y CHG (varios años). Elaboración propia.

4. Productividad económica del regadío en la cuenca del Guadalquivir

Los cambios en la composición de los cultivos más extendidos en la cuenca del Guadalquivir han respondido al objetivo de maximizar la productividad asociada al regadío respecto del secano, generando así nuevas presiones sobre el recurso. El objetivo de esta sección es analizar la evolución de la productividad del agua de riego para el conjunto de la cuenca en las últimas décadas, así como realizar una estimación de la productividad de los cultivos de regadío mayoritarios en la misma. Con ello, se puede observar si los cambios en la composición de los cultivos en la cuenca han seguido un determinado patrón en función de la productividad asociada al regadío, y si la expansión de este, gracias al intenso proceso de modernización ocurrido en las últimas décadas, ha primado un determinado tipo de cultivos.

Con este propósito, la Tabla 4 muestra los rendimientos obtenidos por el secano y el regadío, en términos del valor añadido bruto (VAB) generado, en el caso de la cuenca del Guadalquivir. Los datos correspondientes a los años 1989 y 2005 se obtienen de las estimaciones realizadas por Carrasco *et al.* (2010), las cuales se han completado con una estimación para el año 2012. Para ello, ha sido necesario calcular el VAB a partir de los datos de precios, rendimientos por cultivo, subvenciones y costes directos obtenidos a partir de la información contenida en las Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía, el Observatorio de precios y mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía, así como de la Encuesta de Cultivos y Rendimientos Agrarios del MAGRAMA.

Al igual que en el trabajo de Carrasco *et al.* (2010), el aumento de productividad que se debe al trabajo y al capital, es decir, a la mejora de semillas, maquinaria, etc., se supone de manera simplificada que está incorporado al incremento de la productividad del secano, quedando, por tanto, el aumento de la productividad del agua como la diferencia entre la productividad (medida en términos de VAB generado por hectárea) del secano y el regadío. Asimismo, y al igual que en el citado trabajo, cabe aclararse que esta consideración supone una importante limitación, ya que la descomposición asumida sería válida solo en el caso en que la agricultura de secano y regadío se diferenciase exclusivamente en la cantidad de agua utilizada, aunque en la realidad intervienen otros factores diferenciadores como la intensidad de uso de capital físico y capital humano, entre otros. Con todo, y asumiendo las limitaciones de esta simpli-

ficación, las estimaciones presentadas en la Tabla 4 muestran las diferencias de productividad asociadas exclusivamente al agua incorporada al regadío.

Tabla 4. Productividad del regadío en la cuenca del Guadalquivir

	1989	2005	2012
VAB riego euros/ha	1.579	2.653	2.660
VAB secano euros/ha	416	598	659
Productividad aparente del regadío frente al secano (euros/ha)	1.164	2.055	2.001
Consumo medio m ³ /ha	9.995	4.137	3.392
Productividad por unidad de riego (euros/m ³)	0,116	0,497	0,603
Superficie regadío (ha)	316.646	801.865	845.986
Superficie secano (ha)	2.412.091	2.128.952	1.950.853

Fuente: Carrasco *et al.* (2010) para los datos de 1989 y 2005. Elaboración propia de los cálculos para 2012. Precios constantes base 2005.

Los resultados muestran cómo la productividad asociada al agua de riego ha aumentado desde los 0,12 euros/m³ en 1995 a los 0,60 euros/m³ en 2012, es decir, un aumento acumulado del 425 %. No obstante, se observan importantes diferencias entre los dos períodos, 1989-2005 y 2005-2012. Así, en el primer período se produce una notable expansión del regadío en la cuenca, lo que se tradujo en un incremento del 153 % en la superficie de regadío, especialmente de cultivos leñosos como los cítricos y el olivar (que representan cerca del 60 % de la superficie regada). Esta expansión del regadío, junto con la reducción del consumo de agua por hectárea en casi un 60 % como resultado de la modernización de las técnicas de regadío, explicarían el importante incremento de la productividad aparente del regadío (calculada como la diferencia entre la productividad por hectárea de regadío respecto al secano) en este período, en un 75 %.

Sin embargo, la evolución en el segundo período (2005-2012) se caracteriza por un estancamiento de la capacidad productiva del regadío frente al secano (en torno a los 2.000 euros/ha en términos de VAB), al igual que ocurre con la superficie dedicada al regadío, que apenas crece un 5 % en este período. Estos hechos indicarían que el incremento observado en la productividad por unidad de riego (de 0,49 a 0,60 euros/m³) en este período se explicaría casi exclusivamente por la mayor eficiencia productiva del regadío, es decir, por el

mantenimiento de los mismos niveles de producción con un menor consumo de agua. De hecho, el consumo medio de agua por hectárea se reduce en un 20 % entre 2005 y 2012, hasta los 3.400 m³/ha, mientras que la mayor capacidad productiva del regadío frente al secano para generar VAB apenas cambia (2.090 euros/ha en 2012 frente a los 2.001 de 2005). Los Gráficos 2 y 3 ayudan a entender este cambio de escenario.

Gráfico 2. Productividad aparente del regadío (euros/ha) y dotación media de riego en la Cuenca del Guadalquivir (m³/ha) (1989-2012)

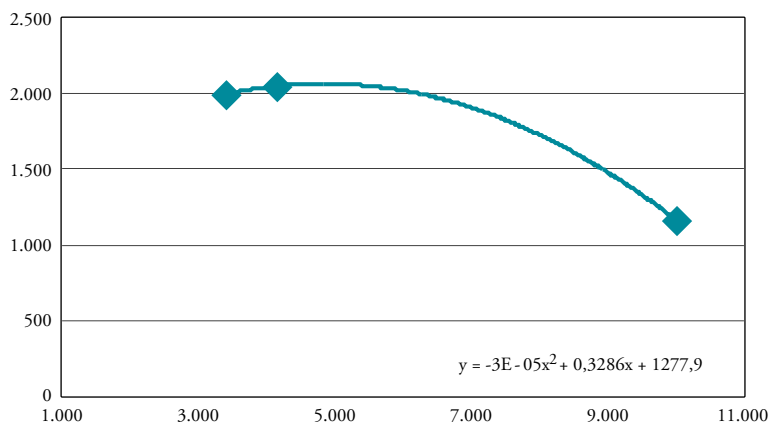
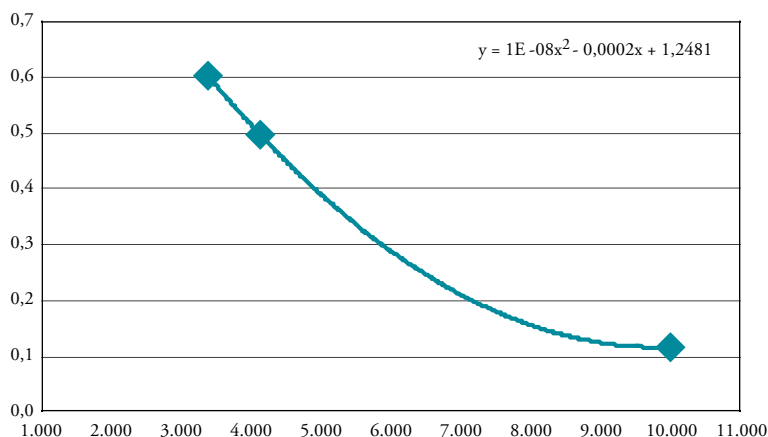


Gráfico 3. Productividad por unidad de riego (euros/m³) y dotación media de riego en la Cuenca del Guadalquivir (m³/ha) (1989-2012)



El Gráfico 2 muestra como la productividad de la tierra (euros/ha) en los cultivos de regadío de la cuenca tiende a estancarse a medida que se reduce el consumo de agua, es decir, ante una reducción en la dotación media de riego (m^3/ha). De esta forma, se puede llegar a afirmar que, en el caso de los regadíos de la cuenca del Guadalquivir, la capacidad para aumentar la productividad del factor «tierra» mediante el regadío tiende a agotarse. En este contexto, la única vía para seguir elevando los rendimientos se centra en el aumento de la productividad del factor «agua», es decir, en la capacidad de generar un mayor VAB por unidad de riego, tal y como se muestra en el Gráfico 3. Así, y como muestra la pendiente de la función polinómica ajustada a nuestras tres observaciones, el aumento de la productividad por unidad de riego (euros/ m^3) se aceleraría a medida que se reduce la dotación media de riego o, lo que es lo mismo, el consumo de agua por hectárea regada, aproximándose la función representada en la figura a lo que sería una función de demanda de riego en la cuenca del Guadalquivir.

En definitiva, ambas figuras estarían representando dos caras de una misma realidad, es decir, el proceso de cierre de la cuenca del Guadalquivir. El intenso proceso de expansión y modernización del regadío ha convertido al agua en el factor limitante de la producción, invirtiendo la aceptación teórica que tradicionalmente asignaba este papel al factor tierra, y donde el agua era considerado un factor productivo abundante. De esta forma, el agotamiento de la capacidad del regadío para generar un mayor VAB por hectárea, ha convertido a la eficiencia en el uso del recurso hídrico en la única vía para seguir obteniendo incrementos de la productividad del regadío en la cuenca del Guadalquivir. Dado que el grado de modernización y eficiencia de las técnicas de riego en la cuenca del Guadalquivir es ya muy elevado, la capacidad de la misma para seguir generando un mayor VAB asociado al regadío tiende a agotarse, lo que, en nuestra opinión, caracterizaría claramente al estado de «cierre» de la cuenca. El Gráfico 4 evidencia este proceso en base a la evolución seguida por los índices del VAB del regadío, la dotación y el consumo de agua de riego en el período 1989-2012, tomando como año base 1989=100.

Con el objetivo de analizar las diferencias en la productividad aparente del agua de riego en diferentes cultivos, la Tabla 5 recoge los resultados obtenidos para aquellos cultivos que ocupan una mayor extensión en la cuenca del Guadalquivir. De igual forma que en el caso global de la cuenca (Tabla 4), y a partir de los datos relativos a rendimientos productivos, superficies cultivadas y precios agrícolas para el año 2012, se ha estimado el VAB por hectárea gene-

rado por aquellos cultivos mayoritarios, tanto en regadío como en secano. la Tabla 5 resume los resultados obtenidos, mostrando que las productividades más elevadas por unidad de riego se alcanzarían en los cultivos de olivar (tanto para aceituna de mesa como de almazara) y cítricos (naranja), superando el euro por metro cúbico de riego. En el extremo opuesto se encontrarían los cultivos del arroz y el algodón, con productividades de 0,19 y 0,21 euros/m³, respectivamente. Estos resultados confirmarían que el aumento en la superficie de olivar y cítricos observado en los últimos años en la cuenca se explicaría por las mayores productividades asociadas al regadío en estos cultivos, en relación a los cultivos alternativos. De esta forma, la variación en la composición de los cultivos presentes en la cuenca habría ejercido una presión adicional sobre el recurso que, junto con el aumento de la extensión ocupada por el regadío, habrían llevado al agotamiento del recurso.

Gráfico 4. Evolución de consumo (hm³), dotación (m³/ha) y VAB del riego (mm euros). Índices con base 1989=100

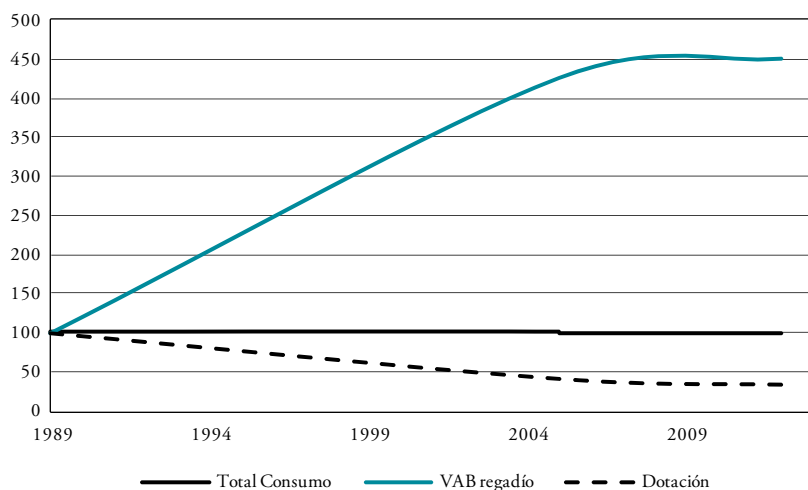


Tabla 5. Productividad de la tierra y del riego en la cuenca del Guadalquivir (2012)

Tipos de Cultivo			Producción Bruta (euros/ha)	Dotación media de riego (m ³ /ha)	Productividad regadío (euros/m ³)
Cereales	Trigo	Secano	431		
	Arroz	Regadío	2.451	10.450	0,23
	Maíz	Regadío	2.768	5.000	0,55
Industriales	Girasol	Secano	471		
	Algodón	Regadío	1.155	4.500	0,26
	Remolacha Azucarera	Regadío	2.726	4.500	0,61
Cítricos	Naranja	Regadío	6.300	5.400	1,17
Olivar	Aceituna mesa	Secano	1.426		
	Aceituna Almazara	Secano	1.302		
	Aceituna mesa	Regadío	1.755	1.500	1,17
	Aceituna Almazara	Regadío	2.500	1.500-2.250	1,11-1,67

El análisis de la productividad asociada al riego en la cuenca del Guadalquivir revela claramente como la mayor eficiencia en el uso del recurso, obtenida gracias a la modernización del regadío, ha conducido a la ampliación de las superficies regadas de aquellos cultivos con elevadas productividades económicas por unidad de riego (olivar y cítricos, principalmente). De esta forma, los limitados recursos hídricos de la cuenca se han ido concentrando mayoritariamente en la explotación de aquellos cultivos más rentables por unidad de agua consumida. Al mismo tiempo, estos cultivos se han expandido hasta agotar la oferta disponible de riego en la cuenca, llevando a esta a su estado actual de «cierre hidrológico». De hecho, la propuesta de Plan Hidrológico (2015-2021) para la cuenca solo plantea un aumento muy marginal del volumen regulado, estando este además enfocado a la corrección de déficits estructurales de zonas con problemas sociales y ambientales.

En resumen, la mayor productividad asociada al regadío respecto del secano, gracias a la mayor eficiencia en el uso del agua alcanzada por el intenso proceso de modernización, caracterizaría a una cuenca hidrográfica técnica y económicamente desarrollada como es el caso de la del Guadalquivir. Asimismo, el agotamiento de la capacidad de generar un mayor VAB por hectárea regada y la creciente productividad asociada al agua de riego reflejarían el es-

tado de cierre irreversible que caracteriza actualmente a la cuenca del Guadalquivir, y donde los aumentos de la productividad del regadío ya solo pueden obtenerse de los potenciales ahorros en el consumo de agua asociados a una mayor tecnificación/modernización de las técnicas de regadío.

5. Discusión y conclusiones

La cuenca del Guadalquivir se caracteriza por una alta productividad asociada al agua de riego y un agotamiento de los usos productivos del recurso, características propias de una cuenca mediterránea desarrollada y cerrada (Berbel *et al.*, 2013). Los agricultores han optado por técnicas y cultivos que maximizan la productividad económica asociada al factor más escaso, es decir, el agua, frente a la tierra. En este sentido, Expósito y Berbel (2016a) muestran como el modelo que mejor explica el comportamiento de los agricultores del olivar se caracteriza por la maximización del valor del producto marginal del agua, al considerarse este como el verdadero factor limitante de la producción, alejándose así de la teoría tradicional que considera a la tierra como el factor agrícola limitante. Asimismo, este comportamiento alcanza una mayor intensidad en entornos de escasez hídrica, como es el caso de la cuenca del Guadalquivir, y donde los agricultores optan por la aplicación de técnicas de riego deficitario para maximizar la mayor rentabilidad económica de sus explotaciones.

Las consecuencias agregadas a nivel de cuenca derivadas de este modelo individual de maximización de la productividad del agua se traducen en mayores presiones sobre el recurso hídrico. De esta forma, el crecimiento de la productividad del agua muy por encima de la productividad de la tierra ha fomentado la expansión de aquellos cultivos con mayores rendimientos por unidad de riego, especialmente olivar y cítricos. Este hecho se ha traducido en un aumento del valor del agua, elevando así la demanda potencial del recurso que, en el caso de no tomar medidas adecuadas de gobernanza, podría resultar en el paradójico agotamiento de los ahorros generados por la modernización del regadío (ver capítulo 8 de Berbel *et al.* en este mismo volumen).

Al mismo tiempo, la mayor eficiencia en el uso del agua, como consecuencia de la implantación de las nuevas técnicas de regadío, se ha incrementado aún más si cabe, por la adopción generalizada de las técnicas de riego deficitario, especialmente en olivar. En nuestra opinión, esta tendencia continúa con la expansión de otros cultivos alternativos en la cuenca que,

como el almendro, y bajo técnicas de riego deficitario o completo, comienzan a sustituir a otros cultivos herbáceos o leñosos de menor productividad.

Aunque el Plan Hidrológico 2015-2021 no plantea nuevos incrementos de las hectáreas regables, con la excepción de un volumen de 30 hm³ (y que implicaría entre 10.000 y 30.000 hectáreas) procedentes de la reutilización de aguas para zonas de alto impacto socioeconómico, creemos necesario dotarse de herramientas que permitan flexibilizar la asignación del recurso hídrico. En este sentido, una de estas herramientas podría ser los mercados de derechos del agua (ver libro coordinado por Gómez-Limón y Calatrava, 2015 en esta misma serie de publicaciones) que, en el particular contexto de la cuenca del Guadalquivir, podrían reducir las crecientes presiones sobre el recurso. De esta forma, las demandas para aumentar la capacidad disponible de riego se paliarían a través de la transferencia de derechos desde las explotaciones menos productivas hacia las más productivas por unidad consumida de riego. Sin embargo, y a pesar de que la Ley de Aguas de 1999 habilita el desarrollo completo de los mismos, estos no han sido totalmente implementados, observándose tan solo cesiones temporales de derechos y alguna cesión permanente tramitada como cambio de características.

Por el lado de la demanda, las medidas de elevación del precio del recurso no tendrían, en nuestra opinión, mayores efectos en términos de reducción del consumo para regadío (Expósito y Berbel, 2016b). En un contexto donde la recuperación de costes por los servicios del agua alcanza niveles aceptables en la cuenca del Guadalquivir (alrededor del 86 % a escala global según Borrero *et al.*, 2016), la elevación del precio del agua de riego no tendría apenas impacto en la demanda. Por ello, el aumento del canon de regulación y/o la tasa de utilización del agua (TUA) para recuperar el porcentaje del coste que todavía no se recuperado como consecuencia de la normativa actual, no debería hacerse con objetivos ambientales (ya que no afectaría a la demanda de agua de manera apreciable), sino en todo caso por razones de equidad social, evitando así que una parte de la población española subvencione a un determinado sector productivo, como es el caso del agrícola. No obstante, este debate atendería a factores de naturaleza socio-política, lo que claramente excede los objetivos de este trabajo.

Como conclusión, se puede afirmar que el intenso proceso de modernización del regadío en la cuenca del Guadalquivir ha generado importantes presiones sobre el limitado recurso hídrico. El crecimiento de la extensión agrícola de regadío, especialmente en aquellos cultivos con elevados rendimientos

asociados al agua consumida, junto con el aumento de la eficiencia en el uso del recurso hídrico gracias a las nuevas técnicas de riego, han elevado las presiones sobre la demanda en la cuenca. Como consecuencia, el agotamiento de la capacidad hidrológica de esta para satisfacer las necesidades humanas (especialmente la agrícola) han llevado a la cuenca a un estado actual de «cierre», lo que al mismo tiempo caracterizaría a una cuenca que ha alcanzado un elevado desarrollo agronómico, concentrando la producción en aquellos cultivos capaces de generar altos rendimientos a partir de una escasez crónica del recurso hídrico. En nuestra opinión, el actual estado de «cierre» hidrológico alcanzado por la cuenca del Guadalquivir tiene carácter irreversible, ya que las presiones sobre la demanda van a seguir produciéndose como consecuencia de la cada vez mayor tecnificación del regadío y del elevado grado de desarrollo agronómico de la cuenca.

Referencias bibliográficas

- ARGÜELLES MARTÍN, A.; BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2012): «La evolución de la Cuenca del Guadalquivir (España)»; *Revista de Obras Públicas* 3537(159); pp. 1-13.
- BERBEL, J.; PEDRAZA, V. y GIANNOCCARO, G. (2013): «The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir»; *International Journal of River Basin Management* 11(1); pp. 111-119.
- BORREGO-MARÍN, M. M.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. y BERBEL, J. (2016): «Estimation of cost recovery ratio for water services based on the System of Environmental-Economic Accounting for Water»; *Water Resources Management* 30(2); pp. 767-783. doi:10.1007/s11269-015-1189-2.
- CAP (2010): *Inventario de Regadíos 2008 y su evolución en la última década*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- CAP (2011): *Agenda del Regadío Andaluz H-2015*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- CARRASCO, J. M.; PISTÓN, J. M. y BERBEL, J. (2010): «Evolución de la productividad del agua en la Cuenca del Guadalquivir 1989-2005»; *Economía Agraria y Recursos Naturales* 10(1); pp. 57-67.
- CHG (1998): *Plan Hidrológico de Cuenca del Guadalquivir*, R. D. 1664/1998. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Disponible en <https://www.boe.es/boe/dias/1999/08/27/pdfs/A31813-31838.pdf>.

- CHG (1994): *Plan Hidrológico del Guadalquivir 1992*. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- CHG (2004): *Inventario de Regadíos*. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- CHG (2013): *Plan Hidrológico de la demarcación del Guadalquivir 2009-2015*, R. D. 255/2013. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en <http://www.chguadalquivir.es/demarcacion-hidrografica-guadalquivir>.
- CHG (2016): *Plan Hidrológico de la demarcación del Guadalquivir 2015-2021*, R. D. 1/2016. Sevilla, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en <http://www.chguadalquivir.es/demarcacion-hidrografica-guadalquivir>.
- COROMINAS, J. (2010): *Los nuevos Planes Hidrológicos de las Cuencas Andaluzas*. Comunicación presentada en Seminario Nacional «Los nuevos Planes de Cuenca según la DMA». Madrid, Observatorio del Agua de la Fundación Botín.
- COROMINAS, J. (2011): *Análisis de las modernizaciones de regadíos en Andalucía*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- EXPÓSITO, A. y BERBEL, J. (2016a): «Microeconomics of deficit irrigation and subjective water response function for intensive olive groves»; *Water* 8(6); pp. 254. doi:10.3390/w8060254.
- EXPÓSITO, A. y BERBEL, J. (2016b): «Why is water pricing ineffective for deficit irrigation schemes? A case study in southern Spain»; *Water Resources Management*. Publicado online el 19 de diciembre de 2016. doi:10.1007/s11269-016-1563-8.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2009): «Implicaciones de la nueva planificación hidrológica para la agricultura de regadío»; en Gómez-Limón, J. A.; Garrido, A.; Calatrava, J.; Sáez-Fernández, F. J. y Xabadía, À., eds.: *La economía del agua de riego en España*. Almería, Fundación Cajamar; pp. 33-54.
- GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. y BERBEL, J. (2013): *Causas, efectos y políticas para prevenir el efecto rebote de la modernización de regadíos*. Comunicación presentada en VIII Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Portugal, Lisboa.

- INE (1989): *Censo Agrario de España*. Madrid, Instituto Nacional de Estadística.
- MAGRAMA (varios años): *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE)*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): *ESYRCE. Informe sobre Regadíos en España*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MARM (2010). *Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos H2015*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Perspectiva del agricultor sobre el efecto de la modernización de regadíos en la distribución de cultivos

Manuela Castillo, María M. Borrego Marín y Julio Berbel
Universidad de Córdoba

1. Introducción y objetivos

Uno de los efectos previstos de la modernización de regadíos es la modificación de cultivos hacia producciones de mayor valor añadido. Las causas son, por una parte, la mayor garantía de suministro de agua y la mayor flexibilidad en el uso del riego y, por otra, el incremento de los costes del riego, especialmente a través de mayores costes energéticos.

Muchos de los trabajos que han analizado los efectos de la modernización en distintas zonas regables han evidenciado cambios en las orientaciones productivas de las explotaciones (Berbel *et al.*, 2015; Fernández-García *et al.*, 2014; Scott *et al.*, 2014; López-Gunn *et al.*, 2012; Rodríguez-Díaz *et al.*, 2012; Lecina *et al.*, 2010a). No obstante, las decisiones de cultivo por parte de los agricultores obedecen tanto a condicionantes técnicos y agronómicos como a las condiciones de mercado. En este trabajo se pretende analizar los cambios de cultivos que responden a la modernización del regadío, separándolos de los que responden a otras razones, fundamentalmente, condiciones de mercado y ayudas de la Política Agraria Común (PAC).

Otro efecto apuntado de la modernización de riegos es el incremento de los rendimientos de cultivo que hace posible esa mejor gestión del recurso, al permitir el riego en dosis y momentos adecuados para el cultivo. Es el efecto sobre la productividad de la tierra de la modernización. Corominas y Cuevas (capítulo 11 en este volumen) señalan que la productividad del regadío en el Valle del Guadalquivir por hectárea y empleo generado ha aumentado en un 33 y 28 % respectivamente.

Ambos efectos de la modernización van a ser analizados a partir de una encuesta a agricultores de 4 comunidades de regantes del sur peninsular en la que se preguntaba por los cultivos premodernización y posmodernización y las razones del cambio, en caso de producirse.

Es clara la necesidad y urgencia de realizar evaluaciones ex post del coste-eficacia de las inversiones en modernización de regadíos en términos económicos, sociales y medioambientales. Este trabajo contribuye a esta necesaria evaluación a través del conocimiento de los cambios de los patrones productivos que podemos imputar a la modernización propiamente dicha y no a la evolución natural del mercado y a la influencia de la PAC.

2. Descripción general

Los datos han sido recopilados a través de una encuesta realizada en campo en el año 2014 a 117 agricultores de las provincias de Córdoba, Sevilla y Cádiz pertenecientes a las comunidades de regantes del Guadalquivir, Genil-Cabra, Margen Derecha del Río Bembézar y Guadalquivir, las tres primeras pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y la última a la Demarcación Hidrográfica Guadalete y Barbate.

La Comunidad de Regantes del Pantano del Guadalquivir está actualmente configurada por 6.292 ha y abarca todas las fincas rústicas incluidas en el área comprendida entre la finca Ribera Alta, con la que linda por el este y el arroyo que corre al pie del pueblo de Almodóvar del Río, por el oeste; lindando al norte con el canal principal, situado al pie de Sierra Morena y al sur con el río Guadalquivir.

La superficie total de la zona regable del Genil-Cabra es de unas 40.000 ha, de las que se consideran útiles para el riego 37.010 ha, distribuidas entre diversos términos municipales de Córdoba y Sevilla, situados en la margen derecha del río Genil, que la delimita por el suroeste. En la actualidad se encuentran en pleno funcionamiento 23.946 ha.

La Comunidad de Regantes del Canal de la Margen Derecha del Río Bembézar comprende una franja de terreno de unos 38 km de longitud situada en la margen derecha del Guadalquivir, limitada al sur por este, al norte por el canal principal y comprendido entre la desembocadura del Bembézar a la altura de Hornachuelos en la provincia de Córdoba y la del Arroyo de Las Mezquitas, a 7 km aguas abajo de Lora del Río, totalizando en la actualidad unas 12.000 ha de superficie neta.

La Comunidad de Regantes del Guadalquivir cubre 11.700 ha regadas y engloba los municipios de Jerez de la Frontera y Arcos de la Frontera, ambos en la provincia de Cádiz. Las comunidades de regantes analizadas son una muestra representativa de las grandes zonas regables de Andalucía, por lo que podemos considerar los resultados obtenidos en las mismas una aproximación a la realidad andaluza en términos generales. La superficie de riego del conjunto de las cuatro es de 67.002 ha, lo que supone el 7,5 % de las Demarcaciones Hidrográficas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate.

El número total de hectáreas regadas por los 117 agricultores que constituyen la muestra de análisis asciende a 5.755, aproximadamente un 10 % del total de la superficie regada de las comunidades de regantes a las que pertenecen.

El tamaño medio de las explotaciones encuestadas es de 48,5 ha de regadío (Tabla 1), siendo bastante mayor en el Guadalmellato y prácticamente similares en Guadalquivir y Bembézar.

Tabla 1. Descripción de la muestra

Zona regable	Número de encuestas	Superf. media últimos 3 años (ha)	Desviación estándar	Dotación media antes (m ³ /ha)	Dotación media después (m ³ /ha)	Variación dotación media (%)
Guadalmellato	25	80,6	134,4	7.620	5.900	-18,7
Guadalquivir	25	34,3	46,4	8.076	5.648	-30,1
Genil-Cabra	41	46,8	71,7	3.080	3.641	18,2
Bembézar	26	34,1	39,5	7.292	5.404	-25,9
Total/media	117	48,5	81,3	6.032	4.937	-18,2

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

La dotación media de agua antes y después de la modernización en las explotaciones de la muestra se redujo un 18,2 % (Tabla 1), con diferencias notables entre comunidades de regantes. En Guadalquivir, partiendo de valores medios elevados, la asignación media se reduce en casi el doble que para el conjunto de la muestra. La reducción media en el Bembézar también fue mayor que la media encuestada, mientras que por el contrario, en Genil-Cabra se registra un incremento en la dotación media. En esta zona, el 26,8 % de las explotaciones aumentan su dotación y solo la reducen el 5 % de los encuestados.

3. Material

El objetivo de la encuesta es analizar la distribución de cultivos antes y después de la modernización de regadíos llevada a cabo en las zonas regables especificadas, analizar si han existido cambios en dicha distribución y los motivos que los han propiciado. Para ello, los agricultores son preguntados, entre otras cuestiones, acerca del número de hectáreas regadas por cultivo y los rendimientos por hectárea y cultivo antes y después de la modernización.

Los cultivos anuales predominantes en la muestra son maíz, algodón y trigo y, en menor medida, remolacha, girasol y cítricos (Tabla 2). Entre los cultivos permanentes, destaca el olivar, pero con fuertes diferencias por zonas. En Genil-Cabra es casi el 50 % de la superficie de la muestra mientras que está ausente en las explotaciones encuestadas de Guadalquivir y Bembézar. Los cítricos son el segundo frutal en superficie. Estos siete cultivos representan casi el 90 % de la superficie regada por los agricultores tanto antes como después de la modernización. El resto de cultivos son hortícolas diversos, patata y alfalfa fundamentalmente.

La Tabla 2 muestra la variación de cultivos que declaran los agricultores encuestados antes y después de la modernización. Los cítricos son el cultivo que más aumenta con la modernización, creciendo en un 97 % la superficie de cultivo. Las comunidades de regantes del Bembézar y el Guadalquivir son las de mayor expansión de este, mientras que se reduce ligeramente en el Genil-Cabra. Crece también el cultivo de maíz (14 %) y la superficie de olivar (11 %). Los que reducen su presencia son la remolacha, con un 70 % menos de superficie y el girasol, con un 40 %. El trigo y el algodón reducen también ligeramente su superficie, 6 y 7 % respectivamente, aunque el algodón aumenta en la Comunidad de Regantes del Genil-Cabra.

Respecto a las segundas cosechas, solo 5 de los 117 agricultores encuestados (4 %) señalan que tenían segunda cosecha antes de modernizar, mientras que solo 2 (1,7 %) reconocen tenerlas después de modernizar.

En cuanto a los rendimientos propiamente dichos (Tabla 3), son sensiblemente superiores en la muestra respecto a la media andaluza para olivar, lo que puede explicarse por la alta presencia de olivar intensivo (300 árboles/ha) en las comunidades de regantes encuestadas frente al olivar en regadío andaluz, que incluye muchos olivos marginales y tradicionales con dotaciones extraordinariamente deficitarias. Rendimientos bastante superiores a la media andaluza se en-

cuentran también en cítricos y algodón y, por último, los cultivos de maíz, trigo, girasol y remolacha están en el rango de ± 25 % respecto a la media andaluza.

Tabla 2. Superficie de los principales cultivos en la muestra. En hectáreas

Cultivos	Total muestra		Guadalmellato		Guadalcaçín		Genil-Cabra		Bembézar	
	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos
Maíz	1.175	1.310	617	631	186	169	62	182	310	328
Olivar	996	1.135	167	217	0	0	829	918	0	0
Algodón	995	933	332	226	233	251	145	219	286	238
Trigo	949	883	341	415	88	72	410	284	110	112
Girasol	598	360	168	80	91	123	210	43	129	114
Remolacha	256	77	90	0	162	77	0	0	4	0
Cítricos	224	442	37	152	0	0	102	81	85	210
Otros	598	695	264	257	88	161	151	205	95	72
Total	5.791	5.835	2.016	1.978	848	853	1.909	1.932	1.019	1.074

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

Tabla 3. Rendimientos por hectárea antes y después de la modernización de regadíos

Principales Cultivos	Rendimientos Muestra (kg/ha)			Rendimientos Andalucía (kg/ha)*		
	Pre	Pos	%	Pre	Pos	%
Maíz	13.188	14.241	8	11.700	11.894	2
Olivar	9.600	10.521	10	4.030	4.917	22
Algodón	4.592	4.105	-11	3.557	2.855	-20
Trigo	4.000	4.143	4	4.285	4.266	-1
Girasol	1.633	1.657	1	2.080	2.238	8
Remolacha	79.833	82.000	3	69.705	77.404	11
Cítricos	28.500	31.545	11	22.300	24.530	10

* Datos de la encuesta y Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras. Andalucía. Años 2002 (Pre) y 2012 (Pos).

La evolución de los rendimientos en el periodo es más relevante para el objetivo de nuestro trabajo que la comparación con la media regional. En lo que respecta a la evolución de los rendimientos de los cultivos, los agricultores encuestados determinan que todos los cultivos a excepción del algodón han visto incrementado su rendimiento en términos de kg/ha después de la modernización. Este aumento ha sido en promedio en la encuesta de un 3,7 %

mientras que la media andaluza según datos del Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía es de aumento en este periodo de un 4,7 %. La diferencia es de escasa entidad y puede ser asumida como explicable por la variabilidad estadística y, por tanto, en base a nuestra muestra descartamos que se haya producido un aumento de los rendimientos físicos como consecuencia de la modernización. Este resultado es solo aplicable a nuestro caso y sería recomendable hacer un análisis más amplio, ya que nuestra muestra consiste en comunidades de regantes modernizadas con una situación de partida aceptable, por lo que la mejora prácticamente no ha implicado aumento de la disponibilidad de agua, a diferencia del caso descrito por Lecina *et al.* (2010a) para el Ebro.

Una cuestión muy relevante es la valoración del posible aumento del valor generado como consecuencia del cambio de cultivos. Los resultados reflejan un aumento del valor de la productividad de la tierra en el área encuestada del 6,6 % (Tabla 4). Sin embargo, el valor de la productividad para los cultivos que más crecieron (cítricos y olivar) disminuyó en el período analizado.

Tabla 4. Valor de la producción antes y después de la modernización de regadíos

Cultivos	Superficie (ha)		Producción final (euros 2012)*		Producción final (euros/ha 2012)*	
	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos
Maíz	1.175	1.310	2.859.598	4.346.780	2.434	3.318
Olivar	996	1.135	5.952.893	5.393.901	5.977	4.752
Algodón	995	933	2.028.522	1.512.070	2.039	1.621
Trigo	949	883	685.682	906.885	723	1.027
Girasol	598	360	452.430	402.840	757	1.119
Remolacha	256	77	1.417.742	217.833	5.538	2.829
Cítricos	224	442	1.640.737	2.928.007	7.325	6.624
Resto	598	695	3.652.542	4.372.603	6.108	6.292
Total	5.791	5.835	18.690.146	20.080.919	3.227	3.441

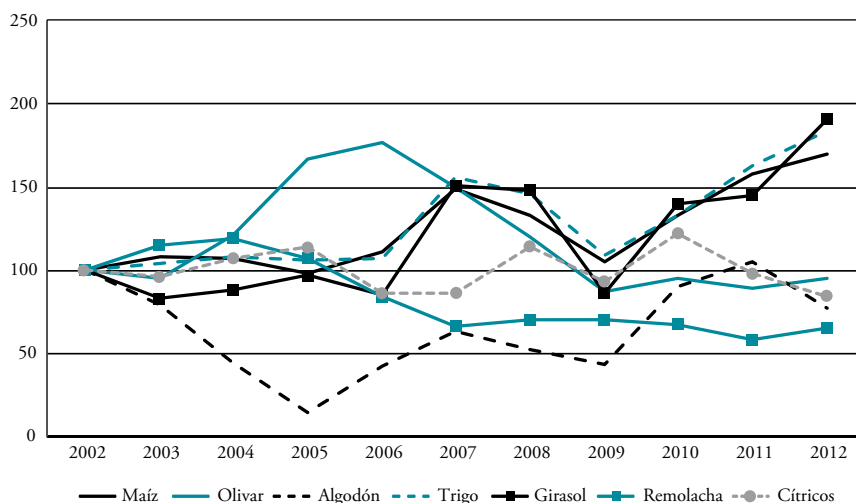
* Precios deflactados por el IPC.

Fuente: Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras. Andalucía. Años 2002 (Pre) y 2012 (Pos).

La razón de estos resultados está en la desfavorable evolución de los precios de los cultivos, más aún si se consideran en valores reales. Salvo el precio de cereales (trigo y maíz) y girasol, el de los cultivos predominantes en la zona

encuestada ha evolucionado desfavorablemente, con reducciones de precios nominales en el período 2002-2012 analizado (Gráfico 1). El aumento de los rendimientos en estos cultivos, por tanto, no ha compensado la reducción de precios percibidos por el agricultor, lo que es un hecho persistente que está condicionando decisivamente la rentabilidad de la agricultura española (Atance-Muñiz, 2013). Sería en todo caso importante valorar si la modernización de los sistemas de riego está amortiguando esta negativa tendencia en la rentabilidad de las explotaciones, cosa que no es posible hacer aquí con los datos disponibles.

Gráfico 1. Índice de precios percibidos. En precios corrientes



Fuente: Eurostat.

Por otro lado, el valor de la producción se ha calculado a partir de valores medios percibidos y, en el caso de los cítricos, que es el cultivo que más ha crecido, se corresponde con los precios medios de naranjas, cuando muchas de las nuevas plantaciones son de otras variedades más competitivas (mandarinas) que sustituyen a variedades antiguas de naranja, y que en muchas ocasiones aún no han entrado en producción. Por tanto, es posible que los valores de productividad apuntados en el caso de los cítricos estén subvalorando el efecto de la modernización.

En la encuesta también se les preguntaba a los agricultores el motivo del cambio de cultivo, indicando si se debía a la modernización de regadíos o se debía a razones de mercado, cambios en la PAC u otras. Algo más de un tercio de los agricultores (34 %) señalan la modernización de regadíos como motivo del cambio. Ninguno en el Guadalquivir, y en cambio, el 61 % de los agricultores del Genil-Cabra, el 35 % en el Bembézar y el 24 % en el Guadalquivir.

Por cultivos, la Tabla 5 refleja que los cítricos y el olivar son los cultivos que más han cambiado impulsados por la modernización. En el 43,5 % de las explotaciones con cítricos, la modernización ha influido en las decisiones de cultivo, en su mayoría aumentando la superficie de cultivo (60 % de los casos). En el 55,2 % de las explotaciones de olivar, la modernización ha motivado fundamentalmente el mantenimiento de las plantaciones (en un 75 % de los casos) y en menor medida su crecimiento. Los cambios de cultivo que afectan al algodón y maíz, en cambio, han estado poco influidos por la modernización, pero en los casos en los que esta ha motivado el cambio ha sido en su mayoría para aumentar la superficie de cultivo. Esto mismo puede decirse del girasol, pero en sentido contrario, la modernización ha impulsado la reducción del cultivo.

Tabla 5. Agricultores que declaran cambios de cultivos por modernización

Cultivos	Explotaciones que cultivan (%)	Variación del cultivo (% respuestas afirmativas)		
		Aumenta	Disminuye	Se mantiene
Maíz	6,4	100	0	0
Olivar	55,2	18,8	6,3	75
Algodón	14,7	72,7	9,1	18,2
Trigo	20,8	30	40	30
Girasol	12,1	25	75	0
Remolacha	0			
Cítricos	43,5	60	10	30

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

De lo expuesto anteriormente se deduce que aproximadamente 1/3 de los agricultores justifican el cambio de cultivos como consecuencia de la modernización, destacando olivar y cítricos por ser los cultivos con mayor impacto. No obstante, esta muestra requiere de un análisis estadístico más detallado

que nos permita relacionar cambios de cultivos con modernización y los factores, si hubiera, que explican este cambio.

4. Método

Nuestra investigación pretende dar respuesta a la pregunta: ¿qué variables determinan que un agricultor declare que el cambio de cultivos se debe a la modernización? Para ello, se va a estimar un modelo de regresión logística, en el que la variable explicada será una variable dicotómica:

- $Y=1$: «la modernización impulsa el cambio de cultivo», o contrariamente,
- $Y=0$: «la modernización no influye en la planificación de cultivos y son otras razones, mercado y PAC, las que guían esta».

Siendo X_1, X_2, \dots, X_k (actitud frente al riesgo, existencia de pozo en la explotación, concesión de derechos de riego antes de la modernización, cultivos, tamaño de explotación, edad, etc.) las variables que explican el suceso ($Y=1$), la función de probabilidades a estimar con distribución logística se especifica de la forma siguiente:

$$P(Y = 1) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k}}$$

Los coeficientes β de la función se estiman mediante el método de máxima verosimilitud y al no ser un modelo lineal, no son directamente interpretables. No obstante, el signo de los coeficientes nos indicará la dirección de la relación, de manera que un coeficiente β_i positivo aumenta la probabilidad de que $Y=1$, mientras que, si es negativo, la reduce. Por tanto, la utilidad de los resultados del modelo es más de tipo cualitativo que cuantitativo.

5. Resultados

Las variables explicativas X_i fueron seleccionadas con carácter previo a la estimación del modelo, en base a las correlaciones y capacidad de predicción de Y . Se utilizó el programa estadístico SPSS. La Tabla 6 describe el modelo estimado.

Tabla 6. Regresión Logit Binomial: Probabilidad de cambios de cultivos por modernización

VARIABLES	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	WALD	GL	SIG.	EXP. (B)
Constante	-5,632	1,689	11,123	1	0,001	0,004
Asunción riesgo en producción	1,684	0,505	11,122	1	0,007	5,389
Dotación agua antes modernización	-0,024	0,009	6,871	1	0,009	0,976
Superficie riego	-0,009	0,003	6,534	1	0,011	0,991
Cultiva cítricos	1,428	0,664	4,632	1	0,031	4,172
Cambio sistema de riego	1,296	0,625	4,304	1	0,038	3,655

Para evaluar el ajuste global del modelo se utiliza el test Chi-cuadrado asociado al valor $-2LL$, resultando significativo al menos al 0,1 %¹. Igualmente, el valor X^2 de la medida de Hosmer&Lemeshow no es significativo (12,651), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las clasificaciones observadas y las que predice el modelo. Concretamente, el modelo permite predecir correctamente el 82,5 % de las respuestas de los agricultores (Tabla 7). Por tanto, podemos afirmar que el ajuste de la *función logit* estimada es bueno.

Tabla 7. Clasificación de aciertos⁽ⁱ⁾

MOTIVO CAMBIO DE CULTIVOS	OBSERVADO	PRONOSTICADO		PORCENTAJE CORRECTO
		MOTIVO MODERNIZACIÓN		
		No	Sí	
Motivo modernización	No	71	5	93,4
	Si	15	23	60,5
Porcentaje global			82,5	

Las variables que resultan significativas son:

1. La actitud frente al riesgo en decisiones de producción, de manera que los agricultores que declaran que la modernización ha incidido en el cambio de cultivos, son los que manifiestan ser más favorables a asumir riesgos en la producción. En la encuesta se le pedía al agricultor

¹ $X^2 = 43,743$ ($-2\log$ verosimilitud=101,382).

valorar su actitud, en relación a los agricultores de su entorno, a la hora de asumir riesgos en distintos aspectos de gestión de la explotación. Decisiones relacionadas con el marketing y la introducción de nuevas tecnologías muestran también correlaciones positivas con la variable explicada, pero no resultaron significativas en el modelo final.

2. La dotación media de agua antes de la modernización, en el sentido de que las explotaciones que disponían de un mayor volumen de agua (m^3/ha) son las que declaran menor influencia de la modernización en la decisión de cultivos. Como se ha visto anteriormente (Tabla 1), la reducción de agua fue mayor en explotaciones que contaban con mayor dotación inicial e incluso, de manera excepcional, en la Comunidad de Regantes de Genil-Cabra, con bajas asignaciones, la modernización aumentó sus dotaciones. No obstante, hay que indicar que si bien es significativa, el coeficiente de la variable dotación en el modelo es reducida ($Exp(B)$, es solo ligeramente inferior a 1), por lo que la relación entre ambas variables es débil.
3. La superficie de riego en la explotación resulta estadísticamente significativa con un coeficiente negativo, indicando una menor probabilidad de cambios de cultivo por la modernización en explotaciones más pequeñas. Al igual que ocurre con la variable dotación, la relación de cambio de cultivos por modernización y el tamaño de explotación es débil, a la vista del coeficiente de la variable y su $Exp(B)$ correspondiente.
4. El cambio, en el sistema de riego en la explotación en el sentido de transformación de sistemas a manta, surcos o inundación hacia sistemas a presión (goteo o aspersión), aumenta la probabilidad de que la modernización haya influido en la decisión de cultivos.
5. En relación a los cultivos, los cítricos es el cultivo que resulta significativo, de manera que el aumento de superficie de este cultivo está en gran parte motivada por la modernización. La presencia de olivar muestra también correlación positiva, mientras que la presencia de maíz presenta correlación negativa con la modernización como condicionante del cultivo, pero los coeficientes de estas variables no resultaron estadísticamente significativos en el modelo.

6. Discusión y conclusiones

El análisis de nuestra encuesta ha puesto de manifiesto que la modernización ha supuesto cambios trascendentales en los agricultores de las comunidades de regantes que han participado en la encuesta, como son:

- No se detecta aumento de rendimientos significativamente distintos de la media regional. Es decir, la evapotranspiración (ETP) o consumo de los cultivos no aumenta como consecuencia de la modernización considerando cada cultivo de manera individual. En este sentido, de manera provisional podríamos afirmar:
 - No se produce el efecto ‘rebote’ de la modernización por razones de rendimiento de cultivos individuales.
 - No hay aumento de la productividad física como consecuencia de la inversión en modernización en las CCRR analizadas.
- Se detectan cambios en el patrón de cultivos y un tercio (34 %) de los agricultores justifica en la modernización el cambio de cultivos.
- Los agricultores que justifican el cambio de cultivos (frente al 66 % que lo achaca a otros factores) se declaran menos aversos al riesgo, es probable que cultiven cítricos y frutales y que hayan modernizado los sistemas de riego en la explotación.
- Al analizar con detalle este cambio vemos que:
 - Hay un aumento de cultivos intensivos (cítricos, hortícolas, olivar intensivo) y una disminución de cultivos extensivos (trigo, girasol, remolacha).
 - El cambio de cultivos debería implicar un mayor valor de la producción por unidad de superficie y mayor aún por volumen de agua, pero la evolución negativa de los precios, y la edad de las plantaciones de olivar y cítricos, han limitado por el momento los resultados económicos de la zona encuestada.

El análisis de los datos generales de las comunidades de regantes apunta a la existencia a escala agregada de una reducción de extracciones y un control de la superficie regada, lo que induce a pensar que no ha existido efecto rebote de relevancia, en línea con lo apuntado por otros autores (Berbel et *al.*, 2015;

Fernández-García *et al.*, 2014). No obstante, es necesario profundizar en el impacto de la modernización en el consumo (ETP), lo que requiere de un análisis agronómico que está fuera de los objetivos planteados en este capítulo.

Corominas y Cuevas (capítulo 11 en este volumen), concluyen que la mayor garantía de disponibilidad del agua y la mayor flexibilidad en su uso alcanzada con la modernización de regadíos ha inducido en Andalucía a una reducción de los cultivos extensivos de invierno, un fuerte crecimiento de los cultivos intensivos y semintensivos de verano en las zonas muy modernizadas, y un extraordinario crecimiento del riego deficitario de olivar tradicional de secano y de nuevas plantaciones. Estas conclusiones a escala de cuenca coinciden con las que pone de manifiesto nuestro trabajo a escala de comunidad de regante y de agricultor.

Los cambios de cultivo observados en la zona encuestada coinciden también con otros trabajos de evaluación *ex post* de la modernización, como el de Fernández-García *et al.* (2014) y Lecina *et al.* (2010b). No obstante, la evolución desfavorable de los precios de cultivos permanentes (cítricos y olivar) ha limitado los beneficios económicos de los agricultores en las comunidades de regantes analizadas, lo que apoya las opiniones críticas que cuestionan la viabilidad económica de las inversiones en modernización (WWF, 2015). En este sentido, sería conveniente valorar la rentabilidad de las explotaciones *ex post* con datos más precisos que los disponibles en esta encuesta.

De cualquier modo, la modernización del riego facilitará la adaptación de los agricultores a las condiciones de precios y otros factores (ayudas PAC y otros), lo que mejorará o al menos amortiguará la caída de la rentabilidad de sus explotaciones. Las conclusiones de este trabajo parecen apoyar esta afirmación al observar que los agricultores más innovadores son los que más han aprovechado la modernización, mejorando los sistemas de riego en explotación y realizando nuevas plantaciones en la dirección de la rentabilidad económica.

Esta mejora económica no ha venido acompañada de un aumento de la ETP según se deduce de manera aproximada por nuestra estimación. En nuestra opinión, este trabajo se debe considerar una aportación preliminar para un análisis coste-beneficio que es urgente que se acometa analizando las modernizaciones que se han llevado a cabo.

Esperamos que este trabajo anime a la elaboración de análisis socioeconómicos sobre el impacto de la modernización que complementen los excelentes trabajos en los campos agronómicos e hidrológicos de los que ya se va dispo-

niendo y que apuntan a la reducción de las extracciones y mejora de la calidad de los retornos como consecuencias positivas de la medida y al debate abierto en relación al posible efecto rebote de las medidas de ahorro.

Referencias bibliográficas

- ATANCE-MÚÑIZ, I. (2013): «La sostenibilidad económica de la agricultura española»; en Gómez-Limón, J. A., ed.: *La sostenibilidad de la agricultura española*. Almería, Cajamar Caja Rural; pp. 89-116.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E.; MONTESINOS, P. y BERBEL, J. (2014): «Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts»; *Agricultural Systems* (131); pp. 56-63. doi:10.1016/j.agry.2014.08.002
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010a): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1663-1675. doi:10.1016/j.agwat.2010.05.023.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010b): «Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality. A conceptual approach»; *International Journal of Water Resources Development* 26(2); pp. 265-282. doi:10.1080/07900621003655734.
- LÓPEZ-GUNN, E.; MAYOR, B. y DUMONT, A. (2012): «Implications of the modernization of irrigation systems»; en DE STEFANO, L. y LLAMAS, M. R., eds.: *Water, agriculture and the environment in Spain: can we square the circle*. Países Bajos, Leiden. CRC Press/Balkema; pp. 241-255.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2012): «Modernizing water distribution networks: Lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain»; *Outlook on Agriculture* 41(4); pp. 229-236. doi:10.5367/oa.2012.0105.

SCOTT, C. A.; VICUÑA, S.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I.; MEZA, F. y VARELA-ORTEGA, C. (2014): «Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience»; *Hydrology and Earth System Sciences* 18(4); pp. 1339-1348. doi:10.5194/hess-18-1339-2014.

WWF ESPAÑA. (2015): *Modernización de Regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*. Madrid, WWF España.

Impacto de la modernización de regadíos sobre el uso del agua y otras variables socioeconómicas en comunidades de regantes de Andalucía Occidental

María M. Borrego-Marín y Julio Berbel

Universidad de Córdoba

1. Introducción

La modernización de regadíos ha sido para España, y particularmente para Andalucía, una gran apuesta para conseguir una agricultura más competitiva y rentable, y sobre todo, para mejorar la eficiencia del uso del agua de riego.

Los datos económicos ponen de manifiesto un enorme esfuerzo inversor, tanto con fondos públicos como privados, que ha perseguido, entre otros, la consecución de los siguientes objetivos:

- Mejorar la eficiencia en el uso del agua.
- Potenciar un sector agrícola competitivo y rentable.
- Crear empleo en el medio rural.
- Mejorar la calidad de vida del agricultor.

El objetivo de este capítulo es analizar si la modernización de regadíos ha logrado realmente los objetivos arriba citados en nueve de las comunidades de regantes (CCRR) más importantes, en términos de superficie, de Andalucía. Además, también pretende analizar y comparar la estructura de costes de las CCRR antes y después del proceso de modernización, con idea de comprobar el impacto en el consumo y en el coste energético en las mismas, señalado por algunos autores.

Algunos análisis empíricos de la transformación de sistemas de regadío en España con la restricción del no aumento de la superficie regada los podemos encontrar en Fernández García *et al.* (2014), García-Mollá *et al.* (2013) y Soto-García *et al.* (2013). Estos autores detectan el incremento significativo en

los costes del agua debido al incremento en el consumo de energía en torno a un 50 o 100 % sobre los valores previos a la modernización, y un significativo incremento de la productividad de todos los factores: tierra, trabajo y agua.

Rodríguez-Díaz *et al.* (2011, 2012) usaron una batería de indicadores relacionados con el consumo de agua y energía para analizar sistemas antes y después del proceso de modernización en la Comunidad de Regantes del Bembézar Margen Derecha (Guadalquivir), donde el riego por superficie se sustituyó por riego por goteo. También observaron que se cuadruplicaron los costes de gestión, operación y mantenimiento respecto a antes de la modernización, principalmente debido al coste de la energía, así como a la mejora de la productividad aparente, como en Lecina *et al.* (2010).

Jackson *et al.* (2010) analizaron dos zonas de riego diferentes en Australia después de la conversión de sistemas de riego por inundación a sistemas presurizados. Los resultados mostraron una reducción de entre el 10 y el 66 % en el uso del agua, pero con un incremento de un 163 % en el consumo de energía de las zonas abastecidas con agua superficial y un ahorro de los costes energéticos entre el 12 y el 44 % en las zonas abastecidas con agua subterránea, debido a los menores caudales que se tenían que bombear por el incremento de la eficiencia.

2. Material y método

Los datos han sido recopilados a través de un cuestionario realizado mediante entrevistas a los gerentes y/o técnicos de nueve CCRR situadas en Andalucía Occidental, siete de las cuales pertenecen a la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y las dos restantes (Guadalcahín y Comunidad de Usuarios Ingeniero Eugenio Olid) a la Demarcación Hidrográfica Guadalete-Barbate.

La Tabla 1 recoge los datos sobre superficies antes y después de la modernización de cada una de las CCRR analizadas. Se observa que la mayoría de las CCRR no han incrementado su superficie regada ni la regable antes y después de la modernización. Una excepción es la Comunidad de Usuarios Ingeniero Eugenio Olid, que se encontraba en una situación de riegos infra-dotados ya que solo se podía regar el 61 % del perímetro regable y después de la modernización se riega todavía el 75 % de la tierra con derechos de riego. Con todo ello la superficie regada actual en las 9 CCRR estudiadas es de 83.209 ha, que supone apenas un 3 % superior a la que había antes del proce-

so de modernización, estas CCRR constituyen aproximadamente el 10 % de la superficie regada en Andalucía.

Tabla 1. Superficies antes y después de la modernización

CCRR	Superficie secano (ha)		Superficie regada (ha)		Superficie regable (ha)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Valle inferior del Guadalquivir	0	0	18.945	18.945	18.945	18.945
Guadalcaçín	0	0	11.581	11.581	11.581	11.581
Guadalmellato	0	0	5.600	5.600	5.600	5.600
Margen Derecha Genil	0	0	2.235	2.235	2.235	2.235
Margen Izquierda Bembézar	0	0	3.622	3.622	4.009	4.009
Comunidad de Usuarios Ingeniero Eugenio Olid	4.656	3.215	7.952	9.811	13.025	13.025
Canal de la Margen Derecha del Bembézar	0	0	11.912	11.912	11.912	11.912
Canal de la Margen izquierda del Genil. Presa de Peñafloz.	0	0	4.949	5.417	4.979	5.417
Sector B-XII Bajo Guadalquivir	0	0	14.087	14.087	14.087	14.087
Total	4.656	3.215	80.883	83.209	86.373	86.811

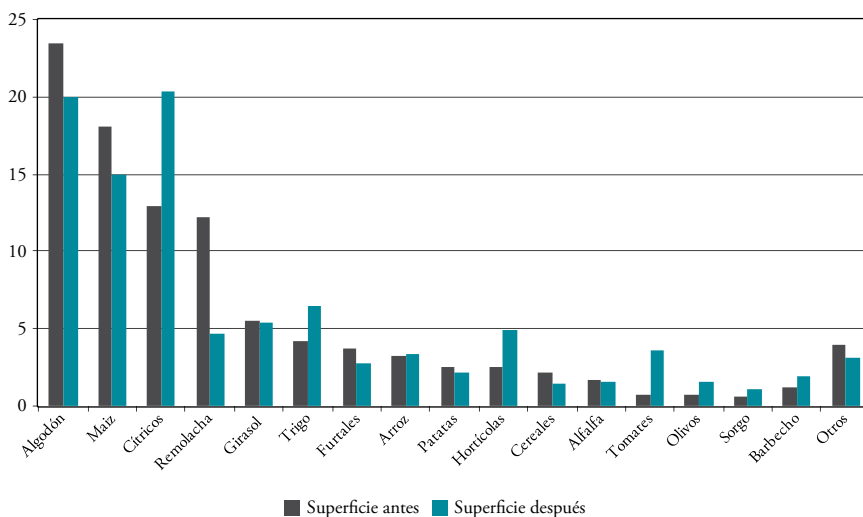
Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

El esfuerzo inversor realizado en dichas CCRR durante el proceso de modernización supera los 360 millones de euros (M€), siendo el porcentaje de subvención pública recibida del 25 al 60 % según el caso. En términos medios, la inversión por comunidad ha sido de unos 40 M€ y el porcentaje de subvención pública del 44 %. En su conjunto, el proceso de modernización en estas CCRR ha consistido en la mejora de la eficiencia técnica del riego mediante las actuaciones sobre las infraestructuras y la gestión de las zonas regables. Las actuaciones más generalizadas han consistido principalmente en la sustitución de canales abiertos por redes de riego a presión, construcción de balsas de regulación que flexibilicen el riego, adecuación de estaciones de bombeo y filtrado, así como la automatización y control del agua de riego, de forma que permitiera una mejora en la gestión sostenible de los recursos.

El Gráfico 1 muestra la distribución de cultivos en estas CCRR antes y después de la modernización. Los cultivos predominantes en ambos casos son el algodón, el maíz y los cítricos, si bien se observa una disminución del peso del algodón (3,5 %) y del maíz (3,1 %) en la distribución de cultivos tras la modernización a la vez que un incremento del peso de los cítricos (7,5 %).

Cabe destacar también el caso de la remolacha, que reduce su contribución en un 7,5 %. Estas modificaciones en el patrón de cultivo van en consonancia con las mencionadas por Castillo *et al.* (capítulo 13 en este volumen) y Corominas y Cuevas (capítulo 11 en este volumen).

Gráfico 1. Distribución de cultivos antes y después de la modernización. En porcentaje



Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

La Tabla 2 recoge las superficies cultivadas antes y después de la modernización. Se observa como hay cultivos que han experimentado un incremento importante como son el tomate, el olivar, los hortícolas, el sorgo, los cítricos y el trigo, en detrimento de otros tales como la remolacha, los cereales, los frutales, el maíz y el algodón.

Respecto a las modificaciones en la distribución de cultivos tras el proceso de modernización que han sido anteriormente señaladas, los gerentes y/o técnicos de las CCR analizadas sostienen que solo el aumento de superficie cultivada de cítricos y hortícolas es consecuencia de la modernización de regadíos y del aumento de la garantía del recurso que conlleva. El descenso de los cultivos industriales responde desde sus puntos de vista a los cambios en la Política Agraria Común (PAC) y a la propia rentabilidad del cultivo en el mercado.

Tabla 2. Distribución de cultivos antes y después de la modernización

Cultivos	Superficie Antes (ha)	Superficie Después (ha)	Incremento (%)	
Cítricos	10.478	16.978	62,03	
Girasol	4.494	4.507	0,28	
Trigo	3.393	5.364	58,11	
Arroz	2.609	2.862	9,71	↑
Hortícolas	2.104	4.136	96,55	
Tomates	650	3.057	370,38	
Olivos	605	1.309	116,21	
Sorgo	501	966	92,93	
Algodón	19.059	16.724	-12,25	
Maíz	14.677	12.536	-14,59	
Remolacha	9.905	3.945	-60,18	
Frutales	3.033	2.297	-24,25	↓
Patatas	2.014	1.785	-11,33	
Cereales	1.758	1.211	-31,12	
Alfalfa	1.400	1.313	-6,18	
Barbecho	1.000	1.615	61,46	↑
Otros	3.203	2.604	-18,70	↓
Total	80.883	83.209	2,88	↑

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

3. Resultados

Una vez agregados los datos de las 9 CCRR encuestadas, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- *Mejora de la eficiencia en el uso del agua*

El proceso de modernización de regadíos en las 9 CCRR analizadas ha dado lugar a una mayor implementación de sistemas de riego a presión, incrementándose notablemente el uso de sistemas de riego localizado, como refleja la Tabla 3. El riego por superficie, responsable de un mayor uso del agua, ha descendido un 50 %, de forma que actualmente solo el 20 % de la superficie regada en estas CCRR utiliza dicho sistema.

Tabla 3. Métodos de riego antes y después de la modernización

Método de riego	Antes (%)	Después (%)
Superficie	70	20
Aspersión	17	28
Goteo	13	52

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

- *Reducción del uso de agua*

En cuanto a las dotaciones de agua, los resultados reflejan un descenso medio del 25 % en las CCRR analizadas, pasando de dotaciones medias de 7.400 m³/ha antes de la modernización a dotaciones medias de 5.600 m³/ha tras la misma.

- *Mejora de la calidad de vida del agricultor*

Si bien con los datos obtenidos de estas 9 CCRR no ha sido posible constatar un aumento del empleo en el medio rural tras la modernización, sí que los gerentes y técnicos de dichas CCRR coinciden unánimemente en que la modernización de regadíos ha favorecido la mejora de la calidad del trabajo agrario y con ella por tanto la calidad de vida del agricultor.

- *Incremento en los costes de las derramas*

Las derramas después de la modernización en las 9 CCRR encuestadas se han incrementado notablemente, en algunos casos hasta cuatro veces respecto a la situación previa a la modernización. La dependencia energética de las CCRR modernizadas y los costes de amortización de las inversiones realizadas son sin duda la causa de este incremento en los costes.

En términos medios, la derrama en estas CCRR se ha incrementado un 128,30 %, siendo de 149 euros/ha antes de la modernización y de 339 euros/ha tras la misma. Actualmente, los costes energéticos suponen el 35 % de la derrama total de las CCRR, y son cuatro veces superiores a los de antes de modernizar, siendo los gastos generales del 40 % y los cánones y tarifas pagados a los organismos de cuenca del 25 % (Tabla 4).

Tabla 4. Derrama antes y después de la modernización

Derrama	Antes		Después		Incremento
	(€/ha)	(%)	(€/ha)	(%)	(%)
1. Tarifa y canon organismo de cuenca	68,75	46	86,33	25	25,58
2. Gastos generales (personal, alquileres, mantenimiento, vehículos, etc.)	55,19	37	134,55	40	143,79
3. Coste energético	24,71	17	118,48	35	379,50
4. Coste total	148,65	100	339,37	100	128,30

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

- *Implantación generalizada de la tarifa volumétrica*

Los resultados obtenidos confirman que las 9 comunidades de regantes encuestadas disponen tras el proceso de modernización de tarifas volumétricas, mientras que antes de la modernización solo estaba implantada en una de ellas. Este hecho es muy importante a la hora de racionalizar el uso del recurso y contribuye a una asignación más eficiente del mismo.

- *Otros logros*

Finalmente, en la Tabla 5 se presentan los resultados que se han obtenido al agregar las opiniones dadas por los gerentes y técnicos de las comunidades de regantes analizadas a cerca de determinados logros esperados de la modernización de regadíos. Para ello se utilizó una escala Likert de 1 a 5 donde el valor 1 se asocia a estar «nada de acuerdo» con la afirmación y 5 a estar «muy de acuerdo».

Los resultados sostienen que los gerentes y técnicos de las comunidades de regantes encuestadas están bastante satisfechos con sus expectativas previas sobre el proceso de modernización. Además, muestran estar de acuerdo con que la modernización de regadíos contribuye a un aumento de la garantía, a una menor extracción de recursos, a una mejor adaptación al cambio climático y a una reducción de los retornos. Se muestran menos optimistas con la idea de que mejora la calidad de los retornos y no están de acuerdo con la afirmación que sostiene que la modernización incrementa el consumo (evapotranspiración) de los cultivos.

Tabla 5. Escala Likert logros modernización (percepción gerentes CCRR)

Logros de la modernización	Promedio (1-5)
Aumento de la garantía	4,3
Menor extracción de recursos	4,1
Mejor adaptación al cambio climático	4,1
Menor cantidad de retornos	4,1
Mejor calidad de los retornos	3,2
Incremento en el consumo (evapotranspiración) de los cultivos	1,6

Fuente: Encuesta. Elaboración propia.

4. Discusión y conclusiones

Berbel *et al.* (2015) analizan la situación antes de la modernización (1999-2002) y después de la modernización (2009-2012) para cinco comunidades de regantes del Guadalquivir. Las condiciones bajo las cuales se desarrollaron estas modernizaciones fueron una reducción obligada de la dotación de agua de 8.000 m³/ha a 6.000 m³/ha y el no incremento de la superficie regada. Con estas condiciones, se produce un cambio de cultivos hacia cítricos y hortícolas, disminuyendo la remolacha, el algodón y el maíz. El resultado final es la reducción en el uso de agua. Estos resultados concuerdan en gran medida con los obtenidos en este análisis al ampliar la muestra a 9 CCRR.

Tras el proceso de agregación y análisis de datos, se puede concluir que la modernización de regadíos en las 9 CCRR andaluzas analizadas ha finalizado con los siguientes resultados:

- Incremento del peso de los cultivos intensivos, fundamentalmente cítricos y hortícolas, en el patrón de cultivo.
- Mejora de la eficiencia en el uso del agua, sostenida por un cambio sustancial de los sistemas de riego hacia el riego por goteo, y una reducción significativa de dotaciones.
- Mejora de la calidad del trabajo agrario y con ella la calidad de vida del agricultor.
- Incremento en los costes de las derramas, provocado fundamentalmente por un aumento sustancial de los costes energéticos y por los costes de amortización de las inversiones en infraestructuras.
- Implantación generalizada de la tarifa volumétrica.

Con todo ello se puede concluir que este análisis ha servido para realizar una evaluación de la repercusión de la modernización y el grado de cumplimiento de los objetivos fijados inicialmente y constituye un paso más hacia su seguimiento, en especial en grandes zonas regables de Andalucía Occidental. El análisis de los datos de campo obtenidos ha permitido llegar a las conclusiones arriba indicadas pero los resultados no son concluyentes ya que los cambios en planes de cultivo son muy complejos y difíciles de interpretar. Por ejemplo, la reducción de 'frutales' puede deberse al fin de ciclo de plantaciones de hueso (melocotón) y su sustitución por cítricos pero es necesario un análisis mucho más detallado para identificar los motivos del cambio. No obstante, esperamos haber aportado conocimiento útil para estudiar los efectos de la modernización a escala de CCRR.

Referencias bibliográficas

- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E.; MONTESINOS, P. y BERBEL, J. (2014): «Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts»; *Agricultural Systems* (131); pp. 56-63. doi:10.1016/j.agry.2014.08.002.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; ORTEGA-REIG, M. V. y AVELLÁ-REUS, L. (2013): «Irrigation associations coping with drought: the case of four irrigation districts in Eastern Spain»; en Schwabe, K.; Albiac Murillo, J.; Connor, J. D.; Hassan, R. M. y Meza González, L., eds.: *Drought in arid and semi-arid regions*. Países Bajos, Dordrecht. Springer; pp. 101-122.
- JACKSON, T. M.; KHAN, S. y HAFEEZ, M. (2010): «A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1477-1485. doi:10.1016/j.agwat.2010.04.013.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1663-1675. doi:10.1016/j.agwat.2010.05.023.

- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2011): «The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1000-1008. doi:10.5424/sjar/20110904-492-10.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2012): «Modernizing water distribution networks: Lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain»; *Outlook on Agriculture* 41(4); pp. 229-236. doi:10.5367/oa.2012.0105.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCÓN, F. y MARTÍN-GORRIZ, B. (2013): «Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain»; *Agricultural Water Management* (124); pp. 11-19. doi:10.1016/j.agwat.2013.03.019.

La modernización de regadíos en la planificación hidrológica

El caso de la Demarcación Hidrográfica del Júcar

Teodoro Estrela Monreal

Confederación Hidrográfica del Júcar (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) e Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (UPV)

Resumen

España tiene una larga tradición en planificación de recursos hídricos que se remonta a la planificación de obras hidráulicas de los inicios del siglo XX y más recientemente a la moderna planificación de la Ley de Aguas de 1985. En enero de 2016 se ha aprobado la revisión de los planes hidrológicos de cuenca correspondiente al ciclo de planificación 2016-2021. El objetivo de los planes consiste en satisfacer las demandas de agua protegiendo adecuadamente el estado las masas de agua y equilibrando y armonizando el desarrollo regional y sectorial. Para alcanzar ese objetivo los planes contemplan una serie de medidas básicas y complementarias entre las que se encuentra la modernización de los regadíos, que representan una inversión del orden de 7.000 millones de euros para el conjunto de las cuencas españolas. Este texto describe como se ha venido considerando la modernización de los regadíos en la planificación hidrológica y analiza sus efectos sobre los ahorros y la mejora de la calidad de las masas de agua en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

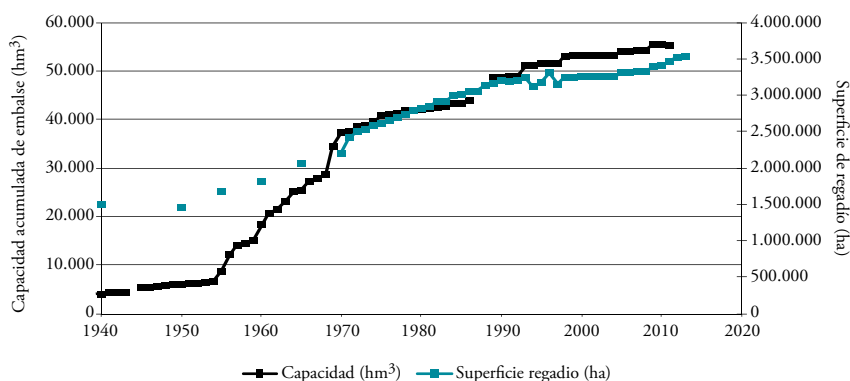
1. Introducción

La Ley de Aguas de 1879 consideraba que el agua era un recurso ilimitado que para ponerlo a disposición de los usuarios necesitaba la construcción de obras hidráulicas. El Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1902 (Plan Gasset) fue principalmente un catálogo de obras hidráulicas. A principios del siglo pasado tuvo lugar una importante política de fomento de las obras hidráulicas desde la Administración, cuyo exponente es la aprobación de la Ley de 1911 sobre construcción de obras hidráulicas y auxilios con destino a riegos. El concepto de gestión de cuenca fue implantado en España en el año 1926 con

la creación de la primera de las «Confederaciones Sindicales Hidrológicas», que eran los antecedentes de los actuales organismos de cuenca. Más tarde, en 1933, se desarrolló un Plan Nacional de Obras Hidráulicas (Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente, 1993), que contemplaba la construcción de casi 400 presas y más de 100 canales para transformar 1.245.000 ha nuevas de riego. Aunque este plan no fue aprobado formalmente, en los siguientes años se desarrollarían una gran cantidad de actuaciones en él incluidas. Un nuevo plan, el Plan General de Obras Hidráulicas (Plan Peña) se elaboró en el año 1940 tras la Guerra Civil española, con el objetivo principal del desarrollo de 510.000 ha de riego (Estrela, 2011).

Esta política de fomento de los planes de obras hidráulicas hace que durante la segunda mitad del siglo XX se produzca un crecimiento muy importante del número de grandes presas existentes en España, pasando de 200 a más de 1.100, con una capacidad de embalse que excede los 50.000 hm³ y que representa del orden de la mitad de la aportación media anual en régimen natural de todos los ríos en España. Resultado de esa política hidráulica fue el extraordinario incremento de la superficie regada: los 1,5 millones de hectáreas (Mha) existentes en 1950 pasaron a ser 3,4 Mha a finales de siglo, es decir, se duplicó la superficie regada en menos de 50 años. La evolución de esa superficie regada ha sido por tanto similar a la evolución del número de presas, mostrando un crecimiento espectacular entre los años cincuenta y setenta del siglo XX, tal y como se observa en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Evolución histórica de la capacidad de embalse (hm³) y de la superficie de regadío en España (ha)



Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente (2000), Sistema Integrado de Información del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y MAGRAMA (2013).

Desde la aprobación de la moderna Ley de Aguas de 1985 la planificación en España se lleva a cabo a través del Plan Hidrológico Nacional y de los Planes Hidrológicos de cuenca. Ambos tipos de planes tienen carácter normativo (el Plan Hidrológico Nacional se aprueba por ley en el Parlamento y los planes de cuenca se aprueban mediante reales decretos por el Gobierno), son públicos y vinculantes y sus contenidos se regulan por Ley, lo que significa un cambio fundamental respecto a planes previos como los de Gasset, Lorenzo Pardo o Peña, que eran esencialmente documentos indicativos de planificación de obras hidráulicas (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

El Plan Hidrológico Nacional establece las medidas necesarias para coordinar los planes de cuenca y decide sobre aquellas cuestiones que no se pueden resolver a escala de demarcación hidrográfica, tales como las transferencias de recursos entre demarcaciones. Los planes de cuenca son las normas básicas para la protección de las aguas y para conceder los derechos de uso del agua en las demarcaciones. Los planes de cuenca vigentes en España se han aprobado en enero 2016 mediante el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero. El Plan Hidrológico Nacional vigente fue aprobado mediante la Ley 10/2001, de 5 de julio, que posteriormente fue modificada por el Real Decreto Ley 2/2004, de 18 de junio que derogó uno de los elementos más relevantes y conocidos del Plan Hidrológico Nacional, el trasvase del Ebro. Luego la Ley 11/2005, de 22 de junio, recogió las modificaciones efectuadas mediante el citado decreto ley en la Ley 10/2001.

Los objetivos de la planificación hidrológica vienen recogidos en el texto refundido de la Ley de Aguas y son: a) el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta ley, b) la satisfacción de las demandas de agua y c) el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medioambiente y los demás recursos naturales.

La modernización de los regadíos debe contribuir a alcanzar estos objetivos, tanto en cuanto a la mejora del estado de las masas de agua como en la atención de las demandas de riego. Por una parte, la modernización de regadíos debe suponer una menor detracción de las masas de agua y, por otra, un mayor control de la contaminación difusa, aspectos ambos que contribuyen a la mejora global del estado de las masas de agua. Con carácter general, los ahorros de agua serán más significativos en las explotaciones agrarias más

próximas a la costa, ya que en las de interior el agua que retorna y no se utiliza por las plantas es reutilizada aguas abajo.

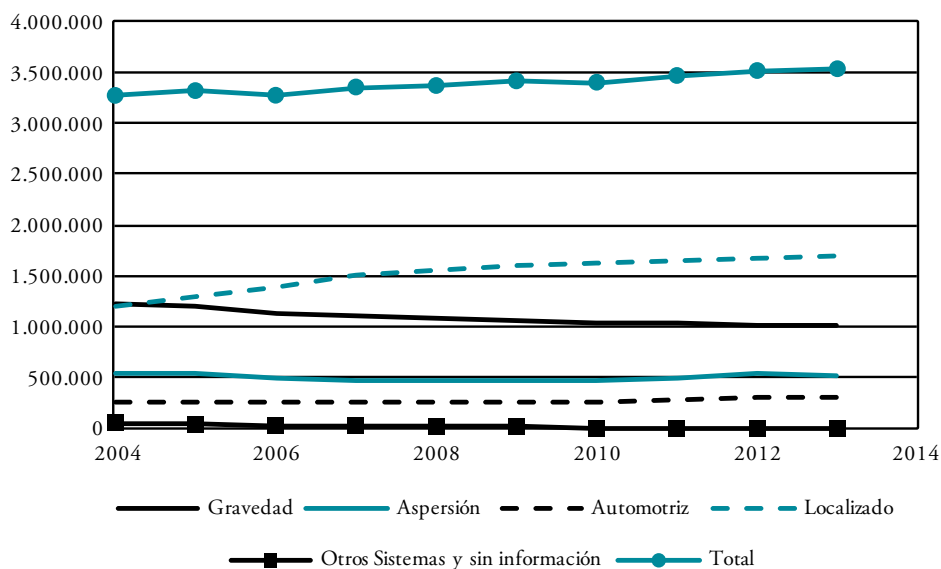
Un informe reciente del WWF-España (2014) pone en duda sin embargo los beneficios de la modernización. Tras analizar casos reales de modernización en las cuencas de los ríos Ebro, Tajo y Guadalquivir el informe concluye que, en general, un regadío modernizado consume más agua que antes, debido principalmente a cambios en los patrones de cultivos, a la ampliación de la superficie regada y una mayor satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos. En cuanto al gasto energético, indica que el alto coste económico de la presurización desde la liberalización del mercado eléctrico de 2008 constituye una seria amenaza hacia la viabilidad económica de algunas zonas modernizadas.

Por otra parte, cuando la modernización persigue aumentar la producción de los cultivos puede implicar mayores aplicaciones de fertilizantes y agroquímicos al aumentar la superficie de cultivos de mayor valor económico, que suelen presentar una mayor necesidad de estos productos. Según Lecina *et al.* (2009) si la gestión de estos productos no es adecuada, pueden contrarrestarse las mayores eficiencias del fertiriego y conducir a importantes pérdidas y masas exportadas de agroquímicos con los consiguientes efectos negativos sobre la calidad de las aguas.

Las obras de modernización de regadíos acometidas en España desde el año 2000, cuando comenzaron las actuaciones del Plan Nacional de Regadíos, han afectado a 1,5 millones de hectáreas. Desde entonces se han realizado inversiones por valor de casi 4.000 millones de euros, incluyendo tanto la inversión pública como la privada. La parte privada corresponde a la aportación de las comunidades de regantes, que ha sido del orden de un cuarto del total, sin contar con la inversión en el sistema de riego dentro de su parcela. Del total de la inversión pública, el 67 % ha correspondido a la Administración General del Estado y el 33 % a las comunidades autónomas (<http://www.magrama.es>).

Recientemente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha publicado la *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Informe sobre los regadíos en España* (MAGRAMA, 2013), en el que se constata el incremento paulatino del riego localizado, que alcanza en el año 2013 el 48 % de la superficie regada en España. En el Gráfico 2 se muestra la evolución de la superficie para los distintos sistemas de riego.

Gráfico 2. Evolución de la superficie en los distintos sistemas de riego en España. En hectáreas



Fuente: MAGRAMA (2013).

En este texto se analiza la modernización de regadíos en el Plan Hidrológico Nacional y en los planes hidrológicos de cuenca y se muestran ejemplos de cómo la modernización puede contribuir a alcanzar los objetivos ambientales de las masas de agua en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, territorio en el que existe un equilibrio muy frágil entre los recursos disponibles y las demandas de agua y donde a lo largo de los años se han venido generando graves problemas de contaminación por nitratos en las masas de agua subterránea.

2. La modernización de regadíos en el Plan Hidrológico Nacional y en los planes hidrológicos de cuenca

Los contenidos del Plan Hidrológico Nacional vienen establecidos en la Ley de Aguas e incluyen: a) las medidas necesarias para la coordinación de los diferentes planes hidrológicos de cuenca, b) la solución para las posibles alternativas que aquellos ofrezcan, c) la previsión y las condiciones de las transferencias de recursos hidráulicos entre ámbitos territoriales de distintos planes hidrológicos de cuenca, d) las modificaciones que se prevean en la

planificación del uso del recurso y que afecten a aprovechamientos existentes para abastecimiento de poblaciones o regadíos.

Una vez aprobados los planes hidrológicos de cuenca en los años 1998 y 1999 y tras elaborar el entonces Ministerio de Medio Ambiente un Libro Blanco del Agua en España (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), comenzaron los trabajos de elaboración de un nuevo Plan Hidrológico Nacional que culminaron con su aprobación por la Ley 10/2001, que como ya se ha mencionado posteriormente fue modificada por el Real Decreto Ley 2/2004, de 18 de junio, quedando derogados aquellos artículos que fundamentalmente hacían referencia a la transferencia de Ebro. Se añadieron también dos anejos que incorporaban nuevas actuaciones de interés general (desalación, reutilización, etc.) y actuaciones prioritarias y urgentes y se mantuvieron los artículos relativos a normas complementarias de la planificación (reservas hidrológicas por motivos ambientales, caudales ambientales, gestión de las sequías, protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables, aguas subterráneas, información hidrológica...). En 2005 se aprobó la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, recogiendo los contenidos del citado Decreto Ley (Estrela, 2012).

En el Anexo 2 de la Ley 11/2005 citada, titulado «Listado de inversiones», en el Anexo 3 «Nuevas actuaciones de interés general» y en el Anexo 4 «Actuaciones prioritarias y urgentes en las cuencas mediterráneas», se contemplaron un gran número de actuaciones de modernización distribuidas por todas las cuencas españolas, muchas de las cuales se han venido ejecutando desde entonces.

Por otra parte, la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA) del año 2000 supuso un importante reto para los Estados miembros de la Unión Europea, ya que por primera vez se establecía un marco normativo obligatorio que definía objetivos medioambientales para todas las masas de agua: continentales, de transición y costeras. Esta Directiva fue transpuesta a la legislación española el 31 de diciembre de 2003 y produjo importantes modificaciones en la Ley de Aguas. Se estableció una nueva definición de cuenca hidrográfica y se introdujo el concepto de demarcación hidrográfica, se definieron órganos y procedimientos para promover y asegurar la participación pública y la cooperación en planificación y se modificaron artículos que hacen referencia al objetivo, contenido, proceso de elaboración y de aprobación de los planes hidrológicos. Otras novedades introducidas fueron el establecimiento de ob-

jetivos medioambientales para todas las masas de agua y la integración de los objetivos específicos establecidos para las zonas protegidas, la implantación de medidas para alcanzar dichos objetivos, así como la introducción expresa del principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con la gestión de las aguas (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

El Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por Real Decreto 907/2007 de 6 de julio, completó la trasposición de la directiva en relación con la planificación, desarrollando el contenido de los planes hidrológicos y los procedimientos para su elaboración, aprobación, seguimiento y revisión.

Este reglamento establece, en su artículo 44, que son medidas básicas las que fomentan un uso eficiente y sostenible del agua con el fin de contribuir a la consecución de los objetivos medioambientales. En particular, el artículo 47 del reglamento desarrolla este tipo de medidas e indica que en el plan hidrológico se incluirá una relación de las medidas en materia de regadío que contribuyan a la consecución del buen estado de las aguas, incluyendo las normas básicas conducentes a la adopción de los métodos de riego más adecuados para los distintos tipos de climas, tierras y cultivos, las dotaciones de aguas necesarias para las diversas alternativas y las condiciones de drenaje exigibles, así como el fomento de producciones agrícolas adaptadas y de técnicas de riego economizadoras de agua. Incluirán asimismo las condiciones para la reutilización de aguas para riego y cualquier otra que sea precisa para asegurar el mejor aprovechamiento y conservación del conjunto de recursos hídricos y tierras y el desarrollo sostenible. Se recogerán, en su caso, las adaptaciones a introducir tanto por las administraciones competentes como por los particulares en las realizaciones existentes para lograr una utilización racional de dichos recursos naturales.

Uno de los contenidos de los planes hidrológicos de cuenca es el programa de medidas a desarrollar para alcanzar los objetivos de la planificación. En una primera aproximación, la inversión prevista para las medidas de modernización de regadíos recogidas en los planes de cuenca vigentes es del orden de 7.000 millones de euros. De esta cifra, unos 1.500 millones de euros corresponden a medidas básicas que persiguen alcanzar objetivos ambientales en las masas de agua y el resto, 5.500 millones de euros a medidas complementarias. Las demarcaciones hidrográficas que prevén las mayores inversiones en modernización de regadíos son las del Ebro, Duero, Júcar y Guadalquivir, destacando especialmente la primera de ellas. Debe indicarse que las cifras anteriores son aproximadas ya que algunas medidas de modernización recogidas en

los planes no incluyen cifras de inversión y otras ya se encuentran en marcha y no se dispone de información sobre las anualidades que quedan por ejecutar.

3. La modernización de regadíos en el plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar

El sector de la agricultura en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar tiene un importante peso económico, social y cultural, siendo además el principal consumidor de agua en la demarcación.

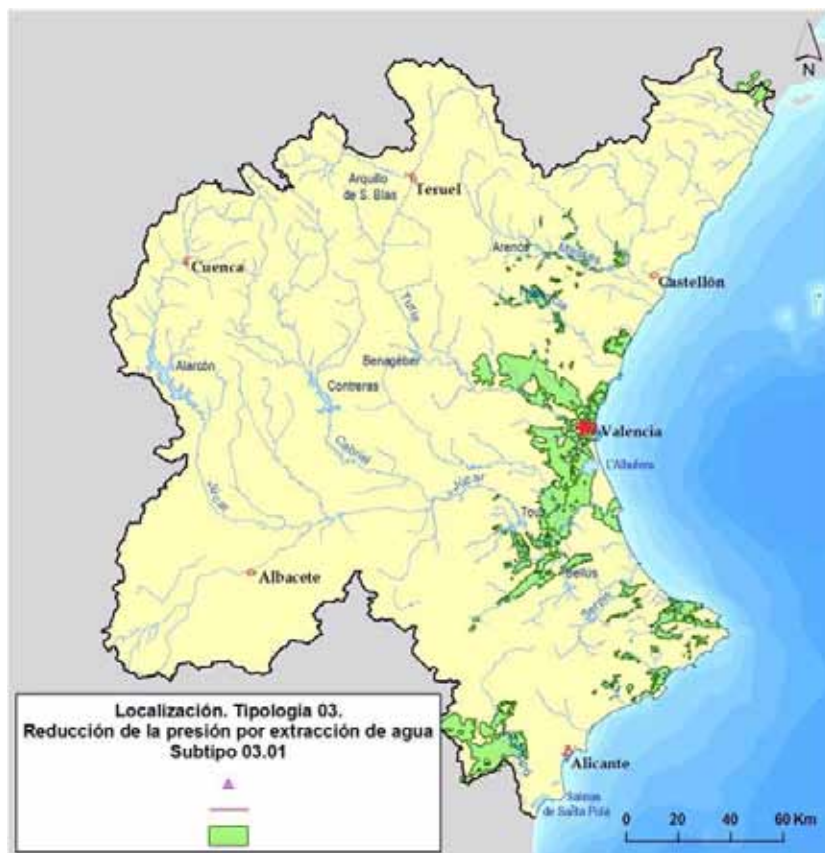
La modernización de los regadíos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar ha supuesto, con carácter general, un ahorro en el consumo de agua que ha contribuido a mejorar la gestión de los recursos hídricos y alcanzar los objetivos ambientales tanto en las masas de agua subterránea como en las masas de agua superficial. También supone, con carácter general, una reducción en los contaminantes, principalmente nitratos, que llegan a las masas de agua y que, debido a sus altas concentraciones, hace que muchas de las masas de agua subterráneas de la demarcación se encuentren en mal estado químico.

Por los motivos anteriores determinadas actuaciones de modernización en la demarcación, especialmente las que contribuyen de forma decisiva a alcanzar los objetivos ambientales en las masas de agua, han sido declaradas de interés general por la Administración General del Estado.

Por otro lado, debe destacarse el importante esfuerzo inversor de las Administraciones en la demarcación durante el primer ciclo de planificación en el que la inversión en medidas ya finalizadas ha sido de unos 405 millones de euros. Este esfuerzo inversor se ha mantenido para el nuevo ciclo 2015-2027, donde la inversión prevista es de unos 430 millones de euros.

Para destacar la prioridad de la modernización de los regadíos, en la normativa del Plan se establece que, en particular, dentro del programa de medidas se priorizará la modernización de los regadíos tradicionales de la Ribera del Júcar y la segunda fase de la sustitución de bombeos de La Mancha Oriental. Pero las modernizaciones previstas no solo se refieren únicamente a estas actuaciones prioritarias, sino que se extienden a todos los sistemas de explotación, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Medidas previstas en el Plan de la Demarcación Hidrográfica del Júcar correspondientes a la tipología 3. Reducción de la presión por extracción de agua. Modernización de regadíos



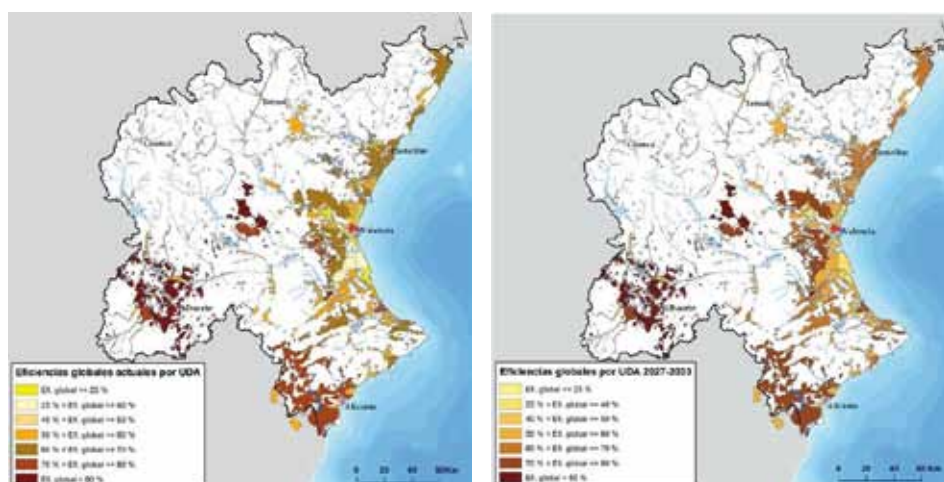
Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2016).

El plan hidrológico ha estudiado, con carácter general y como una primera aproximación, el efecto que la modernización tiene sobre los ahorros de agua y la mejora de la calidad de las masas de agua.

3.1. Ahorro de recursos

Las mejoras de las eficiencias de las redes de transporte, distribución y de los métodos de aplicación del agua en parcela producen directamente un ahorro del volumen bruto que es necesario suministrar a los regadíos. En la Figura 2 se comparan las eficiencias globales de las unidades de demanda agrícola (UDA) de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en la situación actual y las eficiencias de estas mismas UDA en el horizonte de 2027, una vez ejecutadas todas las actuaciones de modernización de regadíos previstas en el Plan.

Figura 2. Eficiencias globales de las unidades de demanda agrícola de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en la situación actual y en el horizonte 2027



Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2016).

Tal y como se muestra en la Figura 2 el efecto de las actuaciones de modernización provoca una notable mejoría de las eficiencias de riego, destacando las de los regadíos tradicionales del Turia y del Júcar y las de algunos regadíos mixtos como los del canal Júcar-Turia y el Camp del Turia. La modernización de los regadíos tradicionales del Júcar tiene, además, un valor añadido, dado que el sistema Júcar es el que arrastra un mayor déficit de todo el ámbito de la demarcación.

Consecuentemente, en la normativa del plan hidrológico se realizan asignaciones y reservas de recursos superficiales para sustituir recursos subterráneos en

masas de agua subterránea en mal estado cuantitativo condicionadas a los ahorros generados por la modernización. En concreto en el sistema Turia, donde los ahorros esperados son mayores, la normativa del plan hidrológico establece:

Artículo 19 B) 4 d). Con respecto a los riegos mixtos atendidos desde el Canal Camp de Turia, se asignan unos recursos totales hasta un máximo de 100 hm³/año, con un valor medio estimado de 84 hm³/año, que podrán ser de origen superficial hasta un máximo de 75 hm³/año, cifra que deberá ir incrementándose hasta los 100 hm³/año a medida que se vayan generando ahorros en el sistema Turia como consecuencia de la modernización de los regadíos.

Artículo 19 B) 6. Para asegurar en el futuro una adecuada calidad del agua de abastecimiento en las poblaciones del Camp de Turia y mejorar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea de Liria-Casinos, podrán sustituirse las aguas subterráneas utilizadas para el abastecimiento urbano de las poblaciones por aguas superficiales del río Turia, hasta un máximo de 10 hm³/año, en la medida que se generen recursos adicionales regulados por el embalse de Loriguilla, al incrementar su capacidad útil actual, o procedentes de la modernización de regadíos en el sistema Turia.

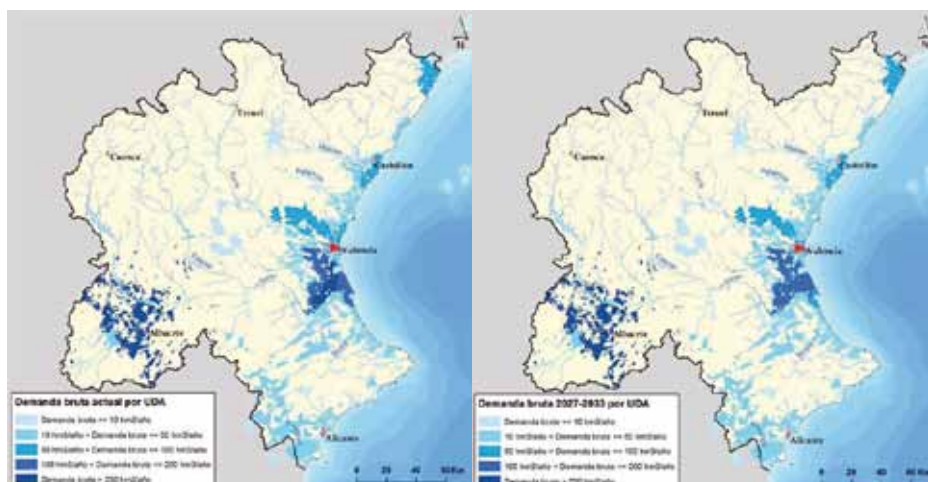
Artículo 19 B) 7. Para asegurar el abastecimiento urbano de las poblaciones de Chiva, Cheste y Godellesta y mejorar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea de Buñol-Cheste, podrán sustituirse las aguas subterráneas utilizadas, hasta un máximo de 5 hm³/año, por recursos superficiales del Turia a medida que se vayan generando recursos adicionales regulados por el embalse de Loriguilla, al incrementar su capacidad útil actual, o procedentes de la modernización de regadíos en el sistema Turia.

En la Figura 3 se muestra la demanda agrícola bruta por UDA en los distintos escenarios considerados, tanto la correspondiente a la situación actual como la estimación de la demanda en los escenarios futuros 2027 y 2033.

El ahorro total bruto estimado para toda la demarcación, una vez se hayan materializado todas las actuaciones de modernización de regadíos y de mejora de gestión recogidas en el programa de medidas del plan, es de casi 240 hm³/año. La cifra de ahorro neto será significativamente inferior teniendo en cuenta que parte del volumen total ahorrado si no se produjese la modernización volvería al sistema hídrico y sería utilizado por otros usuarios. Además, una parte de los ahorros que se produzcan tienen un carácter ambiental

como, por ejemplo, los caudales ambientales al Parque Natural de l'Albufera de Valencia como consecuencia de los previsibles ahorros producto de la modernización en los regadíos tradicionales del Turia y del Júcar. En concreto, el artículo 20. B) 2. a) de la normativa del plan establece una asignación de 214,2 hm³/año de recursos superficiales para la comunidad de regantes de la Acequia Real del Júcar que incluye la acequia particular de Antella, de los cuales podrán utilizarse hasta 30 hm³/año para caudales ecológicos con destino al área del Parque Natural de l'Albufera (margen izquierda del Júcar) a medida que se vaya realizando la modernización prevista de sus regadíos. Esta asignación de recursos de carácter ambiental es posible por la modernización de regadíos prevista y supondrá ir reduciendo la asignación de recursos a la Acequia Real del Júcar a medida que se vaya materializando la modernización.

Figura 3. Demanda agrícola bruta por UDA en el escenario actual (2012) (izquierda) y demanda agrícola bruta por UDA en el escenario futuro 2027-2033 (derecha)



Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2016).

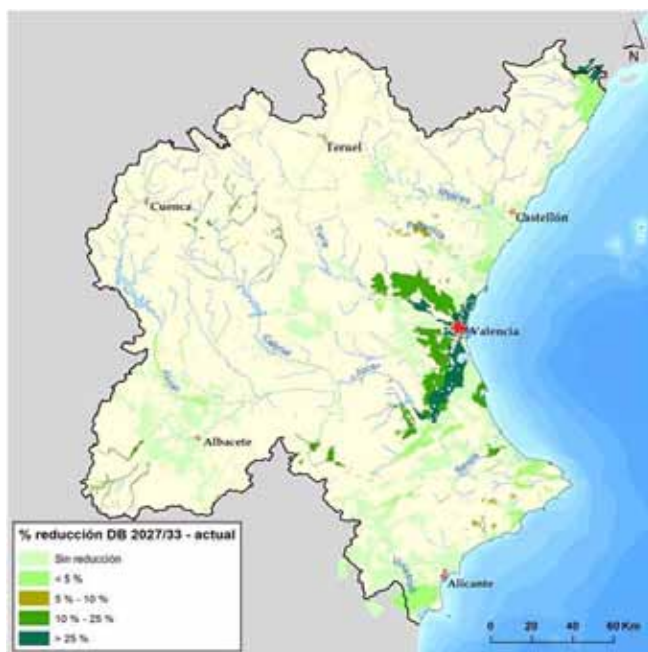
Los estudios realizados en el plan hidrológico muestran que los mayores ahorros se estima que se producirán en las UDA de los regadíos tradicionales del Júcar y del Turia. En nueve UDA correspondientes a estos regadíos se concentran más de tres cuartas partes de los ahorros de toda la demarcación. En los regadíos mixtos del canal principal del Camp de Turia y en los del canal

Júcar-Turía también se prevé que se produzcan importantes ahorros con las medidas de modernización previstas.

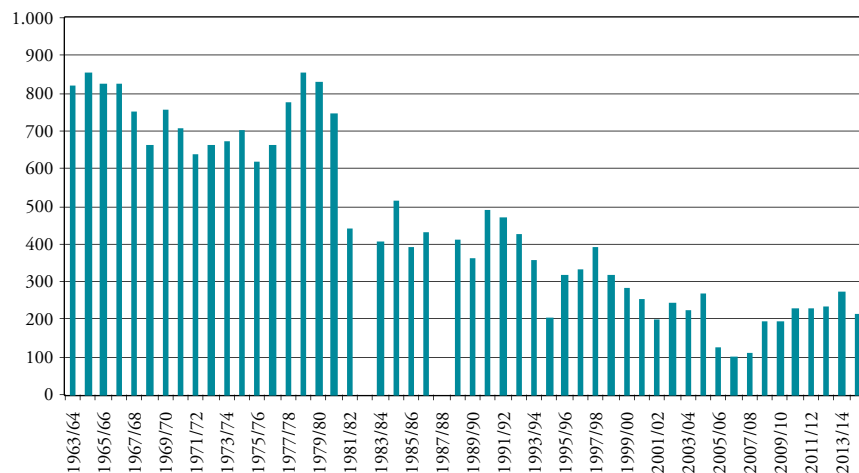
La Figura 4 muestra la reducción de la demanda bruta prevista en los escenarios futuros respecto a la situación actual (año 2012), una vez que se desarrollen las actuaciones de modernización y de mejora de gestión programadas.

Como ejemplo de lo que en los últimos años ha supuesto la modernización del regadío en los riegos tradicionales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en el Gráfico 3 se muestra la evolución del volumen derivado del río Júcar para la atención de los regadíos de la Acequia Real del Júcar (ARJ) durante un período largo de años. Se observa que tras el período comprendido entre los años hidrológicos 1963/64 y 1980/81 en el que los suministros se situaban en torno a los 700 hm³ anuales, el volumen derivado ha decrecido continuamente alcanzando su mínimo en el año 2006/07, año en el que debido a la sequía los suministros a la ARJ apenas superaron los 100 hm³.

Figura 4. Reducción de la demanda agrícola bruta por UDA en el escenario futuro 2027-33 respecto a la situación actual (año 2012)



Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2016).

Gráfico 3. Serie de suministros superficiales a la Acequia Real del Júcar. En hm³

Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ), 2016).

Teniendo en consideración los suministros que se muestran en el Gráfico 3, el plan hidrológico del ciclo 2009-2015 estableció unas asignaciones de 214,2 hm³/año de recursos superficiales para la Acequia Real del Júcar, reduciendo así la asignación de 390 hm³/año recogida en el plan hidrológico aprobado en 1998. Esta reducción ha sido posible gracias a la modernización de regadíos realizada hasta la fecha. En el vigente plan aprobado en enero de 2016 está programado que se ejecuten todas las actuaciones de modernización previstas, lo que supondrá un ahorro adicional y una mejora de estado de las masas de agua en el sistema Júcar, que se verá menos presionado.

En el sistema de explotación del Turia, la mayor parte de superficie cultivada en los regadíos tradicionales corresponde a cítricos y herbáceos, siendo las aguas superficiales el principal origen de los recursos, con un uso cada vez mayor de las aguas residuales regeneradas. Estos regadíos continúan en gran medida utilizando sistemas de regadío tradicionales por gravedad a lo que hay que añadir la gran presión urbanística que soportan, hecho que desincentiva la inversión en un entorno cada vez más urbanizado. Si bien la media de la superficie atendida mediante riego localizado se sitúa en un 15 %, este porcentaje disminuye al 9 % en los regadíos de la Vega de Valencia, que además de ser los regadíos más cercanos a la ciudad y a su área metropolitana, presen-

tan parte importante de su superficie dedicada al cultivo del arroz dentro del Parque Natural de l'Albufera de Valencia. Este hecho, junto con la tipología del sistema de conducciones, de importante valor cultural e histórico, produce que las eficiencias de estos regadíos sean de las más bajas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

El Plan Hidrológico del ciclo 2009-2015 estableció unas asignaciones de 68 hm³/año de recursos superficiales para los regadíos de la Vega de Valencia (Tribunal de las Aguas), 70 hm³/año de recursos superficiales para los regadíos de la Real Acequia de Moncada y 42 hm³/año de recursos superficiales para los regadíos de Pueblos Castillo si bien el propio plan hidrológico establecía que las asignaciones anteriores podrán limitarse, respectivamente, a 58, 61 y 36 hm³/año en los períodos de aplicación del tandeo.

La baja eficiencia de estos regadíos por los motivos antes descritos, junto a los efectos positivos observados con el tandeo realizado durante los últimos episodios de sequía, aconsejan promover, por una parte, la modernización de estos regadíos y, por otra, establecer unas normas de explotación del sistema Turia que incluya el tandeo de forma ordinaria. Estas medidas permitirán mejorar la gestión del sistema y liberar recursos superficiales incrementando la garantía de los propios regadíos y permitiendo el abastecimiento a municipios de la Hoya de Buñol y el Camp de Túria que, actualmente, utilizan recursos subterráneos con una concentración excesiva de nitratos. Este efecto se verá potenciado diversificando las fuentes de suministro mediante la incorporación de las aguas residuales a los suministros de los riegos tradicionales.

3.2. Mejora de la calidad

El efecto de la modernización en la mejora de la calidad de las aguas se puede asociar a la transformación de los métodos tradicionales de aplicación del agua en parcela a sistemas tecnificados como son el riego por aspersión y principalmente el riego localizado. Estos sistemas permiten una reducción de las cantidades de fertilizante a aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos.

Las cantidades de fertilizante a aplicar son muy superiores en un riego por gravedad que en un riego localizado. El abonado en los cultivos con riego por gravedad se realiza concentrado en dos o tres aplicaciones al año. Esto supone dosis muy elevadas que pueden ocasionar la pérdida de una parte del abono por lixiviación durante los riegos o por lluvias.

La Orden 7/2010 de 10 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana por la que se aprueba el Código Valenciano de Buenas Prácticas Agrarias establece los valores máximos de aportación de abonado nitrogenado en las zonas vulnerables por contaminación por nitratos, de acuerdo con la Directiva 91/676/CEE. En esta orden se establece una dosis máxima de abonado nitrogenado de 250 unidades fertilizantes de Nitrogeno (UFN) por hectárea en riego por gravedad, mientras que para el riego por goteo se reduce hasta 220 UFN/ha.

Además, en el riego por goteo el abono se puede aplicar repartido en cada riego durante todo el periodo en que está permitido abonar, del 1 de marzo al 31 de octubre. Esto supone la posibilidad de aplicar el abono entre 245 días, en lugar de las dos o tres aplicaciones tradicionales en riego por gravedad.

Por otra parte, la modernización permite un mejor control de la cantidad y calidad de los fertilizantes aplicados ya que es la comunidad de regantes, a través de sus técnicos, la que programa y aplica la fertilización mientras que en las zonas con riego por gravedad es cada regante a nivel individual quien decide qué aplica, cómo lo aplica y cuándo lo aplica.

A modo de ejemplo, y según datos proporcionados por la Acequia Real del Júcar, en 10 de los 45 sectores en que se divide esta zona regable se está dando el servicio de abonado junto con el riego, con el objetivo de aplicar una dosis suficiente para el adecuado funcionamiento de las explotaciones. Para conseguir una nutrición adecuada de los cultivos con un mínimo aporte de fertilizantes se está trabajando en mejorar la eficiencia de los fertilizantes aplicados. Para conseguirlo se actúa en dos direcciones: a) utilizando fertilizantes más eficientes: nitrógeno en forma nítrica y amoniacal, no ureica, nitrógeno amoniacal con inhibidor de la nitrificación, fósforo de alta asimilación y materia orgánica y b) aplicando los fertilizantes lo más repartidos posible: para minimizar las pérdidas de fertilizantes se aplican repartidos en todos los riegos desde marzo hasta finales de septiembre. Gracias a estas medidas la programación de abonado de cítricos de la Acequia Real del Júcar para 2015 reduce la dosis de nitrógeno hasta las 161 unidades fertilizantes por hectárea. Esta dosis supone un 27 % menos de nitrógeno que las 220 unidades fertilizantes por hectárea permitidas para riego por goteo en la Orden 7/2010 antes citada. Comparando con la dosis admitida para riego por gravedad la reducción de fertilizantes aplicados se eleva al 35,6 %.

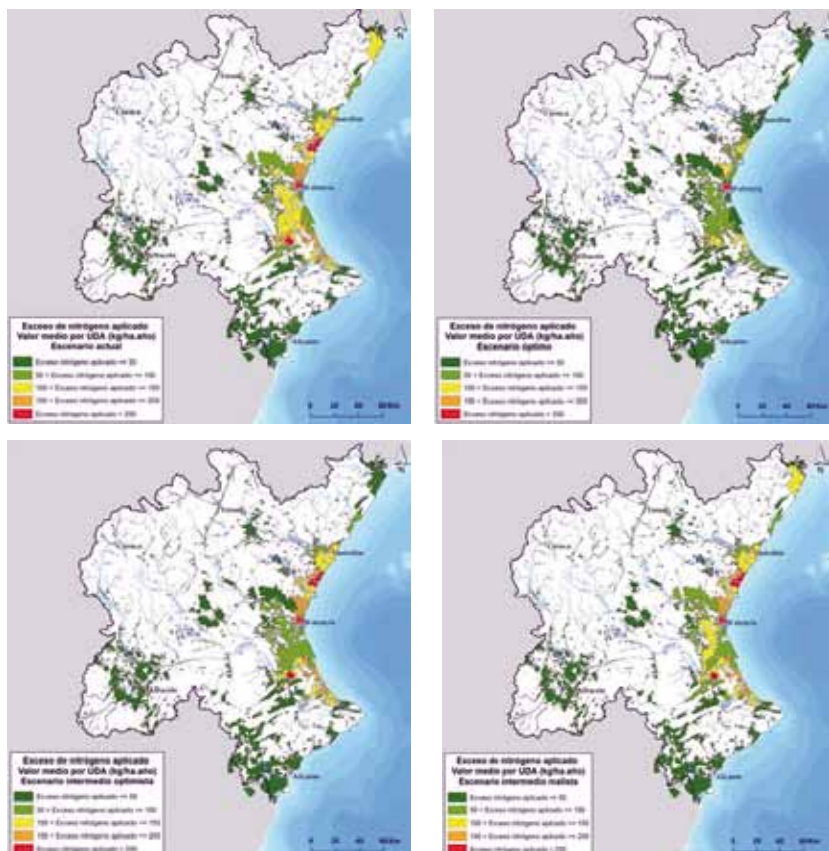
Para estudiar, con carácter general, el efecto beneficioso antes mencionado, el plan hidrológico recoge, para todas las unidades de demanda agrícola (UDA) de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el exceso de nitrógeno aplicado para varios escenarios estimado a partir de distintos estudios sobre la concentración de nitratos (MAGRAMA, 2015). El primer escenario muestra el exceso de nitrógeno aplicado medio a cada UDA con las prácticas agrícolas actuales, mientras que el segundo escenario muestra el escenario de nitrógeno aplicado medio asumiendo unas dosis óptimas. Posteriormente se calculan dos escenarios intermedios asumiendo en el primero, más optimista, que en aquellas UDA en las que se llevan a cabo actuaciones de modernización se asumen las dosis óptimas y un segundo escenario intermedio, más realista que el anterior, donde las dosis óptimas se aplican en aquellas UDA donde la modernización se prevé en el método de aplicación. El plan estima una reducción del exceso de nitrógeno aplicado en toda la demarcación, con las actuaciones de modernización previstas, del orden del 10,5 %, valor promedio entre los dos escenarios intermedios considerados.

En la Figura 5 se muestran los mapas con el exceso de nitrógeno aplicado (kg/ha-año) para todas las UDA de la demarcación en los distintos escenarios considerados: escenario con las prácticas agrícolas actuales, escenario con dosis de aplicación óptimas y los dos escenarios intermedios considerados.

En cuanto a la reducción de la necesidad de herbicidas, la principal diferencia respecto al riego por gravedad es que el riego por goteo solo moja una parte de la superficie del suelo. Esta circunstancia ocasiona que el desarrollo de malas hierbas se reduzca principalmente a la zona mojada. Además, en cultivos leñosos adultos, la superficie mojada es un área con escaso desarrollo de vegetación debido a la sombra de los árboles, con lo que la necesidad de aplicación de herbicidas se minimiza.

En consecuencia, en las parcelas regadas por goteo el número de tratamientos de herbicidas y la superficie tratada se reducen significativamente respecto a las parcelas regadas por gravedad, con lo que las cantidades aplicadas son muy inferiores. Por otro lado, es muy escasa la probabilidad de lixiviación de los herbicidas aplicados en el caso de riego por goteo ya que las pérdidas por percolación profunda en este tipo de riego son mínimas.

Figura 5. Exceso de nitrógeno aplicado medio en los distintos escenarios considerados. En kg/ha•año



Fuente: Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2016).

4. Conclusiones

El objetivo de los planes hidrológicos de cuenca consiste en satisfacer las demandas de agua protegiendo adecuadamente el estado las masas de agua y equilibrando y armonizando el desarrollo regional y sectorial. Para alcanzar esos objetivos los planes de cuenca aprobados en enero de 2016 contemplan una serie de medidas básicas y complementarias entre las que se encuentra la modernización de los regadíos.

La modernización de los regadíos debe contribuir a cumplir con los objetivos de los planes, tanto en cuanto a la mejora del estado de las masas de agua como en la atención de las demandas de riego. Por una parte, la modernización de regadíos debe suponer una menor detracción de las masas de agua y, por otra, un mayor control de la contaminación difusa, aspectos ambos que contribuyen a la mejora global del estado de las masas de agua. Sin embargo, un reciente informe de WWF-España (2014) ha puesto en duda los beneficios de la modernización, tras analizar distintos casos reales en las cuencas de los ríos Ebro, Tajo y Guadalquivir.

En este texto se ha analizado con carácter general como se ha considerado la modernización de regadíos en el Plan Hidrológico Nacional y en los Planes Hidrológicos de cuenca, en los que se recogen numerosas actuaciones de modernización distribuidas por toda la geografía española. También se ha analizado con un mayor detalle el estudio de los efectos de la modernización sobre el estado de las masas de agua recogido en el plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, donde existe un equilibrio muy frágil entre los recursos disponibles y las demandas de agua y donde además, a lo largo de los años, se han venido generando graves problemas de contaminación por nitratos en las masas de agua subterránea.

En la normativa del plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se han realizado asignaciones y reservas de recursos superficiales procedentes de los ahorros generados por la modernización para sustituir recursos subterráneos en masas de agua subterránea en mal estado cuantitativo, especialmente en los sistemas Júcar y Turia. El ahorro total bruto estimado para toda la demarcación, una vez se hayan materializado todas las actuaciones de modernización de regadíos y de mejora de gestión recogidas en el programa de medidas del plan, es de casi 240 hm³/año, aunque la cifra de ahorro neto será significativamente inferior teniendo en cuenta que parte del volumen total ahorrado volvería al sistema hídrico y sería utilizado por otros usuarios si no se realizase la modernización. Además, una parte de los ahorros que se produzcan podrán tener un carácter ambiental como, por ejemplo, los caudales ambientales al Parque Natural de L'Albufera de Valencia que se asignan en el plan como consecuencia de los previsibles ahorros producto de la modernización en los regadíos tradicionales del Turia y del Júcar.

Por otra parte, el plan hidrológico recoge, para todas las unidades de demanda agrícola (UDA) de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el exceso de nitrógeno aplicado para varios escenarios estimado a partir de distintos estudios sobre la concentración de nitratos (MAGRAMA, 2015). El plan estima una reducción del exceso de nitrógeno aplicado en toda la Demarcación, con las actuaciones de modernización previstas, del orden del 10,5 %, valor promedio entre los dos escenarios considerados.

Referencias bibliográficas

- CHJ (2016): *Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Valencia. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- ESTRELA, T. (2012): *La planificación en el sector del agua*. Conferencia presentada en el Ciclo de Conferencias El Agua en España del Colegio Libre de Eméritos. Madrid.
- ESTRELA, T. (2011): «The EU WFD and the River Basin Management Plans in Spain»; *Journal of Water Management* 164(8); pp. 397-404. doi: 10.1680/wama:1000005.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÚES, R. (2009): *Efecto de la modernización de regadíos sobre la cantidad y la calidad de las aguas: la cuenca del Ebro como caso de estudio*. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- MAGRAMA (2013): *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYR-CE). Informe sobre regadíos en España*. Madrid. Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): *Evaluación de los objetivos de concentración de nitrato en las masas de agua subterráneas de España (2015 2021 y 2027) con el modelo de simulación Patrical*. Madrid. Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1998): *Libro blanco del agua*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007): *Precios y costes de los servicios del agua en España. Informe integrado de recuperación de costes de los servicios del agua en España. Artículo 5 y Anejo III de la Directiva Marco de Agua*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE (1993): *Plan Nacional de Obras Hidráulicas*. Madrid. Centro de Estudios Hidrográficos.
WWF ESPAÑA (2014): *Estudio de los efectos ambientales y socioeconómicos de la modernización de regadíos en España*. Madrid. WWF España.

La modernización del regadío en las entidades de riego valencianas

Efectos en el uso y costes del agua

Marta García Mollá, Carles Sanchis Ibor y Llorenç Avellá Reus
Centro Valenciano de Estudios del Riego (Universitat Politècnica de València)

1. Introducción

Durante las dos últimas décadas la política española de aguas está efectuando una compleja y lenta transición hacia un modelo de gestión de la demanda, cuyo punto de partida puede establecerse en torno a tres hitos: la Ley de Aguas de 1985; el fallido Plan Hidrológico de 1993 y el impacto social causado por la sequía del periodo 1992-1995 (Carles y García-Mollá, 2003; Tabara e Ilham, 2008; del Moral, 2009; López-Gunn *et al.*, 2012a; García-Mollá *et al.*, 2013). Desde entonces se vienen solapando actuaciones encaminadas a incrementar la oferta hídrica, con otras orientadas a reducir la demanda de agua y a mejorar la calidad del recurso, en un tenso contexto social y político (Estevan y Naredo, 2004; Estevan, 2008; López-Gunn, 2009; Swingedouw, 2013).

En la planificación del regadío, las medidas de ahorro han ido progresivamente desplazando a las acciones de ampliación de la superficie regable, y estas, cuando se han producido, se han visto generalmente acompañadas de proyectos de instalación de tecnologías ahorradoras. Los últimos planes estatales (Plan Nacional de Regadíos, 2002; Plan de Choque de Modernización de Regadíos, 2006; Plan de Cierre, 2007) tenían como objeto modernizar algo más de 2 millones de hectáreas, con una inversión total de más de 5.000 millones de euros, de los que la inversión pública era de cerca de 3.400 millones de euros. Naranjo (2010) ha destacado que estas previsiones se han superado con creces en lo que compete a la participación de la administración central del Estado. En algunas regiones, los gobiernos autónomos han efectuado también un importante esfuerzo inversor, como en Aragón (Frutos Mejía *et al.*, 2008), Andalucía (Corominas, 2011), o en las cuencas del Segu-

ra, el Tajo y el Duero (Gómez Espín, 1997 y 2011; Baraja y Molinero, 2012) o en la Comunidad Valenciana (Sanchis-Ibor *et al.*, 2016a).

En consecuencia, se ha asistido a un rápido cambio tecnológico desarrollado muchas veces sin un análisis previo de los requerimientos agronómicos y socioeconómicos de las áreas regables, ni de las repercusiones a escala de cuenca, ni mucho menos de los impactos sobre el patrimonio o el medio natural. Tampoco han existido programas de seguimiento, y en muy pocas ocasiones se ha efectuado un análisis *ex post* (López-Gunn *et al.*, 2012b). En este sentido, en las siguientes líneas pretendemos analizar las consecuencias que la incorporación de estas tecnologías ha tenido sobre las entidades de riego de la Comunidad Valenciana, principalmente sobre el uso del agua y los costes del riego.

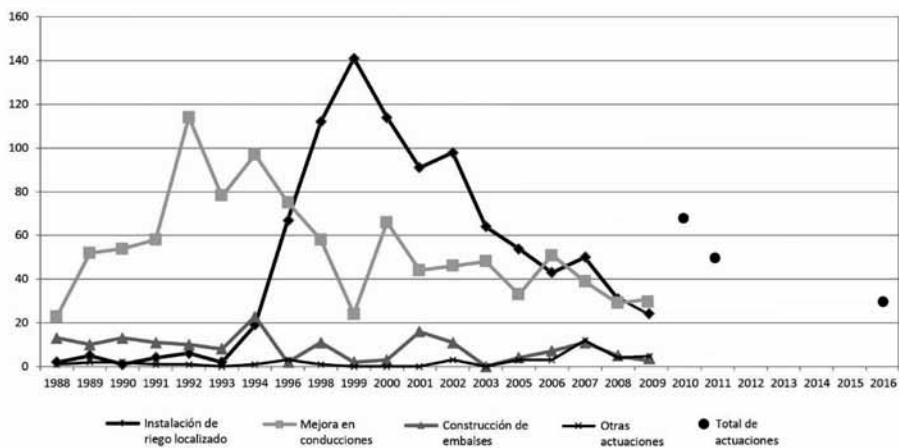
Para ello nos servimos de los datos que el Centro Valenciano de Estudios del Riego ha estado recopilando y analizando en los últimos años en la región y que se han plasmado recientemente en diversas publicaciones (García-Mollá *et al.*, 2012, 2013, 2014; Sanchis-Ibor *et al.*, 2016a). Para este capítulo se han empleado datos de 77 entidades de riego que abastecen 143.415 ha, de las cuales 60 ya han instalado el riego por goteo, siguiendo una metodología y los datos publicados en otro trabajo reciente (Sanchis-Ibor *et al.*, 2016b).

2. Promoción y expansión del riego localizado en la Comunidad Valenciana

La expansión del riego localizado en la Comunidad Valenciana presenta dos etapas claramente diferenciadas por el ritmo de expansión, por su patrón espacial de difusión, por la diferente implicación de los agentes públicos y privados, e incluso por su elaboración discursiva. Inicialmente, la difusión del riego localizado fue impulsada y financiada por agricultores individuales y empresas del sector sin apoyo público, fundamentalmente por las explotaciones más dinámicas del sur de la provincia de Alicante, donde ya existían cerca de 5.000 ha en riego localizado en 1982. La incorporación del sector público a la promoción del riego por goteo tuvo lugar pocos años después, con la aprobación de la Ley de la Generalitat Valenciana 7/1986 sobre la utilización de aguas para riego. Esta ley, desarrollada mediante el decreto 47/1987, reguló la tramitación de las ayudas públicas destinadas a la modernización de las entidades de riego y puso las bases para una colaboración continuada entre los usuarios agrícolas del agua y la administración regional. No obstante,

entre 1988 y 1993 solo se aprobaron 20 acciones de transformación a riego localizado. La mayor parte de las ayudas públicas se destinaron a la mejora y revestimiento de conducciones (Gráfico 1).

Gráfico 1. Número de obras de racionalización y modernización de los sistemas de riego aprobadas en entidades de riego de la Comunidad Valenciana por tipología de actuación



* A partir del año 2010 únicamente se dispone del dato del total de actuaciones. Del año 2012 al 2015 no se otorgan ayudas.

Fuente: Diario Oficial de la Comunidad Valenciana. Elaboración propia.

Así y todo, merced a la iniciativa privada, en 1992 la superficie de riego localizado ya había aumentado hasta alcanzar 50.255 ha. Esta expansión fue fruto en su mayor parte del empuje de la agricultura de vanguardia de las tierras más meridionales: 32.995 ha estaban en la provincia de Alicante y 21.477 ha de ellas en la comarca del Bajo Segura. Aunque con menor intensidad, el riego por goteo también se difundió en la citricultura litoral y en los nuevos regadíos de interior, principalmente en zonas abastecidas con aguas subterráneas, debido al coste del recurso (Ramón Morte, 1994, 1995; Gallego Bono, 1996).

No es hasta la sequía de los años 1994-1995, tras el fracaso del proyecto de Plan Hidrológico Nacional de 1993, cuando la administración valenciana y las entidades de riego apostaron definitivamente por intensificar sus esfuerzos en materia de implantación del riego localizado. Después de un notable incremento de las ayudas al riego localizado en el año 1994 (Gráfico 1), el 10 de

enero de 1995 se aprobó el Plan Director de Modernización del Regadío de la Comunidad Valenciana, cuyo texto comienza admitiendo que la solución al creciente déficit hídrico no debe reducirse a los trasvases intercuenas, sino que, al menos parcialmente, debe ser acometida desde la propia Comunidad Valenciana a través de una estrategia de ahorro, reutilización y mejora de la eficiencia del agua para riego¹. A partir de este momento, y en paralelo a un importante esfuerzo inversor en materia de reutilización de aguas residuales (Melgarejo, 2009), se inicia una segunda etapa en la difusión del riego por goteo, caracterizada por un lado por la implicación de las entidades de gestión colectiva del riego y la administración autonómica, y por otra parte, por una atomización del patrón espacial de difusión.

Además, en este periodo la apuesta por el riego localizado adquirió una marcada significación política, en tanto en cuanto la eficiencia del riego se convirtió en un argumento clave de las reivindicaciones de transferencia de recursos hídricos desde regiones vecinas. Modernización, desalación o trasvases formaban parte de un mismo discurso que fundía medidas propias de modelos de gestión de la demanda y de la oferta, hecho que lejos de ser contradictorio, satisfacía plenamente a la mayoría de los usuarios agrícolas y albergaba un enorme potencial como mensaje electoral (Sanchis-Ibor *et al.*, 2016a).

En el seno de las entidades de riego no todos los agricultores asumieron con el mismo interés estos objetivos de ahorro y eficiencia. De hecho, en algunas comunidades de regantes las juntas directivas tuvieron que hacer un importante esfuerzo por convencer a sus socios de la necesidad de ejecutar el cambio tecnológico. Pero la mayoría de los agricultores fueron paulatinamente observando las ventajas que la incorporación de las redes de presurización podían reportar sobre el uso de fertilizantes y la adopción de prácticas de riego más confortables (Ortega-Reig *et al.*, 2017). A esta confluencia de diferentes intereses entre la administración pública y los usuarios agrícolas del agua se sumaron los colectivos profesionales y empresariales beneficiados por la instalación de las nuevas redes, acelerando la difusión de las nuevas tecnologías.

Como resultado de estas alianzas, durante el lustro siguiente se disparó el número de intervenciones de transformación a riego localizado en la Comunidad Valenciana (Gráfico 1). Solo en el periodo 1996-2000 se financiaron 434 obras en distintas entidades de la región, a las que hay que sumar otras 431 hasta que la crisis financiera de 2008 ralentizó las inversiones del gobierno autonómico, paralizadas entre 2012 y 2015. Estas actuaciones se

¹ Decreto 13/1995 del gobierno valenciano, http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_legislacion/275.htm.

ejecutaron en paralelo a nuevas obras de revestimiento de canales, centradas casi exclusivamente en unos regadíos tradicionales, donde la implantación del riego localizado presentaba mayores inconvenientes y resistencias (Sanchis-Ibor *et al.*, 2016).

El balance de esta segunda etapa es un cambio tecnológico sin precedentes en el regadío valenciano: el riego localizado que pasó del 13,5 % de la superficie regada en 1992, al 68 % en 2015. En este periodo, el proceso expansivo continuó presentando más fuerza en las entidades que solo usaban aguas subterráneas. En ellas, los estímulos para la transformación eran mayores, ya que los costes del riego eran más elevados y suponían un aliciente para mejorar la eficiencia. Estas entidades han seguido siendo las más beneficiadas durante la última década, pero desde 2003 se observa una creciente adopción de estas tecnologías ahorradoras en explotaciones que aprovechan aguas superficiales o mixtas.

Desde la aprobación del Plan Nacional de Regadíos de 2002, la administración central del Estado ha contribuido también en este proceso de modernización de los regadíos valencianos a través de diversas instituciones². Para ello se hizo necesaria la firma de un acuerdo marco de colaboración (BOE 151, 25 de junio de 2002) entre la Generalitat Valenciana y la administración central, que se concreta para cada acción individual en la subvención o financiación parcial de la inversión en las redes colectivas de riego. La tarea de cuantificar para cada obra las administraciones que participan en la financiación de las inversiones y el origen de los fondos es realmente compleja. Hay intervenciones ejecutadas únicamente por la administración central (financiadas al 100 %), y la Generalitat Valenciana también ha concedido inversiones directas en aquellas zonas que han sido declaradas de interés general y que son planificadas, ejecutadas y financiadas completamente por la administración regional. Entre estos casos existen diferentes fórmulas que implican a una o ambas administraciones, con porcentajes diferentes de subvención de la inversión y en ocasiones con aportes procedentes de fondos europeos. En consecuencia, existen grandes diferencias en la inversión total –pública y privada– por hectárea modernizada, que también pueden estar justificadas por los distintos tipos de obras realizadas. En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de las inversiones realizadas y las subvenciones recibidas por unidad de superficie en diversas entidades de riego.

² Ministerio del Medio Ambiente, Rural y Marino, ACUAMED y SEIASA Meseta Sur.

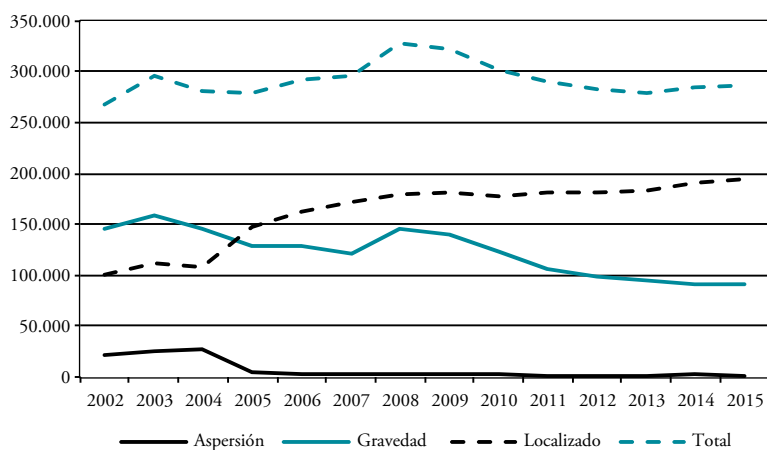
Tabla 1. Subvenciones aplicadas a las transformaciones a riego localizado en diversos ámbitos de la Comunidad Valenciana

Demarcación hidrográfica y zona regable	Superficie (ha) en goteo	Inversiones/ha	Subvenciones/ha	Porcentaje subvencionado (%)
Júcar				
Canal Júcar-Turía	564	6.949	4.725	68
Mijares-La Plana				
SCARM	8.149	9.547	4.541	48
CGRVU	1.892	8.501	5.293	62
Palancia				
Mixtas	1.663	19.327	13.445	70
Subterráneas	474	5.586	2.261	40
Turía				
Bètera	3.050	4.320	3.021	70
Vinalopó-Alacantí				
Monforte del Cid	1.972	13.016	10.053	77

* SCARM es el Sindicato Central de Aguas del Río Mijares y CGRVU Comunidad General de Regantes de la Vall d'Uixó.

El incremento de la superficie regada por goteo fue acompañado de un aumento de las tierras de regadío hasta 2008 (Gráfico 2). A partir de ese año se observa un descenso de la superficie regada, que hoy día es fácil constatar sobre el terreno en diversas comarcas litorales valencianas por el reciente proceso de abandono de explotaciones agrarias. Las razones que podrían explicar este proceso son el descenso de la rentabilidad (bajos precios y altos costes en algunos cultivos, sobre todo algunas variedades de cítricos, frutales y viñedo), ausencia de relevo generacional, y recalificación urbanística y expropiación de suelo agrario para infraestructuras. Este descenso parece cebarse principalmente en los regadíos litorales tradicionales. En los últimos años se observa un leve repunte de la superficie total regada y del riego presurizado, posiblemente por el incremento del regadío en almendros, olivos y viñas en el interior de la región, así como por una recuperación de la inversión privada una vez superada la fase más crítica de la crisis financiera.

Gráfico 2. Superficie regada por técnica de riego en la Comunidad Valenciana (2002-2012). En hectáreas



Fuente: MAGRAMA (ESYRCE) (Varios años).

3. Uso del agua en las entidades de riego

El ahorro de agua ha sido el principal objetivo de las políticas de modernización, con independencia de que las entidades de riego y los agricultores hayan valorado otras ventajas asociadas a la instalación de estas técnicas. Evaluar el impacto de estas políticas sobre el consumo real del recurso a escala regional es extremadamente complejo, por lo que en el presente trabajo hemos efectuado una comparación entre estimaciones de uso del recurso efectuado por las comunidades de regantes antes y después de la presurización de la red, tomando como referencia los aportes anuales por unidad de superficie distribuidos por cada entidad a sus regantes.

Los resultados son en general bastante positivos, en tanto en cuanto los aportes medios de agua por superficie de riego han disminuido aproximadamente a algo menos de la mitad tras la presurización de las redes (Tabla 2). Hay que tener en cuenta, no obstante, que no todo este descenso debe ser atribuible al riego por goteo, ya que las entidades entrevistadas que no han presurizado sus redes también han reducido sus aportes, aunque en una proporción considerablemente menor (Tabla 3). Según los agricultores y técnicos entrevistados, esta reducción generalizada de los aportes puede deberse a varios factores: la creciente presión sobre los recursos, que hace que las dotaciones otorgadas en alta por los organismos de cuenca hayan disminuido;

las mejoras en la gestión y el control del recurso; y las inversiones en la mejora de las conducciones. Conviene recordar que el esfuerzo de modernización del regadío no solo comporta la introducción del riego por goteo, también conlleva otras medidas que obtienen significativas reducciones de las detracciones del recurso, a pesar de que en la Comunidad Valenciana los términos goteo y modernización se hayan convertido impropiaemente en sinónimos.

Tabla 2. Usos del agua en entidades modernizadas. En m³/ha

Tipo de entidad	Gravedad			Goteo		
	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo
Superficial	8.500	7.843	7.000	4.675	3.341	2.850
Trasvase	10.080	7.440	4.800	4.800	4.800	4.800
Mixta	12.000	8.267	4.500	4.933	3.576	1.444
Subterránea	9.000	7.496	3.300	6.744	4.047	2.321
Total		7.919			3.710	

Tabla 3. Usos del agua en riego por gravedad en entidades no modernizadas. En m³/ha

Tipo de entidad	1998			2009		
	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo
Superficial	22.021	11.453	6.000	9.756	7.559	4.355
Mixta	12.000	9.133	7.200	10.080	7.320	5.400
Total		10.225			7.433	

El cambio de tecnología de riego favorece que haya mucho más control sobre los aportes y que las diferencias entre las comunidades de regantes en los volúmenes utilizados sean mucho menores que antes de la transformación, oscilando entre 2.300 y 4.800 m³/ha y año.

En el pasado, estas cifras oscilaban entre 3.300 y 12.000 m³/ha para el riego de cítricos y frutales. Los aportes servidos por las comunidades de regantes dependían de las costumbres de cada zona y de sus características edafoclimáticas (García-Mollá, 2000), de forma que los volúmenes usados eran bastante similares entre los regantes de cada zona y se daban grandes diferencias entre los usos de agua para riego en distintas comarcas. Esta variabilidad geográfica se ha atenuado sensiblemente tras la adopción del riego por goteo.

Por lo general se observa que en las zonas donde los aportes eran mayores antes de la modernización se consiguen unos mayores descensos en los volúmenes servidos a los regantes. Un ejemplo de ello son las entidades de riego de la zona del Palancia o del Mijares, que antes del cambio tecnológico utilizaban alrededor de 10.000 m³/ha para el cultivo de cítricos y que actualmente riegan con dotaciones de alrededor de 4.000 m³/ha. En estos casos, la mejora pone de relieve no tanto la capacidad de ahorro de la nueva tecnología, como la existencia de disfunciones o falta de estímulos de ahorro en el manejo del recurso en el riego anterior a la transformación. Un ejemplo de esta situación es el caso de la Vall d'Uixó, donde el que el solapamiento de las áreas regables, la atomización de la gestión en pequeñas asociaciones y la maraña de conducciones provocaba un manejo ineficiente del recurso. El sistema de riego fue racionalizado con un proyecto de reforma asociado a la implantación del riego localizado, el cual redujo notablemente las extracciones del acuífero (García-Mollá *et al.*, 2013).

En las zonas que las extracciones ya eran bajas, con frecuencia se ha puesto de manifiesto la dificultad de disminuir las aportaciones después del cambio de técnica de riego. Este es el caso de las comunidades de regantes del Vinalopó Medio (Alicante), donde los agricultores están empleando en torno a 3.600 m³/ha en años húmedos y alrededor de 4.200 m³/ha en años secos para regar uva de mesa, tanto antes como después de la modernización. Las razones que parecen motivar este escaso impacto parecen diversas. Según algunos entrevistados, existe entre los agricultores un cierto temor a reducir la dotación hídrica de sus explotaciones por el posible impacto sobre la producción. Por otra, parece que el largo periodo de residencia del agua en los nuevos embalses puede estar generando importantes pérdidas por evaporación, hecho que podría solucionarse en el futuro mediante sistemas de cubrición (García-Mollá *et al.*, 2013).

Por lo que respecta a las zonas de riegos mixtos hemos observado un efecto de sustitución de recursos. En estas entidades, la disminución de las aportaciones, debida a la utilización de las tecnologías de ahorro —y en parte también a la disminución de la superficie regable—, ha permitido que se reduzca notablemente el porcentaje de agua subterránea utilizado para el riego y se aumente el uso de aguas superficiales más baratas. Esto ha ocurrido en entidades de riego como el Sindicato de Riegos de Sagunto o la Comunidad de Regantes de Bétera, donde tras el proceso de modernización, los pozos se utilizan únicamente en periodos de sequía. También hemos documentado

este efecto de sustitución de recursos en varios sectores de Canal Júcar-Turía, que pasaron de utilizar un 40-70 % de aguas subterráneas a un 80-100 % de agua superficial (García-Mollá *et al.*, 2012).

Estas reducciones de las aportaciones podrían no materializarse en un descenso de los volúmenes aplicados en el conjunto del sistema, e incluso provocar un incremento de la demanda como consecuencia del conocido efecto rebote (Ward y Pulido, 2008; Hardy y Garrido, 2010; Dumont, *et al.*, 2014; Berbel *et al.*, 2015). Autores como Lecina *et al.* (2010), Gutiérrez-Martín y Gómez (2011) o Fernández-García *et al.* (2014) han destacado como la intensificación o la introducción de cultivos de mayor exigencia hídrica son algunos de los factores clave que estimulan este efecto rebote. Sin embargo, las características actuales de la agricultura mediterránea valenciana hacen bastante improbable este proceso, al menos a corto plazo. Los cultivos son en su mayoría leñosos, lo que no facilita el paso inmediato a otros cultivos más exigentes, y las tendencias recientes no muestran grandes cambios en los patrones de cultivo. El cambio más significativo es la sustitución del naranjo por caquis y en menor medida por granados, cultivos que apenas alteran la demanda agrícola de agua.

Otros expertos como Playán y Mateos (2006) señalan la expansión de la superficie cultivada como factor de riesgo. Pero en este caso también las tendencias recientes apuntan a un comportamiento contrario. Se observa un importante fenómeno de abandono de explotaciones en la citricultura del litoral valenciano, con reducciones del área cultivada que llegan al 20 % en 10 años en algunos municipios, fruto de los desarrollos urbanísticos en algunos casos, pero en mayor medida como consecuencia de la crisis de la citricultura y el envejecimiento de los activos agrarios. Solo en 6 de las 60 entidades entrevistadas que adoptaron riego por goteo se ha producido una expansión del área regada en el periodo de estudio. En las demás esta permaneció estable o se redujo. En algunos de estos casos, y también en los analizados por Sese (2012), la transformación a riego por goteo fue impuesta como una condición por la Confederación Hidrográfica del Júcar (en adelante, CHJ) para poder ampliar las concesiones de aguas subterráneas o para cambiar las dimensiones de las áreas regables sin necesidad de alterar estas concesiones –introduciendo cultivos de menor exigencia hídrica. La transformación a riego por goteo no fue la causa en sí misma del incremento de la superficie, pero sí la condición impuesta para poder efectuar un proceso de expansión que en alguna de estas áreas regables ya venía produciéndose con anterioridad.

4. Efectos sobre los costes y tarifas del riego

El proceso de cambio tecnológico ha afectado a la gestión económica de las entidades de riego, y se han observado cambios significativos en los costes y en las tarifas del riego, asociados tanto a la necesidad de amortizar las inversiones realizadas, como a las variaciones en el consumo energético o en el uso del recurso. Para analizar la situación de las entidades entrevistadas en la Comunidad Valenciana hemos distinguido tres conceptos (Tablas 4 y 5):

- Los costes operativos del riego por goteo: incluyen todos los costes de gestión (mantenimiento, cánones y tarifas, distribución, energía, personal) excepto las amortizaciones de la inversión.
- La tarifa del riego: montante que pagan los regantes a las asociaciones de riego como resulta de sumar a los costes operativos la amortización de la parte de la inversión que es asumida por los regantes.
- El coste total: obtenido de la suma de la amortización del total de la inversión y los costes operativos o, lo que es lo mismo, la suma de la tarifa del riego y la parte de la inversión que pagan las distintas administraciones públicas en forma de subvención.

En los casos estudiados, los costes operativos constituyen aproximadamente el 83 % de la tarifa de riego. En las entidades que usan aguas subterráneas este porcentaje se eleva al 92 % debido al peso del coste energético. La proporción de las subvenciones sobre el coste total de riego es relativamente moderada y oscila entre el 12 y el 19 % tanto en las estimaciones volumétricas como en las establecidas por unidad de superficie. El peso de estas ayudas públicas es proporcionalmente menor en los sectores abastecidos por aguas subterráneas, por las razones ya citadas.

Tabla 4. Tarifas y costes del riego por goteo (medias). En euros/m³

Tipo de entidad	Costes operativos	Tarifa de riego	Coste total del riego
Superficial	0,14	0,23	0,28
Trasvase	0,29	0,37	0,46
Mixtas	0,17	0,22	0,25
Subterráneas	0,23	0,25	0,29
Total	0,20	0,24	0,28

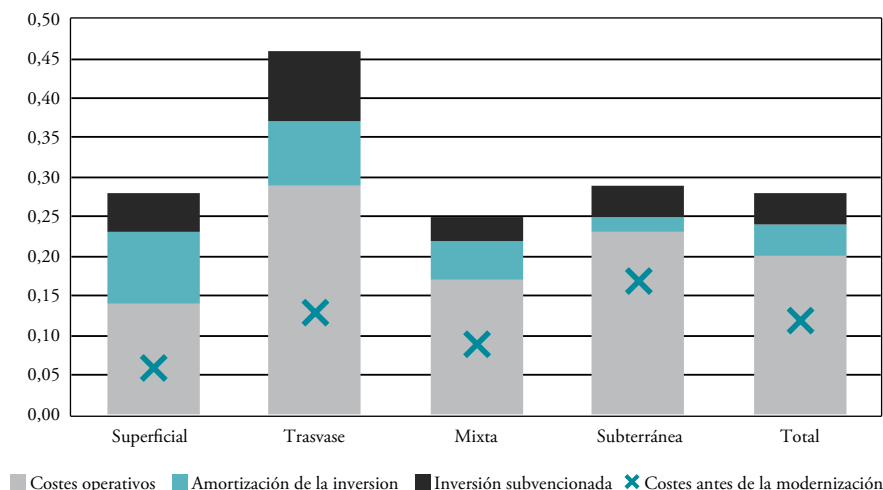
Tabla 5. Tarifas y costes del riego por goteo (medias). En euros/ha

Tipo de entidad	Costes operativos	Tarifa de riego	Coste total del riego
Superficial	475	788	954
Trasvase	872	1.131	1.379
Mixtas	678	808	922
Subterráneas	733	813	924
Total	666	805	927

En términos generales los procesos de modernización han elevado tanto los costes operativos volumétricos, por el coste energético necesario para la presurización, como las tarifas de riego, por la parte de la inversión que ha de ser pagada por el regante. Los Gráficos 3 y 4 muestran claramente este aumento. Las comunidades de regantes que únicamente utilizan aguas superficiales son las que han experimentado un mayor incremento a lo largo del periodo de estudio. Esto se debe fundamentalmente a la aparición de unos costes energéticos, derivados de la necesidad de presurizar las redes, que en la mayoría de los casos no existían cuando se aplicaba el riego por gravedad. Estos costes rebasan incluso lo ahorrado por las entidades con el cambio tecnológico en otros conceptos, como sucede con el personal. La presurización y el telecontrol de la red han reducido el número de vigilantes y regadores contratados por algunas entidades de riego. Así, por ejemplo, en la Acequia Mayor de Sagunto se ha pasado de 22 a 6 regadores. Sin embargo, el precio de la energía empuja al alza el montante total de los costes operativos.

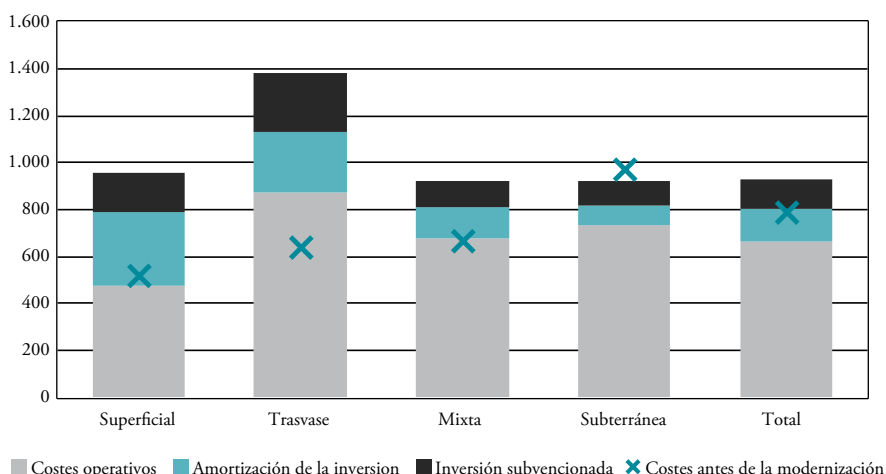
El aumento de estos costes se refleja principalmente en las tarifas volumétricas –con un incremento medio superior al 300 %–, pero queda moderado en términos de tarifas del riego por unidad de superficie –crece en torno a un 80 %–. El descenso de los aportes en la mayoría de estas entidades, debido fundamentalmente a la mayor eficiencia en las conducciones, es el que explica este comportamiento diferencial.

Gráfico 3. Tarifas y costes del riego por goteo y por gravedad según el origen del recurso. En euros/m³



En las entidades de riego que utilizan aguas mixtas y subterráneas el incremento de los costes volumétricos es menos acusado, y se atenúa aún más cuando se refieren por unidad de superficie, por las razones antes mencionadas. En el caso de las aguas subterráneas, el descenso de los bombeos permite que, pese al repunte del coste volumétrico, los costes totales por unidad de superficie sean levemente inferiores a los anteriores al cambio tecnológico, compensando tanto la inversión de los agricultores como incluso la aportación pública (Gráfico 4). Estos beneficios los obtienen en menor medida las zonas de aguas mixtas que proceden a la sustitución de recursos cuando caen los usos totales del sistema. Se constata por tanto un impacto diferente entre aguas superficiales y subterráneas, como han observado Jackson *et al.* (2010) para algunos regadíos de Australia, donde los descensos en los costes de las extracciones subterráneas generados por el cambio tecnológico son mayores que los costes energéticos de presurización. Este abaratamiento del riego en zonas de aguas subterráneas ha sido detectado también en algunos regadíos murcianos, como en el caso de Mula (Gómez Espín, 2007a; 2007b; López Fernández y Gómez Espín, 2008).

Gráfico 4. Tarifas y costes del riego por goteo y por gravedad según el origen del recurso. En euros//ha



En líneas generales, y pese al sensible aumento de los costes en algunas entidades de riego, resulta difícil encontrar regantes que se arrepientan de haber ejecutado el cambio tecnológico, bien porque el alza de los costes del riego se compensa con la reducción de los de otras tareas agrícolas o con un incremento de las producciones, o bien porque el confort que aporta esta técnica, en un colectivo considerablemente envejecido, les proporciona un considerable beneficio. Ahora bien, existen casos en los que el diseño del proyecto de transformación o las condiciones de su financiación suponen una seria amenaza sobre la viabilidad de las entidades de riego.

En este sentido, en algunas de las entidades entrevistadas la estimación inicial de la superficie sobre la que se proyectaron las actuaciones ha sido notablemente superior al espacio sobre el cual posteriormente se ejecutaban las obras. Esto puede suceder en zonas en las que la superficie en riego está disminuyendo por motivos urbanísticos o por los recientes procesos de abandono de la actividad agraria. Otro motivo es que, en algunas entidades, con posterioridad a la implantación del riego por goteo hay propietarios que se resisten a introducir las nuevas tecnologías y optan por mantener el antiguo sistema de riego. En algunos casos las entidades de riego han impuesto precios diferentes para el riego por gravedad y localizado, o han acabado por forzar a

todos los usuarios a utilizar el sistema presurizado, tras otorgarles una moratoria de pocos años de duración.

Otro ejemplo que ilustra las dificultades del proceso de modernización es el de las entidades en las que SEIASA ha financiado los proyectos. Esta entidad subvenciona aproximadamente el 24 % de la inversión total y un 44 % la paga la comunidad de regantes en 50 años con una carencia de 25 años y sin intereses. Este aplazamiento es el que ha motivado que algunas entidades de riego hayan mostrado preocupación por las dificultades en las que pueden verse en el futuro para pagar la deuda adquirida.

Tanto el sobredimensionamiento de los proyectos como el aplazamiento del pago de una parte importante de la financiación pueden poner en peligro la viabilidad futura de las entidades de riego. Hay que considerar además que el contexto de mercado de los productos es poco favorable, y que el reciente fenómeno de abandono de las explotaciones y reducción de las áreas regables puede tener un efecto de retroalimentación sobre quienes mantienen la actividad, al ser cada vez menos socios los que deben asumir la carga del endeudamiento.

5. Conclusiones y elementos para un balance

A lo largo de las últimas dos décadas, tras una primera etapa de promoción privada del cambio tecnológico, las administraciones públicas y las entidades de riego han apostado claramente por la introducción del riego localizado en la Comunidad Valenciana, con la principal finalidad de reducir las derivaciones fluviales y las extracciones de los acuíferos. En un contexto regional de enorme presión sobre el recurso, la promoción del riego por goteo se ha erigido como medida prioritaria para reducir el uso agrario del agua.

En estos términos no puede discutirse el éxito de la política. Por un lado, el alcance superficial de la difusión de esta tecnología no tiene parangón en la historia de la región. Se ha asistido a un cambio tecnológico sin precedentes por sus dimensiones y su celeridad. Por otra parte, en buena medida pueden considerarse cumplidos los objetivos que motivaron las políticas de promoción de cambio tecnológico, habida cuenta de que las entidades de riego que han introducido el riego por goteo han disminuido notablemente los bombeos de aguas subterráneas y las dotaciones anuales obtenidas de los ríos.

No debe olvidarse, no obstante, que varios factores de contexto han facilitado el éxito de estas políticas. Las dificultades o la falta de estímulos para ampliar

las superficies regables y unas condiciones de mercado que no estimulan los cambios hacia cultivos más exigentes están favoreciendo la moderación en el uso de recursos. De hecho, la crisis citrícola, el empuje urbanístico y el envejecimiento de los activos agrarios se han plasmado en el presente siglo en reducciones de las superficies regadas en algunas comarcas del litoral valenciano. Por todo ello, en la Comunidad Valenciana no concurren, al menos por el momento, algunos de los factores claves que estimulan el denominado efecto rebote.

El balance en cuanto al uso de recursos hídricos es provisionalmente positivo. De hecho, durante los últimos años algunos usuarios han observado una mejora de las garantías de suministro y una mayor capacidad para manejar el recurso en contextos de sequía. Ahora bien, es todavía imposible estimar si se están produciendo ahorros reales a escala regional o de cuenca. Queda por investigar cómo está evolucionando el consumo real del recurso, cuál es el comportamiento de los acuíferos, y qué impacto puede estar produciéndose sobre determinados ecosistemas adyacentes, como los humedales litorales. Además, si realmente existen recursos liberados por la introducción de esta tecnología, habrá que completar los correspondientes procesos de revisión concesional y evaluar cuál es el destino de estos caudales, a fin de evitar un nuevo desajuste entre los recursos reales y los que solo figuran en el papel.

El efecto de sustitución de recursos observado en las zonas de riego mixtos debe ser considerado en la planificación hidrológica. Este proceso está generando cambios en algunos esquemas de uso conjunto, en los que la utilización de las aguas subterráneas está quedando limitada a los periodos de sequía. En tales contextos, la planificación hidrológica debe considerar que la modernización de los regadíos no disminuye la presión sobre los recursos fluviales, y que su impacto se limita al agua subterránea. En estos acuíferos es necesario evaluar cómo está afectando el riego por goteo al equilibrio entre extracción y recarga.

La política de promoción del riego por goteo ha tenido un efecto significativo sobre los costes del riego, con un comportamiento diferencial en las zonas regadas con aguas subterráneas y las abastecidas por aguas superficiales. En las primeras el cambio tecnológico ha comportado incluso un descenso de los costes por unidad de superficie. Sin embargo, en las segundas se observa un considerable incremento, el cual revela la necesidad, ya apuntada para el caso andaluz por Carrillo-Cobo *et al.* (2010) y Rodríguez-Díaz *et al.* (2011), de efectuar auditorías energéticas a fin de evaluar el impacto de estas instalaciones. Más preocupante parece la situación de aquellas comunidades

que sobredimensionaron sus proyectos de modernización o que aplazaron sus compromisos de financiación con largos periodos de carencia. En el contexto actual de disminución de los activos agrarios, estas deudas pueden lastrar la competitividad futura de sus explotaciones.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrollado en el ámbito del proyecto IMPADAPT (CGL2013-48424-C2-1-R) financiado con fondos del MINECO (Ministerio de Economía y Competitividad) y Fondos FEDER.

Referencias bibliográficas

- BARAJA, E. y MOLINERO, F. (2012): «Réflexions sur le processus de modernisation de l'irrigation en Espagne: le cas du bassin du Douro (Castille et Léon)»; en Aspe, C., ed.: *De beau agricole à beau environnementale. Résistance et adaptation aux nouveaux enjeux de partage de l'eau en Méditerranée*. Paris, Quae; pp. 63-77.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.
- CARLES, J. y GARCÍA-MOLLÁ, M. (2003): «La coherencia de las instituciones y los modelos de uso del agua»; en Albiac, J., ed.: *Los instrumentos económicos en la gestión del agua en la agricultura*. Madrid, Mundiprensa; pp. 115-127.
- CARRILLO-COBO M. T.; RODRÍGUEZ-DÍAZ J. A. y CAMACHO E. (2010): «The role of energy audits in irrigated areas. The case of 'Fuente Palmera' irrigation district (Spain)»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(2); pp. 152-161.
- COROMINAS, J. (2011): *Análisis de las modernizaciones de regadíos en Andalucía*. Comunicación presentada en Congreso Agricultura, agua y energía. Madrid.

- DEL MORAL, L. (2009): «Changing discourses in a modern society»; en Garrido, A. y Llamas, M. R., eds.: *Water policy in Spain*. London, Taylor and Francis; pp. 85-93.
- DUMONT, A.; MAYOR, B. y LÓPEZ-GUNN, E. (2014): «Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernisation process in Spain»; *Aquatic Procedia* (1); pp. 64-76.
- ESTEVAN, A. (2008): *Herencias y problemas de la política hidráulica española*. Bilbao, Bakeaz/FNCA.
- ESTEVAN, A. y NAREDO, J. M. (2004): *Ideas y propuestas para una nueva política del agua en España*. Bilbao, Bakeaz/FNCA.
- FRUTOS MEJÍAS, M. L.; CASTELLÓ PUIG, A.; HERNÁNDEZ NAVARRO, M. L. y RUIZ BUDRÍA, E. (2008): «La modernización de los regadíos en Aragón: acciones y perspectivas»; en Gómez Espín, J. M. y Martínez Medina, R., eds.: *Los espacios rurales españoles en el nuevo siglo: actas XIV Coloquio de Geografía Rural*. Murcia, Universidad de Murcia; pp. 111-126.
- GALLEGO BONO, J. R. (1996): «Instituciones, aprendizaje y liderazgo en la difusión de innovaciones: una interpretación de la desigualdad implantación del riego por goteo en la citricultura valenciana»; *Revista Española de Economía Agraria* (175); pp. 199-228.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; AVELLÀ, L. y CARLES, J. (2012): «Effets de la modernisation sur les terres irrigables méditerranéennes espagnoles»; en Aspe, C., ed.: *De beau agricole à beau environnementale. Résistance et adaptation aux nouveaux enjeux de partage de l'eau en Méditerranée*. Paris, Quae; pp. 99-112.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; ORTEGA, M. V. y AVELLÀ, L. (2013): «Irrigation associations coping with drought: The case of four irrigation districts in Eastern Spain»; en Schwabe, K.; Albiac, J.; Connor, J. D.; Hassan, R. M. y Meza, L., eds.: *Drought in arid and semi-arid regions. A multi-disciplinary and cross-country perspective*. New York, Springer; pp. 101-121.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; ORTEGA, M. V.; SANCHIS-IBOR, C. y AVELLÀ, L. (2014): «The effects of irrigation modernization on the cost recovery of water in the Valencia Region (Spain)»; *Water Science & Technology: Water Supply* 14(3); pp. 414-420.

- GIL MESEGUER, E. (2010): «La Región de Murcia, un laboratorio de experiencias de ahorro y eficiencia en el uso del agua: la modernización de sus regadíos, entre las políticas agraria y ambiental de la unión europea»; *Papeles de Geografía* (51-52); pp. 131-145.
- GÓMEZ ESPÍN, J. M. (1997): «El regadío en el umbral del siglo XXI: planes de mejoras y modernización»; *Papeles de Geografía* (25); pp. 75-102.
- GÓMEZ ESPÍN, J. M.; GIL MESEGUER, E. y GARCÍA MARÍN, R., eds. (2007a). *El antes y después de la modernización de regadíos. La experiencia de Mula*. Murcia, Universidad de Murcia y Consejería de Agricultura y Agua de la CARM.
- GÓMEZ ESPÍN, J. M.; GARCÍA MARÍN, R. y GIL MESEGUER, E. (2007b): «Modernización de regadíos con aguas subterráneas en ámbitos semiáridos, M+A»; *Revista Electrónica de Medioambiente* (3); pp. 1-22.
- GÓMEZ ESPÍN, J. M. (2011): «Marco de la modernización de regadíos. Políticas de ahorro y eficiencia en el uso del agua para el riego en la Cuenca del Segura y en otras cuencas hidrográficas»; en GÓMEZ ESPÍN, J. M.; LÓPEZ FERNÁNDEZ, J. A. y MONTANER SALAS, M. E., eds.: «Modernización de regadíos: sostenibilidad social y económica»; *La singularidad del Trasvase Tajo-Segura*. Murcia, Universidad de Murcia; pp. 79-100.
- HARDY, L. y GARRIDO, A., eds. (2010): «Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía»; *Papeles de Agua Virtual*. Madrid, Fundación Botín.
- JACKSON T. M.; KHAN S. y HAFEEZ M. (2010): «A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1477-1485.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010): «Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality - A conceptual approach»; *International Journal of Water Resources Development* (26); pp. 265-282.
- LÓPEZ FERNÁNDEZ, J. A. y GÓMEZ ESPÍN, J. M. (2008): «Efectos de la sequía en la modernización de regadíos de Mula»; en GÓMEZ ESPÍN, J. M. y Martínez Medina, R., eds.: «Los espacios rurales españoles en el nuevo siglo»; *Actas del XIV Coloquio de Geografía Rural*. Universidad de Murcia; pp. 145-160.
- LÓPEZ-GUNN, E. (2009): «Agua para todos: A new regionalist hydraulic paradigm in Spain»; *Water Alternatives* 2(3); pp. 370-394.

- LÓPEZ-GUNN, E.; ZORRILLA, P.; PRIETO, F. y LLAMAS, R. (2012a): «Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture»; *Agricultural Water Management* (108); pp. 83-95.
- LÓPEZ-GUNN, E.; MAYOR, B. y DUMONT, A. (2012b): «Implications of the modernization of irrigation systems»; en de Stefano, L. y Llamas, R., eds.: *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* Madrid, Fundación Botín; pp. 241-255.
- MAGRAMA (2002-2013): *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo (ESYRCE). Resultados*. Madrid, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- MELGAREJO, J. (2009): «Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España»; *CLM Economía* (15); pp. 245-270.
- NARANJO, J. E. (2010): «Problemática de la modernización de regadíos»; *Comunicación presentada en XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España*. Tarragona.
- ORTEGA, M.; SANCHIS, C. y GARCÍA-MOLLÁ, M. (2017): «Drip irrigation in Eastern Spain. Diverging goals in a converging process»; en Venot, J. F.; Kuper, M. y Zwarteven, M., eds.: *Drip irrigation for smallholders: efficiency, innovation and development*. En prensa.
- PLAYAN, E. y MATEOS, L. (2006): «Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity»; *Agricultural Water Management* (80); pp. 100-116.
- RAMÓN MORTE, A. (1994): «Aplicación del riego localizado y economía del agua en la modernización de la agricultura valenciana»; *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (18); pp. 97-110.
- RAMÓN MORTE, A. (1995): *Tecnificación del regadío valenciano. Análisis territorial de la difusión del sistema de riego localizado*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2011): «The paradox of irrigation scheme modernization: More efficient water use linked to higher energy demand»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4); pp. 1000-1008.

- SANCHIS-IBOR, C.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y AVELLÀ, L. (2016a): «Las políticas de implantación del riego localizado. Efectos en las entidades de riego de la Comunidad Valenciana»; *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (72); pp. 9-35.
- SANCHIS-IBOR, C.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y AVELLÀ, L. (2016b): «Effects of drip irrigation promotion policies on water use and irrigation costs in Valencia, Spain»; *Water Policy*. doi: 10.2166/wp.2016.025.
- SESE, S. (2012): *Perspectives of different stake holders to implement drip irrigation systems and its consequences for land and water use. A case study in Canyoles river basin, Valencia (Spain)*. M.Sc. Thesis. Países Bajos, Wageningen University.
- SWYNGEDOUW, E. (2013): «Into the sea: Desalination as a hydro-social fix in Spain»; *Annals of the Association of American Geographers* 103(2); pp. 261-270.
- TABARA, D. y ILHAN, A. (2008): «Culture as trigger for sustainability transition in the water domain: The case of the Spanish water policy and the Ebro river basin»; *Regional Environmental Change* 8(2); pp. 59-71.
- WARD, F. A. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2008): «Water conservation in irrigation can increase water use»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(47); pp. 18215-18220. doi:10.1073/pnas.0805554105.

Factores que explican el desempeño de las comunidades de regantes modernizadas

*Francisco Alcón, Mariano Soto-García, Victoriano Martínez,
Bernardo Martín-Górriz y María Dolores de Miguel*
Universidad Politécnica de Cartagena

1. Introducción

La modernización de los regadíos es un proceso de mejora técnica y de gestión (en oposición a la mera rehabilitación) de los sistemas de riego con el objetivo de mejorar la utilización de los recursos (mano de obra, materias primas, medioambiente, etc.) y el suministro de agua a las explotaciones agrícolas (FAO, 1997).

En España, son ya muchos los esfuerzos realizados en este sentido. A principios del siglo XXI se impulsó una nueva orientación en la gestión del agua, basada en la garantía de su disponibilidad y calidad, en una gestión eficiente y sostenible, en la potenciación de la regeneración y reutilización, en la obtención de nuevos recursos, en la modernización de regadíos, y en el fomento de la investigación y la incorporación de las nuevas tecnologías.

Y para llevar a cabo las políticas que permitan modernizar los sistemas de riego nacionales se han financiado una serie de acciones de planificación en el regadío. Estas son: el Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2005 y Horizonte 2008, el Plan de Choque de Modernización de Regadíos 2006-2008 y la Estrategia de Modernización Sostenible, horizonte 2015. Estas acciones, junto con la aplicación de la Directiva Marco del Agua, han potenciado la inclusión de criterios ambientales en la gestión y regulación de los recursos hídricos, la protección de los mismos ante la contaminación, así como la conservación del medioambiente y de la biodiversidad, enfocando la política española en el ámbito del regadío hacia las nuevas sensibilidades sociales y ambientales¹.

En este contexto, se han abordado una serie de planes de modernización de las comunidades de regantes, consistentes principalmente en la actualización de infraestructuras de transporte y distribución del agua de riego, así como en los sistemas de aplicación de agua en parcela. De esta forma, los

¹ Para un mayor detalle de estas acciones véase capítulo 2 de este libro.

esfuerzos de la planificación se han destinado principalmente a la sustitución de las redes de conducciones abiertas por tuberías a presión, con el fin de disminuir las pérdidas en los sistemas de distribución y conseguir un ahorro de agua. También se han implantado las tecnologías de la información y la comunicación en la gestión del regadío (MAGRAMA, 2013). En este sentido, Soto-García *et al.* (2014) destacan la existencia de dos tipos diferentes de procesos de modernización: la denominada modernización de «primera generación», caracterizada por la presurización de las redes de distribución y la modernización de «segunda generación», que se caracteriza por centrarse en la automatización tanto de la infraestructura hidráulica presurizada existente previamente a la modernización como de los servicios de la comunidad de regantes.

Como consecuencia de estos procesos de modernización, el consumo de agua de riego en España en los últimos años ha disminuido un 13,98 %, pasando de 16.896 hm³ en el año 2000 a 14.534 hm³ en el año 2013, y el volumen de agua aplicada con tecnología de riego por goteo se ha incrementado en un 273 % para este periodo (INE, 2016). En la actualidad, de las 3.636.519 hectáreas regadas en España, el 49,3 % disponen de tecnología de riego localizado, el 23,8 % de riego por aspersión o automotriz y el 26,9 % de las tierras siguen regándose por gravedad (MAGRAMA, 2015).

Sin embargo, estos procesos de modernización, aunque tienen un evidente efecto reductor de la cantidad de agua destinada para el riego de las parcelas, han supuesto un incremento de los costes de operación y mantenimiento del sistema, así como de la energía requerida para su correcto funcionamiento (Rodríguez *et al.*, 2011). En este sentido, la paradoja viene reflejada en la conservación del recurso agua, a costa del deterioro ambiental por emisiones de CO₂ atmosférico, derivado del consumo energético necesario para su gestión. Si bien cabe destacar que, para el caso de las modernizaciones de segunda generación, sí se ha detectado una reducción del consumo de energía (Soto García *et al.*, 2014).

Por ello, actualmente, las comunidades de regantes modernizadas están centrando todos sus esfuerzos en mejorar su desempeño, a través de la reducción de los costes de manejo del sistema y de los consumos energéticos, para favorecer que sus comuneros puedan conseguir unos mejores márgenes de producción. En este contexto, el objetivo de este capítulo es identificar aquellos factores que influyen sobre los indicadores de desempeño de las comunidades de regantes y de sus comuneros. Concretamente, sobre los costes de manejo del sistema y los costes energéticos de las comunidades y los ingresos

y el margen bruto de las cosechas obtenidas por los comuneros. Para alcanzar este objetivo se han caracterizado cinco comunidades de regantes de la Cuenca del Segura. Posteriormente, se han calculado los indicadores de desempeño para un periodo de 9 años, y finalmente, a través de modelos de regresión con datos de panel, se han identificado aquellos atributos, intrínsecos y extrínsecos a las comunidades de regantes, que significativamente afectan a los indicadores de desempeño.

En España, se han desarrollado los indicadores de desempeño en el estudio de las comunidades de regantes (CCRR). Rodríguez-Díaz *et al.* (2005a, 2005b; 2008) realizaron un estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de *benchmarking* a las zonas regables de Andalucía, donde se consideran 9 CCRR durante los años 1996-2002. Córcoles *et al.* (2010) estudiaron la gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de *benchmarking*, analizando 7 CCRR de Castilla-La Mancha durante el periodo 2006-2008. Melián-Navarro *et al.* (2010) aplicaron los indicadores de *benchmarking* para comparar dos CCRR de Sudeste español con dos CCRR de la zona de Beira Interior en Portugal. Abadía *et al.* (2010) analizaron, desde un punto de vista energético, 22 CCRR, 15 de Castilla-La Mancha, 2 de la Región de Murcia y 5 al sur de la Comunidad Valenciana en un estudio comparativo sobre las medidas de ahorro energético y económico en CCRR. Y recientemente, Soto-García *et al.* (2014) analizaron 5 CCRR de la Región de Murcia durante un periodo de 10 años.

2. Metodología

2.1. Caso de estudio

El caso de estudio es la Cuenca del Segura que, con un clima Mediterráneo semiárido, tiene unas precipitaciones medias en torno a los 300 mm/año y un índice de explotación del agua del 130 %, lo que la convierte en una de las cuencas con mayor estrés hídrico de Europa (EEA, 2009). El origen del agua de riego es diverso, y aunque la mayor parte de los recursos de la cuenca son superficiales (704 hm³/año), también se hace un uso importante de los recursos subterráneos (542 hm³/año) y del agua proveniente de otra cuenca, a través del Trasvase Tajo-Segura (337 hm³/año). Además, estos recursos son complementados con pequeños aportes de la reutilización, la desalinización y el drenaje (CHS, 2013).

La agricultura de regadío abarca unas 250.000 hectáreas (CHS, 2013) siendo los principales cultivos, las frutas y las hortalizas, los responsables de la mayor contribución a la producción final agraria (Arcas *et al.*, 2010). Dadas las necesidades hídricas de estos cultivos y la variabilidad de los recursos hídricos disponibles, tanto en el tiempo, como entre comunidades de regantes, los requerimientos hídricos de los cultivos no están completamente satisfechos en la mayoría de los años, predominando un déficit estructural de agua y, como consecuencia, la aplicación de riegos deficitarios.

2.2. Indicadores de desempeño

Los principales indicadores de desempeño aplicados a las CCRR fueron propuestos por Malano y Burton (2001) dentro del proceso de *benchmarking*. La técnica de *benchmarking* persigue la optimización de la gestión de una CCRR utilizando como herramienta la evaluación comparativa de indicadores (Borgia *et al.*, 2013). Estos indicadores deben ser útiles tanto para caracterizar a la comunidad estudiada como para poder evaluar su gestión y compararla con otras. Los indicadores y su estudio estadístico son fundamentales para entender donde los sistemas de riego funcionan correctamente y donde se pueden mejorar (Zwart *et al.*, 2010), siendo la principal herramienta de las técnicas de *benchmarking*. A nivel de CCRR, el estudio de estos indicadores persigue mejorar su productividad y la eficiencia de los recursos empleados, consiguiendo un regadío más productivo y sostenible, y colaborando en la mejora de la calidad de vida de la población rural (Malano *et al.*, 2004).

En este sentido, se han desarrollado numerosos indicadores (Rodríguez, 2003; Córcoles, 2009; Abadía *et al.*, 2010) a partir de los propuestos por Malano y Burton (2001). Sin embargo, el manejo de un elevado número de ellos resulta inoperante. Por ello, Soto-García *et al.*, (2013a) proponen seleccionar para las CCRR aquellos que son fáciles de obtener, orientados a la gestión, y que son apropiados para el propósito perseguido. Además, Córcoles *et al.* (2010) proponen no utilizar aquellos que tengan un elevado nivel de incertidumbre. Bajo estas consideraciones, los indicadores seleccionados para este estudio son los económicos y los productivos. La descripción y el cálculo de los seleccionados vienen recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de desempeño

Dominio	Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Descripción y cálculo
Económico	Costes de manejo del sistema por Unidad de área regada (CMSSr)	euros ha ⁻¹	CMS/Sr, donde CMS es el coste anual de mantenimiento, operación y gestión necesario para proporcionar el servicio de riego, y Sr es la superficie regada total en el año.
	Costes de manejo del sistema por Unidad de volumen suministrado (CMSVs)	euros m ⁻³	CMS/Vs, donde CMS es el coste anual de mantenimiento, operación y gestión necesario para proporcionar el servicio de riego, y Vs es el volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas.
	Coste energético por unidad de área regada (CENSr)	euros ha ⁻¹	CEN/Sr, donde CEN es el coste de la energía facturada a la comunidad, y Sr es la superficie regada total en el año.
	Coste energético por unidad de volumen suministrado (CENVs)	euros m ⁻³	CEN/Vs, donde CEN es el coste de la energía facturada a la comunidad, y VS es el volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas.
Producción	Valor de la producción agrícola por unidad de área regada (VPSr)	euros ha ⁻¹	VP/Sr, donde VP Valor total de la producción agrícola, y Sr es la superficie regada total en el año.
	Valor de la producción agrícola por unidad de volumen suministrado (VPVs)	euros m ⁻³	VP/Vs, donde VP Valor total de la producción agrícola y Vs es el volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas.
	Margen Bruto por Unidad de área regada (MBSr)	euros ha ⁻¹	MB/Sr, donde MB es el valor de la producción agrícola deducidos los costes de producción directos, y Sr es la superficie regada total en el año.
	Margen Bruto por Unidad de volumen suministrado (MBVs)	euros m ⁻³	MB/Vs, donde MB es el valor de la producción agrícola deducidos los costes de producción directos, y Vs es el volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas.

2.3. Atributos de las comunidades de regantes

Los atributos que definen las CCRR pueden ser intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos hacen referencia a la propia comunidad y a las características que la definen, así como a las decisiones internas de gestión que toman sus responsables. Sin embargo, los atributos extrínsecos hacen referencia a aquellos aspectos que condicionan la gestión de la CR, si bien esta no tiene poder de actuación sobre los mismos. Es decir, hace referencia a las variables definidas por el entorno. Los principales atributos de las CCRR analizadas vienen recogidos por la Tabla 2.

Tabla 2. Principales atributos de las comunidades de regantes (2002-2010)

	Campo de Cartagena CR1	Pantano de la Cierva CR2	Miraflores CR3	Lorca CR4	Calasparra-Cieza CR5
Área regada anual (ha)	32.210 (1.166)	1.875 (53)	1.244 (47)	14.322 (1.548)	2.980 (96)
Comuneros (núm.)	9.506	1.750	972	7.617	350
Origen del agua (%)					
Superficial	2,97 (2,56)	2,67 (2,24)		15,55 (4,06)	
Subterránea	6,51 (8,59)	70,29 (18,38)	100 (0,00)	44,71 (13,03)	36,61 (34,56)
Trasvase Tajo-Segura	87,17 (10,44)	27,05 (18,65)		34,85 (15,60)	63,39 (34,56)
Reutilizada	0,38 (0,61)			4,89 (0,99)	
Desalinizada	2,96 (1,78)				
Sistema de distribución	Presurizado con control remoto	Presurizado con control remoto	Presurizado con control remoto	Presurizado con control remoto	Presurizado con control remoto
Sistema de distribución (1: sí; 2: no)					
Turnos	1	1	0	0	0
Demanda	0	0	1	1	1
VsSr Volumen de agua de riego suministrado (m ³ año ⁻¹)*	1.885 (941)	2.771 (528)	3.365 (310)	2.775 (527)	3.119 (664)
VsVt Eficiencia de distribución del sistema de riego (%)	94,78 (5,23)	95,05 (1,14)	96,02 (2,64)	96,80 (2,32)	93,53 (2,47)
Riego por goteo en 2010 (%)*	96	98	100	84	100
Principales cultivos (1=sí; 0=no)*					
Frutales	0	1	1	0	1
Hortícolas	1	0	0	1	0
Precio de la electricidad (euros/kWh)*	0,12 (0,03)	0,09 (0,02)	0,11 (0,02)	0,10 (0,01)	0,10 (0,02)

Error estándar entre paréntesis.

** Atributos extrínsecos.*

2.4. Toma de datos

La toma de datos se ha realizado en cinco CCRR de la Cuenca del Segura. La selección de estas CCRR se realizó en base al origen del agua de riego, el tipo de cultivo y el área geográfica, con el objetivo de conseguir una muestra representativa de las tipologías de CCRR ubicadas en la cuenca. La toma de datos se realizó en el año 2011 para el periodo de tiempo comprendido entre 2002 y 2010. Este periodo de tiempo es especialmente relevante porque en él se dieron grandes variaciones en cuanto a la disponibilidad de agua, incluyendo un periodo de sequía (2006-2008) y años con elevada pluviometría.

La información necesaria para estimar los indicadores de desempeño y los atributos intrínsecos y extrínsecos de las CCRR fue obtenida principalmente de las bases de datos de las CCRR analizadas. El volumen de agua suministrada a los usuarios, se estimó en base a las mediciones individualizadas a los regantes, y el volumen anual de agua de riego suministrado, fue medido en los contadores de cabecera del sistema de distribución de las CCRR. En el precio del kWh pagado por la comunidad se han considerado los términos fijo y variable, obtenidos de sus correspondientes facturas eléctricas

Para las estimaciones de los indicadores de desempeño de los agricultores, se utilizaron los precios medios del mercado, ofrecidos por el servicio de estadística agraria de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM, 2012). Los requerimientos hídricos fueron estimados utilizando datos climáticos de cada una de las zonas según la metodología FAO (Allen *et al.*, 1998) y los costes de producción fueron estimados para cada cultivo por medio de una encuesta realizada a 100 agricultores. Todos los valores monetarios han sido normalizados al año de referencia del análisis, 2010, para considerar el efecto de la inflación.

2.5. Modelo de regresión

Para explicar el efecto de las características de las CCRR sobre los indicadores de desempeño se ha utilizado un modelo de regresión de datos de panel, dado que este permite considerar en el análisis la variabilidad temporal y transversal de los datos.

En este estudio, los datos de panel son datos anuales, para cinco CCRR y para el periodo 2002-2010, por lo que se especifica un modelo general que relaciona los indicadores de desempeño (ID_{it}) con los atributos de las CCRR (x_{it}). Las variables explicativas del modelo han sido seleccionadas de manera que no existan problemas de multicolinealidad, utilizando el factor de inflación de la varianza. De esta manera las variables explicativas seleccionadas son el volumen suministrado por unidad de área regada ($VsSr$), la eficiencia de distribución del sistema de riego ($VsVt$), el porcentaje de agua subterránea utilizada (Subterránea), el uso de un sistema de distribución de agua a la demanda (*Demanda*), la superficie regada (*AreaR*) y el precio de la electricidad (*PE*).

La forma general del modelo es:

$$ID_{it} = \alpha + \beta_1 VsSr_{it} + \beta_2 VsVt_{it} + \beta_3 Subterránea_{it} + \beta_4 Demanda_{it} + \beta_5 AreaRegada + \beta_6 PE_{it} + \varepsilon_{it} \quad [1]$$

Donde β_k representa los coeficientes asociados a cada variable.

3. Resultados y discusión

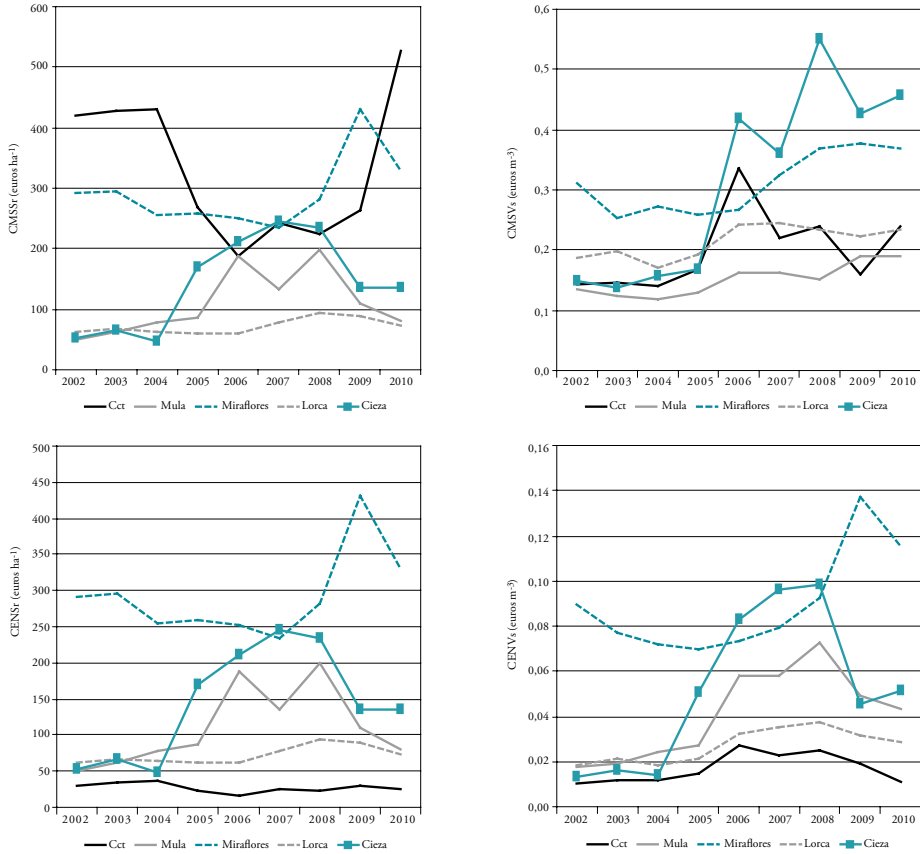
3.1. Características de los indicadores

Los indicadores económicos miden la eficiencia de la comunidad de regantes en cuanto a los recursos económicos utilizados para proporcionar el servicio de suministro de agua de riego. Estos indicadores juegan un papel fundamental en las CCRR del sur de España, dado que el agua es el factor de producción más restrictivo para la producción agraria (Berbel *et al.*, 2011). El indicador de los costes de manejo del sistema (CMS) es el más representativo de los gastos realizados por una comunidad de regantes. Tal y como se aprecia en el Gráfico 1, los CMS han ido incrementando a lo largo del periodo analizado al igual que el coste de la energía y la tarifa del trasvase Tajo-Segura, estando los valores más altos asociados a las CCRR que utilizan aguas subterráneas. Para el caso de la CR3, que abastece a sus regantes únicamente con agua subterránea, los CMS medios por unidad de área regada superan los 1.000 euros/ha, que en términos de volumen supone un coste de manejo del sistema de 0,31 euros m⁻³. Sin embargo, los valores medios para las otras 4 CCRR son considerablemente inferiores (554 euros ha⁻¹ y 0,22 euros m⁻³). Para la CR5, que utiliza aguas subterráneas en épocas de escasez, el valor del CMS se incrementa durante el periodo de sequía.

Los indicadores del coste energético de la CR (CEN) muestran una variabilidad considerable entre CCRR y en el tiempo. Como era de esperar, la CR3 refleja los mayores valores al utilizar únicamente agua subterránea. El valor medio por área regada es de 125 euros ha⁻¹, mientras que por volumen suministrado este valor es de 0,04 euros m⁻³, representando en torno al 20 % de los costes de manejo del sistema. Esto pone de manifiesto la importancia de los costes energéticos en las comunidades de regantes modernizadas con sistemas de distribución presurizados. No obstante, los estudios de Rodríguez-Díaz *et*

al. (2008) y Córcoles *et al.* (2010) en Andalucía y Castilla-La Mancha muestran valores de CEN que duplican a los aquí mostrados.

Gráfico 1. Indicadores económicos



Los indicadores de producción miden los beneficios y la eficiencia con la que los agricultores utilizan los recursos hídricos en los cultivos. Los indicadores que recogen el valor de la producción ponen de manifiesto el volumen de negocio generado por los cultivos de la comunidad de regantes. Por unidad de superficie regada, dos de las cinco CCRR analizadas muestran valores de VPV_5 por encima de 17.000 euros ha^{-1} en algún momento del tiempo estando el valor medio (11.207 euros ha^{-1}) muy por encima de los encontrados en otras regiones de España (Salvador *et al.*, 2011; Córcoles *et al.*, 2010; Rodrí-

guez-Díaz *et al.*, 2008), donde los cultivos predominantes no son del sector de frutas y hortalizas. Por otro lado, el valor de la producción por volumen de agua suministrado por la CR asciende a 4,70 euros m⁻³, posiblemente de los más elevados de España. En el caso de la CR1, este valor es, para el periodo analizado, de 8,81 euros m⁻³, si bien los valores de estos indicadores deben ser tomados con cautela, dado que están parcialmente explicados por las posibilidades de los agricultores de acceder a fuentes de suministro alternativas en épocas de escasez, donde la dotación asignada por la CR debe ser complementada por el agricultor con otras fuentes de agua como el agua subterránea o desalinizada (Soto-García *et al.*, 2013a).

Gráfico 2. Indicadores de producción



Los valores de los indicadores que recogen el margen bruto de las explotaciones por unidad de superficie regada (MBV_s) muestran una evolución similar a la tendencia marcada por los indicadores del valor de la producción. Para las CCRR estudiadas, el mayor margen bruto obtenido asciende a 3,40 euros ha^{-1} y a 1,40 euros m^{-3} , aunque en algunos años se llegan a obtener valores de margen bruto negativos, dado que estos indicadores están considerablemente correlacionados con los precios de mercado de las producciones.

3.2. Relación entre los atributos y los indicadores

Para analizar los atributos intrínsecos y extrínsecos de las CCRR que afectan a los indicadores de gestión se han realizado regresiones con datos de panel que responden a la forma funcional establecida en la ecuación [1]. Para eliminar los problemas de colinealidad del modelo de regresión, algunas de las variables recogidas en la Tabla 2 han sido excluidas de la ecuación [1], atendiendo al factor de inflación de la varianza. Los modelos de regresión han sido estimados para los indicadores de desempeño por área regada (Tabla 3) y por volumen de agua de riego suministrado (Tabla 4). Los resultados muestran que algunos de los atributos de las CCRR influyen de forma significativa sobre los indicadores, permitiendo identificar aquellos atributos que presumiblemente jueguen un papel determinante sobre el desempeño de las CCRR.

Los indicadores económicos relacionados con los costes de manejo del sistema, tanto por superficie regada ($CMSS_r$) como por volumen suministrado a los regantes ($CMSV_s$), son explicados por el porcentaje de uso de agua subterránea, y por la adopción de un sistema de distribución del agua a la demanda, mostrando ambos atributos un efecto positivo y significativo sobre los indicadores. Esto indica que conforme incrementa el uso de agua subterránea por una comunidad se incrementa el coste anual de mantenimiento, operación y gestión necesario para proporcionar el servicio de riego. Por otro lado, estos costes también se verán incrementados cuando una CR opta por implementar un sistema de riego a la demanda, que en las CCRR analizadas esto consiste en una red de distribución de tuberías presurizadas con contadores individualizados. De manera específica y por término medio, los costes de manejo del sistema se incrementan en 338 euros/ha regada con respecto a la utilización de un sistema de distribución del riego por turnos, pudiendo deberse a los requerimientos de caudal más constantes en la red para el caso de turnos, que resultan en pérdidas de carga y alturas manométricas uniformes a

lo largo del tiempo y, por tanto, un funcionamiento de los grupos de bombeo en zonas de rendimiento óptimo.

Tabla 3. Modelos de regresión para los indicadores de desempeño por área regada

	CMSSr		CENSr		VPSr		MBSr	
	Coef.	ee	Coef.	ee	Coef.	ee	Coef.	ee
VsSr	0,12 [*]	0,07	0,06 ^{***}	0,02	2,09 ^{**}	1,03	0,79	0,78
VSVT	-10,77	12,26	-6,22 ^{**}	3,14	-238,26	173,92	-45,98	130,84
Subterránea	289,53 ^{**}	118,13	237,94 ^{***}	30,22	1.160	1.680	-960	1.260
Demanda	336,57 ^{***}	68,32	33,63 [*]	17,48	2.340 ^{**}	970	1.330 [*]	730
Área Regada	3,06 e-3	4.860	2,60 e-3 ^{**}	1,24 e-3	0,2 ^{***}	0,07	0,08 [*]	0,04
Precio electricidad	4.420 ^{***}	1.690	1.460 ^{***}	4.330	-4.420	24.020	-22.100	18.070
α	488,27	979,12	235,63	250,5	2.440 [*]	1.390	6.820	10.450
F (6,37) ^a	13,77		26,24		3,5		2,87	
Prob. > F	0		0		0		0	
R ² ajustado	0,64		0,78		0,26		0,21	

Nivel de significatividad: *p < 0,10; **p < 0,05 y ***p < 0,01.

Tabla 4. Modelos de regresión para los indicadores de desempeño por volumen suministrado

	CMSVs		CENVs		VPVs		MBVs	
	Coef.	ee	Coef.	ee	Coef.	ee	Coef.	ee
VsSr	-3,65 e-5 [*]	2,28 e-5	7,35 e-6	6,19 e-6	-1,41 e-3 ^{**}	7,17 e-4	-3,24 e-4	3,28 e-4
VSVT	-6,50 e-3	4,67 e-3	-2,06 e-3 ^{**}	1,04 e-3	-0,43 ^{***}	0,12	-0,11 ^{**}	0,05
Subterránea	0,08 [*]	0,04	0,07 ^{***}	0,01	0,65	1,16	-0,13	0,53
Demanda	0,12 ^{***}	0,03	0,01 ^{**}	0,01	0,88	0,67	0,53 [*]	0,30
Área Regada	8,10 e-7	1,85 e-6	5,37 e-7	4,14 e-7	1,37e-4 ^{***}	4,79e-5	4,77 e-5 ^{**}	2,19 e-5
Precio electricidad	1,30 ^{**}	0,64	0,48 ^{***}	0,14	-13,44	16,69	-11,86	7,64
α	0,70 ^{**}	0,37	0,12	0,08	48,35 ^{***}	9,65	13,03 ^{***}	4,42
F (6,37) ^a	8,91		23,06		15,9		6,83	
Prob. > F	0,00		0,00		0,00		0,00	
R ² ajustado	0,52		0,75		0,72		0,45	

Nivel de significatividad: *p < 0,10; **p < 0,05 y ***p < 0,01.

El atributo extrínseco que mide el volumen de agua suministrado a los usuarios anualmente ($VsVr$) presenta un efecto negativo sobre el indicador CMSVs, mientras que para el indicador CMSSr este efecto es positivo. Esto indica que si la dotación de agua de riego se incrementa en 1.000 unidades, el valor del CMSSr se incrementará en 120 euros/ha. Por otro lado, la relación negativa entre $VsVr$ y CMSVs viene explicada por la estructura de costes de la propia CR, en la que predominan los costes fijos, los cuales adquieren un menor peso relativo conforme se incrementa el volumen de agua suministrado en el año (Soto-García, 2013a).

Los costes energéticos de las CCRR vienen explicados de manera positiva y significativa por el porcentaje de agua subterránea utilizada, por la adopción de un sistema de riego a la demanda, y por el precio pagado por la electricidad, siendo este último atributo el que mayor impacto tiene sobre los costes energéticos asumidos por la CR. Por otro lado, incrementos en la eficiencia de distribución del sistema de riego permiten reducir los costes energéticos, tanto por área regada como por volumen suministrado. Sin embargo, el volumen de agua suministrado a los usuarios y el tamaño de la CR presentan un efecto positivo y significativo sobre el indicador del coste energético por área regada, si bien el efecto marginal de estos atributos sobre el indicador es exiguo, en comparación con los otros atributos.

En cuanto a los indicadores de producción, el valor de la producción agraria (VP) también está parcialmente explicado por el volumen de agua suministrado. El VPSr se incrementa conforme lo hace $VsVr$ indicando que a mayor suministro se producirán mayores rendimientos por hectárea y, en consecuencia, un mayor valor de la producción. Sin embargo, al analizar este indicador por unidad de volumen se aprecia una relación negativa y significativa. Este resultado vendría explicado por el hecho de que conforme se reduce la dotación, los agricultores se adaptan a estrategias de riego menos consumidoras de agua, como el riego deficitario, donde la producción y los costes por unidad de volumen son más elevados, incrementando así los ingresos por unidad de volumen (Alcón *et al.*, 2013). Este resultado también es consistente con la no linealidad de la función de producción de la agricultura de regadío (Mesa-Jurado *et al.*, 2010). Por lo tanto, los resultados sugieren que mayores dotaciones de agua de riego se traducirán en unos mayores ingresos para los agricultores hasta que el coste marginal del agua de riego iguale al ingreso marginal de la misma.

Por otro lado, los valores de los indicadores VPSr, MBSr y MBVs se muestran positivamente influenciados por el uso de un sistema de distribución del agua a la demanda, indicando que este sistema permite que el agricultor ajuste mejor el riego a las necesidades de los cultivos y, en consecuencia, obtenga un mayor valor de la producción y un mayor margen bruto. Concretamente, utilizar un sistema de riego a la demanda incrementará los costes de manejo del sistema en 0,12 euros m^{-3} , y el margen bruto será de 0,53 euros m^{-3} .

El tamaño de la CR también muestra un efecto positivo y significativo sobre los indicadores CENSr, VPSr, VPVs, MBSr y MBVs revelando la existencia de economías de escala a nivel de CR. De esta manera, los agricultores ubicados en CCRR de mayor tamaño obtienen mayores ingresos y mayor margen bruto por unidad de superficie y por unidad de volumen que los agricultores situados en CCRR más pequeñas.

En cuanto a la relación entre la eficiencia de distribución y los indicadores de producción, se aprecia un efecto negativo de la misma sobre el valor de la producción y sobre el margen bruto por unidad de volumen suministrado. Esta relación es explicada por el hecho de que la eficiencia de distribución en las CCRR estudiadas se logra a través de la presurización de las redes de distribución. Así, los costes de inversión y mantenimiento, asociados a las infraestructuras necesarias para la distribución y presurización, son soportados por los regantes a lo largo de toda la vida útil del sistema de manera que estos costes se repercuten en el precio pagado por el agua.

4. Discusión

De la comparación de estos resultados con estudios previos, en los que se han aplicado los indicadores de desempeño para otras CCRR de España, se puede identificar que las relaciones entre indicadores y atributos de las CCRR no son directas y no pueden ser derivadas de análisis exploratorios. Respecto a los indicadores económicos que recogen los costes de manejo del sistema de la CR, Rodríguez-Díaz *et al.* (2008) y Córcoles *et al.* (2010) sugirieron que la variabilidad de estos indicadores estaba asociada al volumen suministrado a los regantes y al tamaño de la CR. Efectivamente, el volumen anual de agua de riego suministrado a los usuarios afecta a los indicadores, pero su efecto puede ser positivo o negativo cuando este es por unidad de superficie regada o por volumen de agua suministrado respectivamente. Por su parte, el tamaño de la

CR no explica los indicadores de costes de manejo del sistema según los modelos estimados, sino que explica otros indicadores como CENSr, VP y MB.

También se indica en los trabajos realizados para zonas regables de Andalucía y de Castilla-La Mancha que la variabilidad entre CCRR, sobre la base de los indicadores que recogen los costes energéticos, era debida a los requerimientos de bombeo del sistema de riego. Los resultados de este trabajo están en línea con estas afirmaciones, pero los modelos de regresión muestran que otros atributos, como el volumen de agua suministrado a los usuarios, también afectan al valor de los indicadores. Además, la eficiencia de distribución del agua de riego es un atributo a tener en cuenta por las CCRR, a la hora de explicar los indicadores de costes energéticos dada la negativa relación existente entre ellos.

Finalmente, los trabajos de Rodríguez-Díaz *et al.* (2008) y Córcoles *et al.* (2010) identificaron que las diferencias en los indicadores de eficiencia productiva (VP y MB) estaban asociadas con los sistemas de riego empleados en parcela y con la distribución de los cultivos. Sin embargo, como en este trabajo la mayoría de los regantes utilizan riego localizado y los cultivos son principalmente frutas y hortalizas, que son altamente intensivos y competitivos en los mercados, estos dos atributos no han mostrado tener un efecto explicativo sobre los indicadores. No obstante, atributos como la superficie regada, la adopción de un sistema de distribución del agua a la demanda, el volumen de agua suministrado anualmente, y la eficiencia del sistema de distribución son atributos de las CCRR que han mostrado tener un cierto grado de explicación de los indicadores de eficiencia productiva. Este resultado es coherente con las recomendaciones de Soto-García *et al.* (2013b) a los agricultores, sobre la conveniencia de requerir a las CCRR sistemas de suministro a la demanda que permitan beneficiarse de la presión del agua existente en las redes de distribución colectiva y de esta manera reducir el consumo de energía en las explotaciones.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto una metodología basada en la identificación de relaciones significativas entre los principales atributos estructurales y funcionales de las CCRR y los indicadores de desempeño. Por medio de modelos de regresión con datos de panel ha sido posible identificar estas relaciones para los indicadores más relevantes. De ellas se extrae que un número

limitado de atributos intrínsecos a las CCRR (infraestructura de distribución, utilización de agua subterránea, el sistema de distribución del agua y el tamaño de la CR) y solamente dos atributos extrínsecos (volumen de agua suministrado a los regantes y el precio de la electricidad) han sido capaces de explicar la tendencia y la variabilidad de los indicadores de desempeño económicos y productivos.

Los resultados prácticos de este trabajo permitirán mejorar la gestión de agua de riego en zonas de escasez de agua de riego y ayudar en el proceso de toma de decisiones sobre los problemas de gestión y financieros de las CCRR al resaltar las relaciones existentes entre los atributos de las CCRR y los indicadores de desempeño.

Así, de este trabajo desarrollado en 5 CCRR de la Cuenca del Segura, se puede extraer que, para el contexto de cambio climático y de escasez de agua de esta cuenca, las CCRR deberían utilizar preferiblemente un sistema de distribución del agua a la demanda, adoptar políticas de crecimiento en tamaño, que permitan incrementar las economías de escala, optimizar las redes de riego presurizadas, buscar formas negociadoras que permitan rebajas en el precio de la electricidad, tales como compras colectivas y adoptar, junto a las confederaciones hidrográficas, políticas que garanticen los recursos hídricos a los agricultores².

Es esperable que se produzcan cambios que tengan un impacto positivo sobre los indicadores de desempeño si alguna de estas acciones, bien de manera individualizada o bien con una combinación con otras, es implementada. Además, los sistemas de distribución del agua de riego que demandan grandes cantidades de energía deberán ser utilizados solamente cuando estos permitan reducir la incertidumbre y las excesivas fluctuaciones en el suministro de agua.

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida de los siguientes proyectos: SIRRIMED (FP7-FOOD-CT-2009-245159) financiado por la Unión Europea, y AGRISERVI (AGL2015-64411-R) financiado por MINECO/FEDER.

² Para la Cuenca del Segura, Alcón *et al.* (2014) identificaron que las transferencias entre cuencas y el uso de recursos alternativos eran las medidas mejor aceptadas por los agricultores para reducir la incertidumbre en el suministro.

Referencias bibliográficas

- ABADÍA, R.; ROCAMORA, M. C.; CÓRCOLES, J. I.; RUIZ-CANALES, A.; MARTÍNEZ-ROMERO, A. y MORENO, M. A. (2010): «Comparative analysis of energy efficiency in water users associations»; *Spanish Journal of Agricultural Research* (8); pp. 134-142.
- ALCON, F.; EGEA, G. y NORTES, P. (2013): «Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards»; *Irrigation Science* 31(5); pp. 931-941. doi: 10.1007/s00271-012-0369-6.
- ALCON, F.; TAPSUWAN, S.; BROUWER, R. y DE MIGUEL, M. D. (2014): «Adoption of irrigation water policies to guarantee water supply: a choice experiment»; *Environmental Science & Policy* (44); pp. 226-236. doi: 10.1016/j.envsci.2014.08.012.
- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage paper 56; pp. 300.
- ARCAS, N.; ALCÓN, F.; LÓPEZ, E.; GARCÍA, R. y CABRERA, A., eds. (2010): *Análisis del sector agrícola de la Región de Murcia. Año 2009*. Almería, Fundación Cajamar.
- BERBEL, J.; MESA-JURADO, M. A y PISTÓN, J. M. (2011): «Value of irrigation water in Guadalquivir Basin (Spain) by residual value method»; *Water Resources Management* 25; pp. 1565–1579.
- BORGIA, C.; GARCÍA-BOLAÑOS, M.; LI, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; COMAS, J.; CONNOR, D. y MATEOS, L. (2013): «Benchmarking for performance assessment of small and large irrigation schemes along the Senegal Valley in Mauritania»; *Agricultural Water Management* (121); pp. 19-26. doi: 10.1016/j.agwat.2013.01.002.
- CARM (2012): Comunidad Autónoma Región de Murcia. Disponible en <http://www.carm.es>. Acceso en enero 2013.
- CHS (2013): Confederación Hidrográfica del Segura. Disponible en <http://www.chsegura.es>. Acceso en Abril 2016.
- CÓRCOLES, J. I. (2009): *La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de Benchmarking*. Tesis Doctoral. Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha.

- CÓRCOLES, J. I.; DE JUAN, J. A.; ORTEGA, J. F.; TARJUELO, J. M. y MORENO, M. A. (2010): «Management evaluation of Water Users Associations using benchmarking techniques»; *Agricultural Water Management* 98(1); pp. 1-11. doi:10.1016/j.agwat.2010.07.018.
- EEA (2009): «Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought»; *EEA Report 2/2009*. Luxemburgo, European Environmental Agency.
- FAO (1997): «Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options»; *FAO-RAP 1997/22, Water Report Series 12*. Bangkok, Food and Agriculture Organization.
- INE (2016): *Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario. Serie 2000-2013*. Madrid, Instituto Nacional de Estadística.
- MAGRAMA (2013): Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en <http://www.magrama.gob.es>. Acceso en enero de 2013.
- MAGRAMA (2015): «Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE)»; *Informe sobre regadíos en España*. Madrid, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- MALANO, H.; BURTON, M. y MAKIN, I. (2004): «Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change»; *Irrigation Drainage* (53); pp. 119-133. doi: 10.1002/ird.126.
- MALANO, H. y BURTON, M. (2001): *Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector IPTRID*. Roma, FAO.
- MELIÁN-NAVARRO, A.; CANATARIO-DUARTE, A. y RUIZ-CANALES, A. (2010): «Aplicación de indicadores de benchmarking en comunidades de regantes. Evaluación comparativa de dos realidades de la península Ibérica»; *Riegos y drenajes XXI*(175); pp. 14-19.
- MESA-JURADO, M. A.; BERBEL, J. y ORGAZ, F. (2010): «Estimating marginal value of water for irrigated olive grove with the production function method»; *Spanish Journal of Agricultural Research* (8); pp. 197-206. doi:10.5424/sjar/201008S2-1362.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A. (2003): *Análisis de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía*. Tesis doctoral. Córdoba, Universidad de Córdoba.

- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ, L.; CAMACHO, E. y LÓPEZ, R. (2005a): «IGRA. A tool for applying the benchmarking initiative to irrigated areas»; *Irrigation and Drainage* (54); pp. 307-319.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E.; LÓPEZ, R. y PÉREZ, L. (2005b): «Los indicadores de gestión y las técnicas de benchmarking aplicados a la mejora de las comunidades de regantes»; *Ingeniería del Agua* 12(1); pp. 63-76.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E.; LÓPEZ, R. y PÉREZ, L. (2008): «Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: an application in Spain»; *Agricultural System* (96); pp. 250-259.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO-POYATO, E. y BLANCO-PÉREZ, M. (2011): «Evaluation of Water and Energy Use in Pressurized Irrigation Networks in Southern Spain»; *Journal of Irrigation Drainage Engineering* (137); pp. 644-650.
- SALVADOR, R.; MARTÍNEZ-COB, A.; CAVERO, J. y PLAYÁN, E. (2011): «Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems»; *Agricultural Water Management* (98); pp. 577-587.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCÓN, F. y MARTÍN-GORRIZ, B. (2013a): «Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain»; *Agricultural Water Management* (124); pp. 11-19. doi:10.1016/j.agwat.2013.03.019.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍN-GORRIZ, B.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCÓN, F. y MARTÍNEZ-ALVAREZ, V. (2013b): «Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain)»; *Energy* (55); pp. 1084-1093.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, V. y MARTÍN, B. (2014): *El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión*. Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura. Disponible en <http://scrats.es/>.
- ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M.; DE FRAITURE C. y MOLDEN D. J. (2010): «A global benchmarkmap of water productivity for rainfed and irrigated wheat»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1617-1627. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.018.

Conclusiones y propuestas

Conclusiones y propuestas

Julio Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín

Universidad de Córdoba

1. Introducción

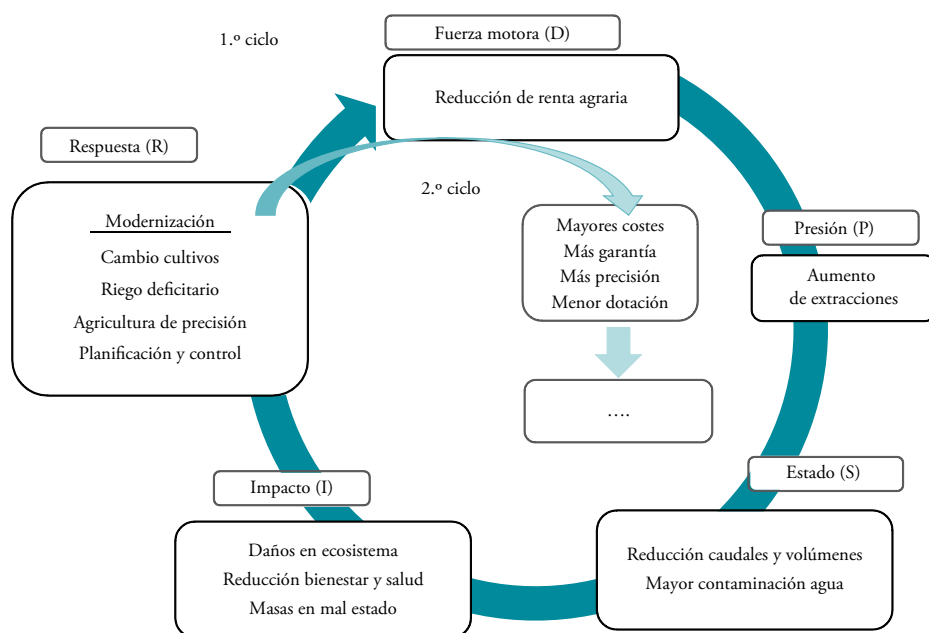
La modernización de regadíos ofrece a los agricultores un cambio de sistema que les permite aumentar la productividad de los factores: trabajo, capital, tierra y agua. Pero los impactos van mucho más lejos y en estas conclusiones vamos a repasar lo que los autores han ido desgranando en cada capítulo.

Los primeros análisis disponibles sobre el impacto de la modernización han venido del campo de la hidrología (Whittlesey, 2003) o de la agronomía (Playán y Mateos, 2006), pero faltaba la visión integradora de otras disciplinas que están presentes en este libro. La modernización de regadíos, como hemos dicho, es una medida muy compleja, que va mucho más allá de la inversión en infraestructuras y que en este libro hemos tratado de conocer.

Previamente, para entender de manera global el papel de una medida en un sistema donde interacciona el entorno natural y los usos económicos, conviene repasar el esquema de análisis que plantea la Agencia Europea de Medioambiente. El esquema de análisis se denomina Fuerzas Motrices/Presión/Estado/Impacto/Respuesta, más conocido por sus siglas en inglés DPSIR (Figura 1). El interés en plantear este modelo es llegar a comprender que la fertilización, por ejemplo, es una ‘presión’ en el sistema motivada por la necesidad de mantener la renta del agricultor (fuerza motriz). En la práctica, la fuerza motriz en agricultura se asimila a la superficie agraria, que es sobre la que se fertiliza. De este modo, conociendo la superficie agraria y las dosis de abonado, se puede cuantificar la presión, es decir tenemos un indicador. Este abonado en gran parte se retira del sistema con la cosecha a través de las extracciones realizadas por los cultivos, pero hay una parte que es disuelta por el agua de lluvia o de riego que es arrastrada o lixiviada y que acaba en las masas de agua a través de estos flujos de retorno. La presión (contaminación difusa) acaba deteriorando el estado de la masa de agua, y esto a su vez genera un im-

pacto en el medioambiente y la salud humana. Dada la dificultad de convertir ‘Presión’ en ‘Estado’ y este a su vez en ‘Impacto’, muchos análisis de la efectividad de las medidas se hacen hasta el nivel de presión. Esta es la solución pragmática que adopta por ejemplo la IPH (MARM, 2008) que plantea que en el caso de ser posible se lleve a cabo un análisis de la eficacia de las medidas a nivel de ‘impacto’, pero si esto no es alcanzable, se lleve a cabo a nivel de ‘presiones’ como sistema para analizar la eficacia de una medida, como puede ser el caso de la eficacia de la modernización de regadíos (como ejemplo, ver Tabla 1 en Capítulo 1 de este libro).

Figura 1. Esquema DPSIR para gestión de agua en una cuenca



La modernización, dentro de este esquema, es una ‘Respuesta’ al problema del mal estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua. Lo que vamos a intentar en este capítulo de conclusiones es revisar en la medida de lo posible el efecto que la modernización de regadíos ha tenido en la gestión de agua en España, tanto en relación con la mejora de los estados de las masas de agua, como con la socio-economía, mediante el análisis de lo que hemos aprendido de los cambios tanto sobre las presiones como los impactos. Berbel

et al. (2011) hacen una aplicación de este modelo de análisis y un estudio del coste-eficacia de las medidas cuantitativas en la gestión de la Cuenca del Guadalquivir, entre las que se incluye la modernización de regadíos.

2. Aumento de la eficiencia de uso del agua

Los datos económicos de inversión oscilan según el periodo analizado y la fuente que se emplea, y en este mismo libro el valor más conservador es de 3.815 millones de euros y 1,5 millones de hectáreas (Gómez-Limón y Villanueva, capítulo 3 de este libro), aunque una reciente nota de prensa del MAGRAMA (2016) eleva la cifra de superficie modernizada a 1,79 millones de hectáreas, donde la aportación pública ha sido de un 56 % y la privada de un 44 %. La estimación del coste medio de modernización por hectárea es de 6.480 euros según Alarcón (capítulo 4 de este libro). Las fuentes oficiales cifran el ahorro de extracciones en 1.925 hm³.

Esta disminución en las extracciones es posible porque el riego a presión ha aumentado en unas 1.283 mil hectáreas (de las que el 96 % es riego localizado) mientras el riego por superficie se ha reducido en unas 995.000 ha (del Campo, capítulo 5 de este libro). La consecuencia del cambio de sistemas de riego es el aumento de la eficiencia de las unidades de riego transformadas. En el caso de Andalucía, la estimación que aportan Corominas y Cuevas (capítulo 11 de este libro) es de un cambio en la eficiencia de las zonas regables desde el 65 % en 1997 hasta el 87 % en 2005. No obstante, el aumento de eficiencia a escala de cuenca puede ser diferente dependiendo del nivel de reutilización de los retornos (Mateos, capítulo 7 de este libro).

La Unión Europea está muy interesada en el aumento de la eficiencia de los recursos, (Comisión Europea, 2011). No obstante, hay que entender que la eficiencia no es un fin en sí mismo sino, en nuestro esquema, una medida (respuesta) al deterioro ambiental en general. Pasamos entonces a ver la evidencia que los autores que han colaborado en este libro han aportado para conocer la reducción de presiones e impactos que la modernización ha permitido alcanzar.

3. Ahorro de extracciones

Con el capital invertido y el cambio tecnológico producido, el resultado en términos de eficiencia es muy importante en lo que respecta a ahorros brutos (reducción en las extracciones de agua). En la Tabla 1 se observan

algunas de las estimaciones que aparecen en este libro. El promedio de las observaciones está en un 33 % de reducción sobre la cifra de extracciones anterior a la modernización.

Tabla 1. Ahorro de extracciones

Región/Cuenca	Muestra	Ahorro de extracciones (%)	Fuente
Guadalquivir	36.000 ha	-30	Berbel <i>et al.</i> (2015)
Andalucía Occidental	90.000 ha	-25	Borrego y Berbel (cap. 14)
Andalucía	1.100.000 ha	-33	Corominas y Cuevas (cap. 11)
CA Valenciana	60 CCRR	-40 a -60	García-Mollá <i>et al.</i> (cap. 16)
Júcar (Acequia Real Júcar)	35.000 ha	-45	Estrela (cap. 15)
Tájo (Canal Estremera)	2.903 ha	-39	del Campo (cap. 5)
Ebro (varias CCRR)	+/- 200.000 ha	-3 a -24	del Campo (cap. 5)

Fuente: varios autores capítulos 5, 11, 14, 15 y 16 de este libro.

En el esquema de análisis que hemos planteado, la reducción de las extracciones es una mejora por una disminución de las presiones. Estas menores extracciones tienen, de entrada, varios efectos positivos: mejora la garantía de suministro (el agua se queda en el acuífero o en el embalse), aumenta el caudal ecológico, ya sea de aguas superficiales o subterráneas, mejora la resiliencia y adaptación al cambio climático y aumenta la productividad del recurso. En cuanto al aumento de garantía, hay pocos trabajos que cuantifiquen este tema, que necesita una mayor atención y que hemos dejado fuera de este libro por falta de espacio y por su complejidad. Berbel *et al.* (2011) estiman que la modernización reduce la ‘brecha’ de garantía del Guadalquivir en 320 hm³ sobre los 500 hm³ que se estimaban en el Plan Hidrológico del 2010, lo que da una idea del impacto de la medida en la mejora de la garantía de una cuenca. No obstante, como ya se ha venido diciendo en este libro, la reducción de las presiones (ahorro en el uso de agua bruto) no se traduce directamente en reducción del impacto (consumo neto o ETP), medida esta mucho más difícil de conocer y de la que hablaremos más adelante.

Una de las claves está en el aumento de superficie derivada del aprovechamiento de los ahorros. Playán y Mateos (2006) señalan el riesgo potencial de aumento, pero las observaciones de Berbel *et al.* (2015) indican una cierta reducción de la superficie regada en las CCRR estudiadas del Guadalquivir. García-Molla *et al.* (capítulo 16 de este libro) detallan reducciones del área

regada en Valencia que llegan al 20 % en los últimos 10 años en algunos municipios, donde solo el 10 % de las 60 entidades entrevistadas experimentaron una expansión del área regada, mientras el resto permaneció estable o se redujo. Sin embargo, la modernización de regadíos no ha ayudado a aliviar la presión sobre los recursos hídricos subterráneos (Esteban *et al.*, capítulo 7 de este libro).

No obstante, en zonas donde todavía quedan recursos de agua que permiten más regadío, el aumento de la superficie de riego y del consumo puede ser perfectamente asumible cuando no se deterioran las masas de agua vinculadas. Esta situación existe actualmente en muchas regiones de Europa, incluidas algunas zonas de España.

4. Reducción de abonado y mejora de la calidad de los retornos

Volviendo al esquema DPSIR, la fertilización es una ‘presión’ que se transforma en un impacto cuando los nutrientes terminan en las masas de agua en lugar de ser extraídos con la cosecha. No hay mucha información al respecto, pero repasando los datos que aporta Estrela (capítulo 15 de este libro) vemos que el cambio de sistema que permite la modernización tiene varios efectos que favorecen una mayor eficacia del abonado. Estos son:

- *Frecuencia de abonado*: pasamos de abonar dos o tres veces al año en el sistema tradicional a abonar todos los días que sea necesario por medio de la fertirrigación.
- *Localización*: el abonado está concentrado en el ‘bulbo’ de la zona húmeda y es tomado rápidamente por las plantas, existiendo menos posibilidades de arrastre y lixiviados que en un sistema tradicional.

La consecuencia de esta mejora es una reducción de abonado que en el caso de la Acequia Real del Júcar suponen un ahorro de un 27 % menos de nitrógeno por hectárea. Esta cifra es razonable y podemos pensar que puede ser un buen estimador de los ahorros que en general permite la modernización.

La reducción de presión (menos fertilizante por hectárea), unida a la reducción de los retornos y a una mejora de la eficiencia del sistema agrario, nos llevan a una reducción del impacto en las masas de agua por contaminación difusa. Aunque ningún autor aporta datos al respecto en este libro, podemos

tomar la referencia de García-Garizábal y Causapé (2010), que estiman, para el análisis del efecto de la modernización en una zona regable del Ebro (Canal de las Bardanas con 15.500 ha), una reducción de retornos del 88 %, desde los 362 mm/ha anteriores a 45 mm después de modernizar. Estos retornos arrastran una carga contaminante menor, que se evalúa en una reducción de los nitratos y de las sales vertidas de un 50 % respecto a la situación previa.

Si extrapolamos los datos referidos a los nitratos, la reducción de un 24 % de la presión (menor fertilizante aplicado), se convierte en una reducción de contaminación difusa por nitratos exportados a las masas de agua, que pasa a ser un menor impacto de aproximadamente un 50 % respecto a la situación previa.

Estrela (capítulo 15 de este libro) recoge los resultados de un modelo de simulación aplicado a la Demarcación Hidrográfica del Júcar que estima que la modernización aporta una reducción del exceso de nitrógeno aplicado en toda la demarcación del orden del 10,5 %.

5. Aumento del valor añadido por la agricultura

En las zonas modernizadas donde no se ha producido aumento de superficie, condición que es la situación más frecuente en España, normalmente hay un cambio de cultivos hacia aquellos de mayor valor. Este fenómeno se detecta claramente a escala de cuenca con el aumento de cítricos y olivar en riego que comentan Corominas y Cuevas (capítulo 11 de este libro), así como los datos que muestran los trabajos que se resumen en Castillo *et al.* (capítulo 13 de este libro), donde se muestra que en las zonas modernizadas aumentan las superficies de cítricos, hortícolas, olivar y otros, mientras principalmente disminuyen algodón, maíz, remolacha, cereales y alfalfa.

Este cambio tiene como consecuencia un aumento del valor de la productividad de la tierra en el área encuestada del 6,6 % en términos reales (Tabla 4 del capítulo 13). Este aumento de valor es moderado y no refleja la potencialidad a medio plazo, ya que los valores de productividad apuntados en el caso de los cítricos están subvalorando el efecto de la modernización.

Por otra parte, en el análisis de Castillo *et al.* (capítulo 13 de este libro) se llega a la conclusión de que en las zonas modernizadas no ha existido un aumento de los rendimientos físicos como consecuencia de la modernización, lo que contrasta con trabajos realizados en el Ebro (Lecina *et al.*, 2010), que detectan aumentos de rendimientos sobre todo en maíz, que se explican por

la situación de infradotación y riegos deficitarios existentes previa a la modernización en la zona estudiada (riegos del Alto Aragón).

Camacho *et al.* (capítulo 9 de este libro) determinan que la productividad aparente del agua por metro cúbico usado se ha llegado a duplicar en algunas zonas, mientras que el mismo indicador respecto al agua consumida lo ha hecho en menor medida. Si los rendimientos físicos después de la modernización no se han visto alterados, la variación en la productividad aparente del agua consumida solo puede deberse al cambio de cultivos, y su incremento implicaría que se ha cambiado hacia cultivos con mejor relación agua-beneficio.

Un dato muy importante que ponen de manifiesto Castillo *et al.* (capítulo 13 de este libro) respecto a las razones del cambio de cultivo, es que solo el 33 % de los agricultores de zonas modernizadas declaran que la razón del cambio es la propia modernización, siendo el resto de justificaciones las previsibles de ‘mercados y PAC’.

6. Aumento del coste del agua y tarificación volumétrica

Puede parecer paradójico que incluyamos el ‘aumento del coste del agua’ como consecuencia principalmente del incremento en los costes energéticos y los costes de amortización de las actuaciones de modernización, como una faceta positiva. Evidentemente no lo es, en la medida que supone una menor renta de los agricultores. Sin embargo, la Comisión Europea, en diversos documentos, que empiezan con el Artículo 9 de la Directiva Marco de Agua y siguen con el informe que examina el primer ciclo de planificación hidrológica (Comisión Europea, 2015), insiste en la necesidad de aplicar un mayor nivel de precios en el agua, por lo que esta política de precios que está planteada como requisito para la financiación con fondos FEADER (ver Gómez-Limón y Villanueva, capítulo 3 de este libro) en cierto modo puede servir como justificación económica de cara a determinados sectores.

Pero desde nuestro punto de vista, el cambio de paradigma hacia el pago por consumo que permiten los contadores implantados es una medida mucho más eficaz que el aumento de tarifas de riego por el sistema tradicional de tarifa plana. Para una gestión sostenible del recurso va a ser muy importante que se haya implantado en todas las áreas modernizadas una medición de los volúmenes aplicados. Esto permite la tarificación volumétrica y en sí mismo es un cambio de paradigma frente al modelo tradicional de ‘tarifa plana’ (pago por superficie). Si tenemos en cuenta que más de 1,5 millones de hectáreas

han implantado sistemas de medición, el cambio que garantiza la modernización es muy importante y permite un control por el agricultor del uso de agua que antes no era técnicamente posible.

Una vez que dejamos claro que el control volumétrico es una gran aportación, vamos a resumir las evidencias en cuanto al aumento de costes que la modernización ha provocado. García-Mollá *et al.* (capítulo 16 de este libro) estiman para la Comunidad Valenciana un aumento de los costes del regadío del 80 %, de 515 euros/ha antes de la modernización, a 927 euros/ha tras la misma. Por su parte, Borrego y Berbel (capítulo 14 de este libro) estiman que el aumento en Andalucía ha sido de un 128,30 %, de 149 euros/ha antes de la modernización a 339 euros/ha después de la misma, aunque Camacho *et al.* (capítulo 9 de este libro) apuntan incrementos más moderados, que oscilan desde el 8 % y el 118 % según la comunidad de regantes analizada en el Guadalquivir. En el caso andaluz, el aumento relativo de coste es mayor por partir de un coste bajo al abastecerse todas las CCRR de agua superficial, mientras que el incremento es proporcionalmente más reducido en Valencia por usar muchas de las CCRR aguas subterráneas o mixtas, partiendo de un coste muy superior.

No obstante, este aumento de precio del agua no puede incidir significativamente en la demanda en las zonas donde el recurso es más escaso y valioso, ya que el valor marginal del agua es en muchos de los sistemas estudiados superior a 1 euro/m³ (y valores medios de productividad todavía superiores) y, en consecuencia, estos incrementos no afectan a la demanda de los riegos de las zonas más problemáticas (sur de España), sino que van directamente contra la renta de los agricultores. Otro caso sería el analizar qué ocurre en los riegos de cultivos menos productivos en zonas donde el agua es más abundante.

7. Cambios en la gestión de las zonas regables y los agricultores

Los cambios socioeconómicos son probablemente una cuestión clave que ha sido la menos estudiada. Desde este punto de vista hay pocas referencias en la literatura, aunque este libro aporta varios elementos de gran relevancia. Castillo *et al.* (capítulo 13 de este libro) han detectado que los cambios de cultivos hacia una mayor intensidad están correlacionados con los agricultores más jóvenes y emprendedores de la muestra. Pero quizás el dato más interesante es que la modernización aparece como la causa del cambio de cultivo en

1/3 de los encuestados, mientras los restantes se justifican en base a la PAC y los mercados.

Esto tiene una doble lectura. Por una parte, la modernización aparece como el motor del cambio hacia mayor valor añadido y precisamente los agricultores más emprendedores son los que protagonizan ese cambio. Esto hace pensar que la modernización tendrá efecto de catalizador del cambio a medio plazo, cuando el peso de los emprendedores en las zonas regables se haga más presente. Por otra parte, los posibles incrementos en el consumo de agua por el cambio de cultivos no deben ser atribuidos únicamente a la modernización, dado que 2/3 de los encuestados revelan que el cambio viene motivado por los mercados o la PAC.

La mejora de la calidad del servicio del agua es la razón que han alegado un tercio de los agricultores que manifiesta que ha cambiado cultivos debido a la modernización. El cambio consiste en que, frente a unos turnos de riego inciertos y una campaña que comenzaba tradicionalmente en mayo y terminaba en septiembre, se pasa a un sistema de riego a la demanda y de precisión y con una campaña extendida de riegos que permite apoyar los cultivos leñosos y hortícolas en caso de primaveras y otoños secos. Esta mejora en la calidad del servicio del agua de riego es por tanto una de las causas que explica el aumento del valor añadido de los productos que se detecta las zonas modernizadas.

García-Mollá *et al.* (capítulo 16 de este libro) han detectado algunas fusiones y reorganizaciones en CCRR pequeñas que se han agrupado a raíz de la modernización. Este factor es importante y hace que se gane competitividad en estas instituciones, aunque su impacto se notará también a medio y largo plazo.

Por último, y aunque no se ha mencionado anteriormente, la mayor complejidad de la gestión de CCRR modernizadas ha inducido a una profesionalización de la gestión con la incorporación de técnicos (ingenieros agrónomos) para la optimización del sistema donde los nuevos equipos e infraestructura y los altos costes de energía aconsejan la presencia constante de un profesional del sector. De nuevo, las consecuencias de este cambio no se van a poder percibir hasta pasado unos años, pero es evidente que es un factor positivo en el desarrollo rural de las áreas transformadas.

La modernización de regadíos conlleva una serie de mejoras para el bienestar de los agricultores más allá del posible aumento de rentas por el mejor aprovechamiento del agua. Así, del Campo (capítulo 5 de este libro) nos describe como entre estas ventajas se encuentra la automatización y la telegestión del

regadío, además de la mayor generación de empleo. A esta misma conclusión llegan Borrego *et al.* (capítulo 14 de este libro) a través de unas encuestas realizadas a gerentes de comunidades de regantes, quienes constatan la mejora de la calidad del trabajo de los agricultores y por tanto de la calidad de vida, aunque no pudieron confirmar el incremento en la contratación de mano de obra.

8. Un último comentario

Muchos trabajos de investigación como este libro terminan esta sección con una frase que se repite con frecuencia y que es la siguiente: «por tanto la conclusión de esta investigación es que es necesario seguir investigando». Pues bien, este es, en cierto modo, nuestro caso, aunque también es cierto que hemos avanzado mucho sobre el conocimiento de los cambios que la modernización produce a corto plazo en los sistemas agrarios, y su entorno natural y socioeconómico, y los autores que han participado en este volumen han contribuido a aclarar dudas y a integrar las distintas disciplinas que se requieren en la comprensión de esta medida.

Nuestra visión de los cambios es muy positiva ya que se han ahorrado las extracciones de unos volúmenes de agua muy importantes (un 33 % de media en las zonas analizadas), este ahorro ha quedado a disposición de las cuencas para dotarse de mayor garantía y resiliencia frente al cambio climático y las sequías, y que van a permitir asegurar los caudales ecológicos y la mejora cuantitativa de muchas masas. Asimismo, la reducción del impacto de los vertidos de sales y nutrientes a las masas de agua que arrastran los retornos de las zonas de riego se van a reducir en un 50 % frente a las zonas no modernizadas, reduciendo también las aportaciones de fertilizantes un 25 % aproximadamente.

Estas mejoras ambientales son ya visibles a corto plazo, pero la modernización va a permitir que haya cambios a medio y largo plazo derivadas del cambio de cultivos hacia otros de mayor valor, la profesionalización de los agricultores y las CCRR, o la posibilidad de incorporar técnicas de riego de precisión.

Aunque hay incertidumbres, creemos que este libro ha aportado un conocimiento muy valioso que esperamos que sea útil para nuestro país y el resto de regiones del mundo que hacen frente a la escasez de agua como uno de los mayores limitantes del desarrollo social, económico, y humano.

Referencias bibliográficas

- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a spanish case study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678. doi:10.1007/s11269-014-0839-0.
- BERBEL, J.; MARTÍN-ORTEGA, J. y MESA, P. (2011): «A cost-effectiveness analysis of water-saving measures for the Water Framework Directive: The case of the Guadalquivir River Basin in Southern Spain»; *Water Resources Management* 25(2); pp. 623-640. doi:10.1007/s11269-010-9717-6.
- COMISIÓN EUROPEA (2011): *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A resource-efficient Europe - Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy*. Bruselas, Comisión Europea.
- COMISIÓN EUROPEA (2015): *Report on the implementation of the Water Framework Directive River Basin Management Plans. Member State: Spain*. Bruselas, Comisión Europea.
- GARCÍA-GARIZÁBAL, I. y CAUSAPÉ, J. (2010): «Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows»; *Journal of Hydrology* 385(1); pp. 36-43. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.002.
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E. y ARAGÜÉS, R. (2010): «Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón»; *Agricultural Water Management* 97(10); pp. 1663-1675. doi:10.1016/j.agwat.2010.05.023.
- MAGRAMA (2016): Presentación de la Jornada *Evaluación Ambiental, Directiva Marco del Agua y Cambio Climático en relación con el regadío*. Nota de prensa. Descargada de http://www.mapama.gob.es/es/prensa/161026bnieto Jornadaregadiodirectivamarcoaguaycambioclimatico_tcm7-435614_noticia.pdf.
- MARM (2008): ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica; pp. 38472-38582. BOE.
- PLAYÁN, E. y MATEOS, L. (2006): «Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity»; *Agricultural Water Management* 80(1-3); pp. 100-116. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.007.

WHITTLESEY, N. (2003): «Improving irrigation efficiency through technology adoption: when will it conserve water?»; *Developments in Water Science* (50); pp. 53-62. doi:10.1016/S0167-5648(03)80007-2.

REFERENCIA CURRICULAR DE LOS AUTORES

Alarcón Cabañero, Juan José (La Roda, Albacete, 1965) es profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC) en Murcia. Después de defender en 1992 su tesis doctoral en la Universidad de Murcia, realizó un período de estancia posdoctoral durante 2 años en el *Horticulture Research International* en Inglaterra. Posteriormente, desde el año 1994, ha desarrollado su tarea investigadora en el Departamento de Riego del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), dedicando su trabajo al estudio de las relaciones hídricas de las plantas bajo condiciones de estreses ambientales propias del área mediterránea (salinidad y sequía), así como a la optimización del uso del agua en la agricultura. Los resultados obtenidos en ambas líneas de trabajo están avalados por más de 90 artículos en revistas de alto índice de impacto. Ha participado en numerosas conferencias internacionales relacionadas con «La mejora en la eficiencia del uso del agua por medio de la aplicación de prácticas agronómicas» y actualmente dirige un equipo de investigación formado por 20 componentes que tiene como objetivo fundamental el desarrollo y validación de nuevas estrategias y técnicas de riego sostenible. En esta línea de investigación hay que destacar que ha coordinado tres proyectos europeos del 6.º y 7.º Programa Marco. Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura desde 2012, es también coordinador del grupo de acción de «Agua y Agricultura» de la Plataforma Tecnológica del Agua en España.

Correo electrónico: jalarcon@cebas.csic.es.

Alarcón Luque, Javier (Madrid, 1964) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid (2014); especializado en economía y gestión del agua y de los recursos naturales, regadíos, valoración agraria, valoración de activos naturales y servicios ambientales, catastro y evaluación de proyectos e inversiones. Ha participado en diversos trabajos de investigación para el CEDEX, Tragsatec, el CSIC, la Universidad Rey Juan Carlos o la Universidad Autónoma de Madrid. También ha trabajado en consultoría para la Gerencia de Catastro de Madrid y algunas empresas privadas. Ha sido profesor, entre otros, de la Universidad Carlos III de Madrid y actualmente es profesor de Máster en la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. Ha publicado varios artículos en revistas indexadas de prestigio, mayormente sobre economía y gestión del agua en el regadío;

y, sobre este mismo tema, en 2015 obtuvo un premio de investigación otorgado por el Consejo Económico y Social de la provincia de Jaén.

Correo electrónico: jalarconluque@gmail.com.

Albiac Murillo, José es PhD y MSc en Economía Agraria por la Universidad de Illinois y economista por la Universidad de Zaragoza. Trabaja como investigador en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (Gobierno de Aragón) y está especializado en economía del medioambiente y de los recursos naturales, políticas agraria y medioambiental, gestión de los recursos hídricos, regadío, acuíferos y protección de ecosistemas, contaminación difusa y escasez de agua, sequías y cambio climático.

Correo electrónico: maella@unizar.es

Alcón, Francisco (Alhama de Murcia, 1976) es profesor titular en el Departamento de Economía de la Empresa de la Universidad Politécnica de Cartagena, en Murcia. Ingeniero agrónomo de formación, ha realizado sus estudios de doctorado en economía agraria, centrándose en la economía del agua y de las innovaciones. Sus principales campos de trabajo abarcan distintos aspectos dentro del ámbito de la economía del regadío, sus políticas de gestión y los beneficios ambientales, además de la evaluación económica de innovaciones, la gestión del agua de riego y la adopción de tecnologías. También ha complementado su formación en distintas universidades de Australia, Reino Unido y Holanda y ha participado en numerosos proyectos de investigación tanto europeos como nacionales, publicando más de una treintena artículos en revistas científicas y de divulgación y participando asiduamente en los congresos nacionales e internacionales de economía agraria. Entre las distinciones recibidas figura el premio al mejor artículo del año en la *European Review of Agricultural Economics* o el premio a la investigación de mayor calidad otorgado por la Sociedad Australiana de Economía Agraria y de los Recursos Naturales.

Correo electrónico: francisco.alcon@upct.es.

Avellà Reus, Llorenç (Alicante, 1953) es ingeniero agrónomo (1984) y doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia. Es catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia desde 2003 y miembro del Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego de la UPV. Ha participado en más de 50 convenios de investigación subvencionados,

dirigido 10 tesis doctorales y más de 60 publicaciones referenciadas. Su actividad investigadora se ha centrado en el mercado de la tierra, cambios de uso de la tierra, mercado de trabajo agrario y en economía de los recursos naturales, en especial en materia de aguas.

Correo electrónico: lavella@esp.upv.es.

Berbel Vecino, Julio (Jerez de la Fra. 1961) es catedrático de la Universidad de Córdoba, doctor ingeniero agrónomo y Máster (M. A.) Agricultural Economics (1986). Su actividad reciente se ha centrado en la economía agraria y ambiental y ha participado activamente en la implementación de la Directiva Marco de Aguas en España y Europa así como en la elaboración de Planes Hidrológicos de Demarcación. Ha asesorado a la Comisión Europea y la EEA. En su producción académica destacan la publicación de más de 100 publicaciones internacionales y 50 proyectos y convenios de investigación y la dirección de 17 tesis doctorales. En su actividad profesional ha participado en la gestión de empresas agroalimentarias (QUASH, SA, Bodegas Nueva Andalucía, Mercacordoba) y de gestión ambiental. Actualmente lidera el grupo de investigación 'Water, Environmental, Agricultural Resources Economics' (PAIDI 110) y es miembro del patronato de la Fundación para la Economía Circular.

Correo electrónico: berbel@uco.es

Borrego Marín, María del Mar (Utrera, 1980) es licenciada en Economía por la Universidad de Sevilla, Máster en Investigación de Gestión y doctora en Administración y Dirección de Empresas por la Universidad Pablo de Olavide. Ha trabajado durante los últimos 10 años en distintas demarcaciones hidrográficas como asistencia técnica en la elaboración de los planes hidrológicos. Sus funciones como economista ambiental han estado vinculadas a la implementación de la Directiva Marco de Agua, analizando los instrumentos económicos necesarios para su aplicación. Desde hace un año es profesora en el Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica de la Universidad Pablo de Olavide. En el campo de la investigación ha participado en dos proyectos del Departamento de Economía, Sociología y Política Agraria de la Universidad de Córdoba, de donde han surgido la mayoría de sus publicaciones.

Correo electrónico: mmbormar@upo.es.

Camacho Poyato, Emilio es ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (1990) y doctor ingeniero agrónomo por la misma universidad (1994). En la actualidad catedrático de Hidráulica y Riegos. Tiene una experiencia de 25 años en la docencia universitaria, investigación y consultoría. Las líneas de investigación incluyen: ingeniería de riego; optimización de las redes de distribución de agua; gestión de recursos hídricos; indicadores de gestión y *benchmarking*; la huella hídrica, el riego de precisión y el ahorro energético, las TIC en el riego. El año 1999 obtuvo el I premio Unicaja de investigación agraria por el trabajo «Modelo estacional de optimización del riego por surcos» y en 2008 el X premio Unicaja de Investigación Agraria por el trabajo «Gestión sostenible del agua de riego». Mejor trabajo en el VI Iberian Congress of Agroengineering (2011) por el trabajo «Irrigation networks management using environmental indicators». Director del curso de experto en Gestión del riego y de Comunidades de Regantes en la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), cursos 2009/10, 2011/2012 y 2013/2014 y 2015/2016 subdirector de Ordenación Académica de la ETSIAM (Universidad de Córdoba desde 2008 hasta 2016), en la actualidad director del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba. Participa en numerosos cursos, seminarios y conferencias. Colaborador de forma activa en actividades de divulgación científica. Autor de más de 45 artículos de investigación y más 100 contribuciones a congresos. Director de 10 tesis doctorales y más de 160 trabajos fin de carrera y tesis de máster. Ha participado en más de 30 proyectos de investigación y en más de 35 contratos con empresas. Cofundador de una empresa de base tecnológica en la Universidad de Córdoba.

Correo electrónico: aglcapoe@uco.es.

Castillo Quero, Manuela (Córdoba, 1961) es doctora ingeniera agrónoma por la Universidad Politécnica de Madrid (1990). Ha sido profesora titular de Economía Agraria en la Escuela de Ingenieros Agrónomos de esta universidad y desde 1997 profesora titular en el Departamento de Economía Agraria de la Universidad de Córdoba, donde actualmente ejerce su actividad docente e investigadora. Ha investigado y publicado en los campos de: mercados agrarios; efectos de aplicación de políticas agrarias europeas en distintos sectores agrícolas y ganaderos; dinámica de la pluriactividad y agricultura a tiempo parcial; eficiencia productiva en

sistemas cárnicos extensivos; y políticas de agua y mercados de agua en la agricultura.

Correo electrónico: manuela.castillo@uco.es.

Corominas Masip, Joan (Tarragona, 1946) es ingeniero agrónomo, especialista en Hidrogeología, Regadíos y Planificación Hidrológica. Su vida profesional se ha desarrollado en Andalucía en la Administración, tanto estatal como andaluza, en temas relacionados con el agua, los regadíos, las infraestructuras, la gestión de los recursos naturales y el medioambiente, a lo largo de 40 años. Ha sido director general, y posteriormente presidente del Instituto Andaluz de Reforma Agraria (1987-1991), período en el que se aplicó la Ley de Reforma Agraria y se elaboró el Plan Forestal Andaluz. Ha sido director-gerente de la Agencia Andaluza del Agua, desde su creación en 2005 hasta mayo de 2008, habiendo participado activamente en el proceso de las transferencias de los medios y servicios de las cuencas internas de Andalucía y del Guadalquivir. Desde el año 2000 hasta el 2005 ha sido secretario general de Aguas, habiendo impulsado la gestión del agua, especialmente en el ámbito urbano, la prevención de avenidas e inundaciones en el marco de la ordenación territorial, y la participación social y difusión de una nueva cultura del agua, acorde con los principios de sostenibilidad. Inició en 1972 los trabajos hidrogeológicos de captación de aguas en el acuífero de Almonte-Marismas, con la perforación de más de 450 sondeos profundos, y continuando con la transformación en regadío de esta y otras zonas. Posteriormente se responsabilizó de la planificación y gestión de regadíos e infraestructuras agrarias en Andalucía. Coordinó los trabajos de retirada de los lodos vertidos por la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar, que llevó a cabo la Junta de Andalucía en 1998. Ha sido responsable del Plan de Regadíos de Andalucía 1996-2005, del Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía, y de la elaboración de la Agenda del Regadío Andaluz H-2015. Ha participado en numerosos congresos y foros de debate sobre temas del agua, colaborando en la construcción de una nueva cultura del agua, siendo autor de múltiples publicaciones sobre el agua y los regadíos. Es promotor de la Fundación para la Nueva Cultura del Agua y actualmente vicepresidente de la misma.

Correo electrónico: joan.corominas@ono.com.

Crespo Estage, Daniel (Zaragoza, 1983) es graduado en Economía y Máster en Economía por la Universidad de Zaragoza. Actualmente es estudiante de doctorado en Economía por la Universidad de Zaragoza en la Unidad de Economía Agraria del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (Gobierno de Aragón). Su especialización se centra en economía del medioambiente, desarrollo de modelos hidroeconómicos, gestión de recursos hídricos, valoración de ecosistemas y análisis de políticas medioambientales.

Correo electrónico: crespo976@hotmail.com.

Cuevas Navas, Rafael es ingeniero agrónomo (1984) ha desarrollado en el sector público andaluz la mayor parte de su actividad profesional centradas en las áreas de regadíos fundamentalmente, y ciclo urbano del agua. Fue codirector del Estudio Hidrológico de Andalucía elaborado en 1986, que constituye el primer análisis y balance de situación del sector hídrico, soporte y precursor de los Planes Hidrológicos de Cuenca de Sur de España y Guadalquivir de 1998 en los que participó de forma activa. En su etapa de la Agencia Andaluza del Agua (2002-2010) ha sido responsable del impulso de los planes hidrológicos de las demarcaciones correspondientes a las cuencas mediterráneas y atlánticas andaluzas, planes especiales de sequía, delimitación de zonas inundables y programas de infraestructuras del ciclo urbano del agua. Tuvo una intervención muy activa en el equipo de coordinación del Acuerdo Andaluz por el Agua participando en la redacción y discusión de la Ley de Aguas de Andalucía. En el área de regadíos formó parte de equipo de redacción del Plan de Regadíos de Andalucía y Plan Litoral (1996), así como el inventario de regadíos de Andalucía de 1997, y sus respectivas actualizaciones de 2002 y 2008. En la actualidad diseña una nueva actualización. Más recientemente, ha participado en el debate con organizaciones y regantes de la Agenda de Regadíos de Andalucía horizonte-2015 interviniendo en los ajustes finales del documento. Actualmente trabaja como asesor técnico en materia de regadíos en la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.

Correo electrónico: rafael.cuevas@juntadeandalucia.es.

de Miguel Gómez, María Dolores es ingeniera agrónoma, de la especialidad de economía agraria por la Universidad de Córdoba y doctora ingeniera agrónoma por la Universidad Politécnica de Valencia. Becaria del INIA y

del Banco de España. Profesora y catedrática de la Escuela Universitaria en la Universidad Politécnica de Valencia. Catedrática de la Escuela Universitaria en la EUITA de la Universidad Politécnica de Madrid. Catedrática de la Universidad del área de Economía, Sociología y Política Agraria en la Universidad Politécnica de Cartagena. Ha sido directora del Departamento de Organización de Empresas y Comercialización. Directora de la ETSIA de la Universidad Politécnica de Cartagena. Directora general de Investigación de la Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Comisionada del rector para la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres en la UPCT. Nombrada por la ANECA presidenta de la Comisión de Arquitectura e Ingeniería, grupo de trabajo MECES, 2014. Ha participado y ha sido responsable de proyectos de concurrencia competitiva, tanto nacionales como internacionales. Su investigación ha estado centrada en: economía de la producción agraria; optimización y eficiencia en la producción; análisis de costes y precios; estudios sectoriales; innovación tecnológica; competitividad de empresas agraria; economía del agua; adopción y difusión de las tecnologías de riego y estudios de género. Correo electrónico: md.miguel@upct.es.

del Campo García, Andrés es ingeniero agrónomo desde 1976 (ETSIA, Universidad de Córdoba) y agricultor, administrando explotaciones propias y de terceros incluso en otros países. Presidente de la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE) desde 1996. Fundador y presidente de la asociación internacional «Euro-Mediterranean Irrigators Community» (EIC), desde 2002, que agrupa a asociaciones de regantes de los países de Europa y norte de África. Presidente de la Comunidad de Regantes del Pantano del Guadalquivir de Córdoba desde 1985. Miembro del Consejo Nacional del Agua y de su Comisión Permanente y cofundador del «Foro del Agua» y del «Foro Agrario» de Madrid. Vocal de la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y cofundador de FERAGUA (Federación Andaluza de Comunidades de Regantes) de Sevilla. Director y empresario del *consulting* Laboratorios Agrotecnicos (A&C) de Córdoba desde 1976, con asesoramiento directo a las explotaciones agrarias basado en todo tipo de técnicas analíticas (suelo, aguas, planta, semillas, etc). Autor de numerosos proyectos de regadío e instalaciones agroindustriales. Ponente en numerosos foros, congresos y jornadas técnicas nacionales e internacionales. Como distinciones hono-

ríficas: Título de Encomienda de Número de la Orden al Mérito Agrario desde 2001 y colegiado de honor del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Andalucía desde 2008.

Correo electrónico: presidente@fenacore.org.

Embid Irujo, Antonio es doctor en Derecho por la Universidad de Zaragoza con premio extraordinario de doctorado (1977). Profesor en distintas categorías de la Universidad de Zaragoza desde 1974, ha sido también catedrático de la Universidad de Valencia (1987-1989). Becario de las Fundaciones Juan March (1980) y Alexander von Humboldt (1981-1982); amplió estudios en el Max Planck Institut für Ausländisches, Öffentliches Recht und Völkerrecht en Heidelberg (República Federal de Alemania). Presidente de las Cortes de Aragón entre 1983-1987. Ha sido miembro de la Comisión Jurídica Asesora del Gobierno de Aragón (1996-2010) y del Consejo Consultivo de Aragón (desde 2010 hasta la actualidad). Ha dirigido 17 tesis doctorales y ha sido investigador principal en 13 proyectos de investigación obtenidos en concurrencia competitiva. Autor de numerosos libros y artículos en revistas de referencia. Especializado en organización territorial del Estado, derecho de la enseñanza, libertades públicas, derecho de aguas, derecho ambiental y derecho público económico. Ha obtenido 3 doctorados honoris causa (de las universidades argentinas Nacional de Cuyo, Mendoza y Nacional de Salta en 2008, 2009 y 2012, respectivamente) y es Gran Cruz de la Orden de Alfonso X el Sabio (2007).

Correo electrónico: aembid@unizar.es.

Esteban Gracia, Encarna (Teruel, 1982) es licenciada en Economía por la Universidad de Zaragoza (2004), MSc en Economía Agraria y de los Recursos Naturales por la Universidad de Connecticut, EEUU (2008) y doctora en Economía por la Universidad de Zaragoza (2010). En la actualidad es profesora ayudante doctor en el Departamento de Análisis Económico de la Universidad de Zaragoza. Su investigación versa sobre la economía ambiental y de los recursos naturales, especialmente sobre temas de gestión de los recursos hídricos. Ha publicado fundamentalmente sobre la gestión y control de las aguas subterránea y su relación con los ecosistemas acuáticos. En los últimos años ha trabajado en la modelización de ecosistemas y en el análisis de su comportamiento así como en temas de economía política y gestión de los recursos naturales. Hasta la

actualidad ha participado en numerosos proyectos de investigación tanto a nivel nacional como internacional, ha publicado 10 artículos en revistas indexadas, 6 artículos en revistas de divulgación y ha participado en 7 capítulos de libro nacionales e internacionales.

Correo electrónico: encarnae@unizar.es.

Estrela Monreal, Teodoro (Valencia, 1960) es ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Valencia, UPV (1984) y doctor ingeniero de Caminos, C. y P. por la UPV (1992). Los primeros años de su vida profesional trabajó en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX donde fue coordinador técnico-científico del Área de Hidrología y colaboró con el Centro Temático Europeo de Aguas Continentales de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Ha sido subdirector general de Planificación y Uso Sostenible del Agua del Ministerio de Medio Ambiente de 2005 a 2009, siendo responsable de la implementación de la Directiva Marco del Agua en España y posteriormente, de 2009 a 2012, director adjunto de la Confederación Hidrográfica del Júcar. En la actualidad y desde 2012 es jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica Júcar. Desde 2004 es también profesor asociado de universidad (con acreditación a profesor titular, 2015) en el Área de Ingeniería Hidráulica de la UPV. Ha codirigido 5 tesis doctorales y es autor de numerosas publicaciones científicas y técnicas. Es secretario técnico permanente de la Red Mediterránea de Organismos de Cuenca desde 2003 y miembro de la Iniciativa en Gobernanza del Agua de la OCDE desde 2013. En 2014 fue nombrado presidente del Comité de Agua y vicepresidente del Consejo Mundial de Ingenieros Civiles. En la actualidad es editor jefe (interinamente) de la revista científica *Journal of Applied Water Engineering and Research (JAWER)* publicada por la «International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR)» y el Consejo Mundial de Ingenieros Civiles.

Correo electrónico: testrela@chj.es; teoesmon@hma.upv.es.

Expósito García, Alfonso (Andújar, 1976) es doctor en Economía por la Universidad de Sevilla (2002), siendo una de sus líneas de trabajo e investigación la economía del agua. Formó parte del grupo de economistas del proyecto WATECO «Economics and The Water Framework Directive» representando a la C. H. Guadalquivir en 2003 y ha participado en diversos proyectos nacionales dedicados al análisis económico del agua,

destacando el «Informe sobre Análisis Económico del uso del agua según la Directiva Marco de Aguas 2000/60/CE» y «Evaluación de la política de modernización de regadíos en un contexto de cambio climático: Análisis del presente y escenarios de futuro de cuencas del sur de España». Actualmente es profesor del Departamento de Análisis Económico de la Universidad de Sevilla. Sus trabajos en el análisis microeconómico del agua se han publicado en revistas de ámbito nacional e internacional.

Correo electrónico: aexposito@us.es.

García Mollá, Marta (Murcia, 1969) es ingeniera agrónoma en la especialidad de Economía Agraria (1994) por la Universidad Politécnica de Valencia y doctora ingeniera agrónomo por la misma universidad. Actualmente es profesora titular de universidad en la Facultad de Dirección y Administración de Empresas y miembro del Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego de la UPV. Ha desarrollado su actividad investigadora en materia de planificación y política hidráulica, ha publicado más de 30 artículos en revistas científicas nacionales e internacionales y capítulos de libro. Asimismo ha participado en 18 proyectos de investigación y de consultoría relacionados con la economía y la gestión del agua en la agricultura.

Correo electrónico: mgarmo@esp.upv.es.

Gómez-Limón, José A. (Córdoba, 1968) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (1996). Ha sido profesor titular y catedrático de Economía Agraria en la Universidad de Valladolid desde 1998 hasta 2009. Ha sido igualmente investigador titular en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (2009-2011). Actualmente es catedrático del Departamento de Economía Agraria en la Universidad de Córdoba. Hasta la fecha ha desarrollado una intensa actividad docente e investigadora en temas de Economía y Política Agraria. Esta labor que generado una gran cantidad publicaciones: 11 libros, más de un centenar de artículos en revistas internacionales y nacionales, y más de 50 capítulos en diferentes libros colectivos. Además ha sido investigador principal de 18 proyectos de investigación financiados en convocatorias competitivas. En relación a la temática de este libro cabe destacar su labor como coordinador nacional de la Red Científica de Economía del Agua de Riego (ECORIEGO, 2007-2008), y del proyecto «Diseño de nuevos mercados de agua para España: Evaluación como medidas para la mejora de la eficiencia en su uso y la adaptación al cambio

climático» (MERCAGUA, 2014-2018), ambos financiados por el Plan Nacional de Investigación y Ciencia, así como su labor como editor de los libros titulados *La economía del agua de riego en España* (2009) y *Los mercados de agua en España: Presente y perspectivas* (2016), ambos publicados por Cajamar Caja Rural.

Correo electrónico: jglimon@uco.es.

Gutiérrez-Martín, Carlos (Córdoba, 1977) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (2013). Formó parte del Grupo de Análisis Económico del Agua del Ministerio de Medio Ambiente durante la primera fase de implementación del análisis económico de la Directiva Marco del Agua. Actualmente es profesor contratado doctor del Departamento de Economía Agraria en la Universidad de Córdoba. Su actividad investigadora se ha desarrollado en el ámbito de la economía agraria y de los recursos naturales, y más concretamente en la economía del agua. Ha participado de diversos proyectos nacionales y europeos, así como en publicaciones, tanto artículos como capítulos en libros colectivos en el ámbito nacional e internacional.

Correo electrónico: carlos.gutierrez@uco.es.

Intrigliolo Molina, Diego es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia. Llevó a cabo los trabajos de investigación de su Tesis Doctoral en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) bajo la dirección del Dr. JR Castel. Evaluó en el ciruelo japonés técnicas de riego deficitario controlado y la utilidad de sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. Posteriormente disfrutó de una beca posdoctoral MEC-Fulbright en Cornell University (NY, EEUU). Dicha estancia le permitió adquirir conocimientos más fisiológicos sobre la respuesta de los cultivos leñosos a los factores ambientales que pueden limitar la productividad de las plantaciones. La formación adquirida sirvió para, posteriormente, diseñar nuevas estrategias de riego mejor integradas con el resto de prácticas de cultivo y de manejo de los huertos frutales. Tras este periodo se reincorporó al IVIA con un contrato Ramón y Cajal trabajando en la optimización del riego y otras prácticas de cultivo en la vid, además de determinar pautas para un manejo óptimo del riego en cultivos emergentes (kaki, granado y níspero). Desde el año 2014 es científico titular del Consejo Superior de Investigaciones Cien-

tíficas (CSIC) trabando en el Centro de Edafología y Biología del Segura (CEBAS) y ha comenzado su labor de investigación en temas relacionados con: 1) prácticas agronómicas para incrementar la eficiencia en el uso del agua de los cultivos leñosos y 2) técnicas de cultivo en la vid para optimizar la producción y la calidad de la uva y del vino en ambientes cálidos y semiáridos.

Correo electrónico: dintri@cebas.cisc.es.

Martín Górriz, Bernardo (Mora de Rubielos, Teruel, 1965) es ingeniero agrónomo (1990) y doctor ingeniero agrónomo (1999) ambos por la Universidad Politécnica de Valencia. Es profesor titular de universidad (acreditado por ANECA para catedrático de universidad, 2014) del área de Ingeniería Agroforestal en la Universidad Politécnica de Cartagena, donde imparte docencia desde el año 1999. Ha desarrollado su actividad investigadora en el área de Ingeniería Agroforestal y, en relación con la temática del libro, ha investigado en materias de análisis de regadíos mediante indicadores de gestión, estrategias adaptativas de la agricultura al cambio climático y evaluación del nexo agua-energía-carbono en sistemas agrícolas. Ha publicado más de 30 artículos en revistas indexadas y capítulos de libro, habiendo participado en numerosos proyectos de ámbito europeo, nacional y regional.

Correo electrónico: b.martin@upct.es.

Martínez, Victoriano (Madrid, 1971) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid, con premio extraordinario de doctorado 1999 y Máster en Hidrología General y Aplicada por el CEDEX. Es catedrático de universidad del área de Ingeniería Agroforestal, con docencia en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Cartagena. Su actividad investigadora se desarrolla en el campo de la gestión de recursos hídricos en la agricultura, particularmente en el estudio de los regadíos del sureste español, la estimación de pérdidas de agua por evaporación en balsas y embalses, la aplicación de técnicas para su mitigación y, más recientemente, la incorporación de agua marina desalinizada a los sistemas agrícolas. Ha realizado estancias de investigación predoctorales en universidades en EEUU y Canadá, y posdoctorales en Australia. Ha participado en numerosos proyectos de investigación de convocatorias públicas de ámbito europeo, nacional y regional, habiendo sido investigador principal en seis de ellos.

Cuenta con 34 artículos publicados en revistas listadas en el ISI-JCR y 6 tesis doctorales dirigidas. En el campo de la transferencia de tecnología ha desarrollado 30 contratos con distintas empresas e instituciones y es socio de la empresa de base tecnológica FutureWater. Ha desempeñado diferentes cargos de gestión universitaria durante 17 años. Desde 2014 es director del Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Correo electrónico: victoriano.martinez@upct.es.

Mateos, Luciano es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba, es investigador científico en el Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Córdoba. Fue investigador posdoctoral en el CSIRO (Australia) y «Research Fellow» de la OCDE en las Universidades de California y Nebraska. Su especialización es la agricultura de regadío, particularmente la ingeniería, hidrología y gestión de los sistemas de riego, desde la escala de la parcela a la de grandes cuencas. Su labor investigadora se desarrolla principalmente en Andalucía pero también en otros países en colaboración con universidades y centros de investigación de Estados Unidos, Australia, Brasil, Argentina y la Unión Europea. Buena parte de su actividad es en países en desarrollo, principalmente de África Subsahariana. Ha sido experto invitado en FAO (Roma) y consultor de agencias internacionales de cooperación para el desarrollo. Actualmente es «global fellow» del Robert B. Daugherty Water for Food Global Institute (Universidad de Nebraska).

Correo electrónico: aglmainl@uco.es.

Montesinos Barrios, María del Pilar (Madrid, 1966) es doctora ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (1995). Profesora de la Universidad de Córdoba desde abril de 1992, pasando por diferentes figuras docentes hasta septiembre de 2002 en que ocupa la plaza de profesora titular de Universidad en el área de Ingeniería Hidráulica. Ha sido investigadora visitante en la Universidad de Lancaster (Reino Unido) (octubre 1998-octubre 1999) trabajando en modelación hidrológica. Su investigación se centra en el campo de la Ingeniería Hidráulica, principalmente en el análisis, diseño y operación de los sistemas de distribución de agua a presión, en particular la optimización del nexo agua-energía en el regadío, mediante procedimientos heurísticos multiobjetivo, incorporando ener-

gías renovables; así como en modelación hidrológica y gestión de recursos hídricos, ligada al concepto de la huella hídrica de los productos agrícolas. Esta actividad está avalada por más de 30 publicaciones en revistas internacionales, 24 capítulos de libros, 2 libros, aparte de numerosas publicaciones de ámbito nacional destinadas a la divulgación y transferencia de la investigación. Investigadora en más de 30 proyectos de investigación y contratos de investigación con empresas (nacionales e internacionales) siendo responsable de 5 de ellos.

Correo electrónico: pmontesinos@uco.es.

Rodríguez Díaz, Juan Antonio (Córdoba, 1974) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (2004). En el año 2008 ingresó en el área de Ingeniería Hidráulica del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba como investigador del Programa Ramón y Cajal y actualmente es profesor contratado doctor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes de dicha universidad. Anteriormente fue investigador visitante en la Universidad de Cranfield (Reino Unido) (2005-2006) e investigador en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (2007-2008). Su principal línea de investigación se centra en la optimización del nexo agua-energía en el regadío, mediante la integración de los conceptos del riego de precisión, optimización de la gestión de las redes de distribución y la incorporación de las energías renovables. Es autor de más de 60 publicaciones en revistas científicas y 17 participaciones en libros y capítulos de libros. Ha participado en 35 proyectos de investigación y transferencia de tecnología a escala nacional e internacional, siendo responsable en 8 de ellos.

Correo electrónico: jarodriguez@uco.es.

Sanchis Ibor, Carles (Valencia, 1970) es licenciado en Geografía e Historia por la Universidad de Valencia (1993), doctor en Geografía por la Universidad de Valencia (1998) y Máster en SIG por la Universitat de Girona (2001). En la actualidad es investigador del Centro Valenciano de Estudios del Riego de la Universidad Politécnica de Valencia, donde trabaja desde el año 2000. Desde 2001 es también profesor asociado del Departamento de Geografía de la Universitat de Valencia. Su actividad investigadora se ha desarrollado en dos ámbitos: por un lado, en torno al estudio de los espacios regados, desde perspectivas históricas y de políticas de

gestión, y por otro, sobre la geomorfología fluvial. Ha participado como investigador en proyectos de investigación financiados en 4 convocatorias competitivas nacionales y en 3 europeas. Ha codirigido 2 tesis doctorales y es autor de más de 64 publicaciones entre artículos en revistas científicas nacionales e internacionales y capítulos en libros. También es autor de 4 libros y editor de otros 2. Asimismo, ha participado en 14 contratos de consultoría y asistencia técnica con varias administraciones españolas. Es además vocal del patronato de la Fundación Assut para la protección y defensa de los regadíos tradicionales y humedales del Mediterráneo.

Correo electrónico: csanchis@hma.upv.es.

Soto García, Mariano (Torre Pacheco, 1972) es doctor ingeniero agrónomo experto en regadío. Desde 1996 presta sus servicios en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, donde ha sido autor de los proyectos de modernización y de reutilización, participando en la implantación de las TIC en esta comunidad de regantes. Actualmente se encarga de la dirección técnica, incluida la optimización del consumo energético y control de la reutilización. Es profesor asociado de la Universidad Politécnica de Cartagena desde 2005 en el Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola y miembro del grupo de investigación Diseño y Gestión en Agricultura de Regadío. También, es autor de varios artículos y capítulos de libros, y ha participado en diferentes congresos relacionados con el regadío.

Correo electrónico: mariano.soto@crcc.es.

Villanueva, Anastasio J. es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (2014). Actualmente trabaja en dicha universidad como investigador contratado. Ha trabajado en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (2010-2015), disfrutando de una beca/contrato F.P.I. Ha realizado estancias de investigación posdoctoral en el Scotland's Rural College (Reino Unido) en 2015 y predoctorales en la Università di Bologna (Italia) en 2013 y 2014. Previamente trabajó en la Ud. de Prospectiva de la Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía (2008-2010). Su actividad investigadora se enmarca fundamentalmente en el ámbito de la economía agraria y ambiental, habiendo colaborado en varios proyectos de investigación europeos y nacionales que han fructificado en diversos artículos en revistas

internacionales y nacionales. En relación a la temática de este libro, cabe destacar su colaboración en los proyectos «PROVIDing smart DELivery of public goods by EU agriculture and forestry» (PROVIDE, 2015-2018, del H2020) y «Diseño de nuevos mercados de agua para España: Evaluación como medidas para la mejora de la eficiencia en su uso y la adaptación al cambio climático» (MERCAGUA, 2014-2018, del Plan Nacional de Investigación y Ciencia).

Correo electrónico: ajvillanueva@uco.es.

