



38

Monografías

# El regadío en el Mediterráneo español

## Una aproximación multidimensional

Alberto Garrido  
Alejandro Pérez-Pastor  
(coordinadores)



**El regadío en el Mediterráneo español**  
**Una aproximación multidimensional**



# **El regadío en el Mediterráneo español**

## **Una aproximación multidimensional**

**Alberto Garrido**  
**Alejandro Pérez-Pastor**  
**(Coordinadores)**



---

## El regadío en el Mediterráneo español. Una aproximación multidimensional

© 2019 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores

© 2019 de la edición: Cajamar Caja Rural

**Edita:** Cajamar Caja Rural

*www.publicacionescajamar.es*

*publicaciones@cajamar.com*

**ISBN-13:** 978-84-95531-93-3

**Depósito Legal:** AL-8-2019

**Diseño y maquetación:** Beatriz Martínez Belmonte

**Imprime:** Masquelibros

**Fecha de publicación:** marzo de 2019

© **Imagen de cubierta:** Gettyimages (Alfredo Maiquez; Photodisc)

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 .....	9
Introducción .....	13
<i>Alejandro Pérez-Pastor y Alberto Garrido</i>	
Capítulo 1. Clima presente y futuro en la región mediterránea.....	19
<i>Belén Rodríguez-Fonseca</i>	
Capítulo 2. Evolución de los sistemas agrarios mediterráneos intensivos: usos del agua y de la tierra (2000-2016) .....	35
<i>M. Hernández y A. F. Morote</i>	
Capítulo 3. Impactos ambiental, social y económico de la modernización de regadíos en España.....	57
<i>Julio Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín</i>	
Capítulo 4. Productividad física del agua y la tierra. Estrategias agronómicas para optimizar la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes de los sistemas agrarios intensivos .....	77
<i>Diego S. Intrigliolo, A. Pérez-Pastor y A. Quiñones</i>	
Capítulo 5. La productividad económica en los sistemas agrarios intensivos del Mediterráneo .....	97
<i>Javier Calatrava y David Martínez-Granados</i>	
Capítulo 6. Uso de la energía en el regadío. Medidas de ahorro energético y energía solar fotovoltaica para el suministro de riego.....	125
<i>Juan Antonio Rodríguez Díaz</i>	
Capítulo 7. Sostenibilidad de los sistemas agrarios mediterráneos.....	145
<i>Assumpció Antón</i>	
Capítulo 8. Uso intensivo del agua en la agricultura de las cuencas mediterráneas: aspectos económicos e hidrológicos .....	159
<i>Carles Sanchis-Ibor, Manuel Pulido-Velazquez, Hector Macián-Sorribes, Patricia Marcos-García, Marta García-Mollá y Martín Ruiz-Rodríguez</i>	
Capítulo 9. Innovación y cambio tecnológico en los sistemas agrarios intensivos mediterráneos.....	181
<i>Pedro Gavilán, Natividad Ruiz y David Lozano</i>	





# Presentación

*La disponibilidad de agua dulce en el planeta se mantiene estable a lo largo del tiempo y, a través de los distintos procesos que componen su ciclo, el agua puede transformarse y transportarse, lo que influye en la disponibilidad territorial de la misma.*

*Sin embargo, se trata de un recurso finito, escaso en muchas regiones y que debe emplearse para satisfacer distintos usos. Los más importantes de ellos, en términos cuantitativos, son los de carácter ambiental; en segundo lugar los de carácter productivo, destacando de entre ellos, especialmente, el empleo en la producción agraria; y por último, los que necesitamos las personas para vivir.*

*El equilibrio entre estos tres usos se ha mantenido sin grandes conflictos durante la mayor parte de la historia de la humanidad. Sin embargo, con el fuerte crecimiento de la población y de las necesidades de alimentos, para poder satisfacer sus demandas, se están generando un mayor estrés y diversos conflictos entre territorios y colectivos.*

*El regadío ha sido una tecnología utilizada desde antiguo por el hombre para poder cultivar y producir alimentos en territorios donde las condiciones naturales eran difíciles para el desarrollo de las plantas.*

*Con el paso del tiempo, el ingenio y la inquietud de los regantes, impulsados por las crecientes necesidades de la sociedad, han ido perfeccionando las tecnologías empleadas. Y con ello se ha ido expandiendo la superficie de regadío.*

*A lo largo del último siglo, la población de la Tierra se ha multiplicado por cuatro, pasando de menos de 2.000 millones de personas a principios del siglo XX a los casi 8.000 millones que somos en la actualidad. Y durante este periodo, la proporción de alimentos producidos se ha incrementado en mayor medida, ya que progresivamente se está consiguiendo una mayor ingesta media y se están dando pasos importantes para reducir el número de personas malnutridas.*

*Para poder conseguir este salto cuantitativo tan importante, los avances dados han sido muy diversos. La mejora genética, la lucha contra las plagas y enfermedades, la aportación de nutrientes a los cultivos y la mecanización son algunas de las medidas que nos han permitido ser más productivos.*

*Pero sin ningún lugar a dudas, el regadío ha sido una de las piezas clave. Actualmente 320 millones de hectáreas se cultivan utilizando sistemas de irrigación, lo que viene a representar un 20 % de los 1.600 millones de hectáreas totales dedicadas a la agricultura en todo el mundo. Y en dicha superficie se obtiene el 40 % de todos los alimentos producidos.*

*Entre 1950 y la actualidad, la superficie de regadío mundial ha pasado de 100 a 320 millones de hectáreas. Y según la FAO, en los próximos 30 años habrá que aumentar en más de un 50 % la producción de alimentos sin que haya disponibilidad de más tierras de cultivo. Por tanto, el regadío se vuelve a presentar como una de las principales soluciones para este reto, siendo conscientes que solo se podrá incrementar el consumo total de agua en un 10 %.*

*Durante este periodo seguirá produciéndose el desplazamiento de la población desde las zonas rurales a las urbanas y se mejorarán los sistemas públicos de saneamiento y distribución de agua. El recurso será empleado cada vez más lejos de las fuentes de suministro, y la mayor densidad poblacional y de las actividades comerciales e industriales a ella asociadas presionará al alza el consumo y la contaminación que todo ello provoca.*

*Y al mismo tiempo, mejores niveles de renta y el deseo de disponer de una mayor calidad de vida introduce una elevada preocupación por el medioambiente y una demanda hacia los servicios ecosistémicos que facilita.*

*Sin lugar a dudas, la ecuación a la que tenemos que buscar una solución es compleja: más personas, más demanda de alimentos y de bienes, mayor valor de los servicios ambientales y la misma cantidad de agua. Pero con una mayor variabilidad en su ciclo de vida como consecuencia de las incertidumbres que introduce el cambio climático.*

*Las respuestas tendrán que ser múltiples y exigirán de la colaboración y de la búsqueda de consenso entre todos los intereses implicados. Se trata de una necesidad global y habrá que actuar de manera global. Y para ello, la mejora continua de las tecnologías disponibles y el establecimiento de sistemas de gobernanza que integren a todos los agentes serán algunas de las medidas a adoptar.*

*Para Cajamar Caja Rural, la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos ha sido una preocupación permanente. Y en la medida de nuestras posibilidades hemos trabajado en la búsqueda de soluciones.*

*Nuestra fuerte implicación en el sector agroalimentario ha hecho que una parte importante de nuestros trabajos se hayan orientado hacia la mejora de los sistemas de regadío, pero siendo muy conscientes que los demás usos requerían también de la necesaria atención y de propuestas de actuación.*

*En nuestra evolución hacia la búsqueda de la sostenibilidad estamos poniendo en marcha una incubadora de empresas de alta tecnología para la gestión de los recursos hídricos. A través de ella queremos fomentar y apoyar las ideas e iniciativas que ayuden a mejorar la disponibilidad del recurso.*

*Uniendo la capacidad emprendedora, el conocimiento generado en nuestras universidades y centros tecnológicos, y las necesidades de los diferentes usuarios podremos aportar una pequeña gota de agua ante este gran reto al que nos enfrentamos.*

*Las líneas de trabajo que desarrollaremos serán muy diversas y buscamos abordar el asunto desde un enfoque lo más integral posible. Trabajaremos en optimizar y reducir el consumo, en conocer mejor la disponibilidad, en ser más eficientes en el almacenamiento y la distribución, en conseguir nuevas fuentes de suministro, en depurar y reutilizar las aguas contaminadas, en reducir el impacto energético vinculado al agua y en promover el empleo de las energías renovables. Y abordaremos asuntos transversales como la utilización de las posibilidades, que ofrecen las tecnologías digitales, y mejorando los sistemas de gobernanza.*

*Y en esa misma línea de realizar aportaciones, desde el conocimiento y el debate constructivo, hemos editado numerosas publicaciones con las que solo pretendemos generar documentos que nos ayuden a seguir avanzando.*

*Con este sentido presentamos el actual trabajo, coordinado de forma magistral por los profesores Alberto Garrido y Alejandro Pérez, a los que nos une una estrecha y larga relación, y en el que han aglutinado la participación de 20 profesionales de reconocido prestigio para dar una visión actualizada y con perspectiva de futuro del papel que juega el regadío y su modernización en la producción de alimentos. Todo ello basado en el contexto geográfico del Mediterráneo español, pero con una clara vocación de extraer enseñanzas que sean trasladables a otros territorios.*

*A todos ellos queremos mostrarle nuestro más sincero agradecimiento y la felicitación por el trabajo realizado.*

*Entendemos el regadío como una tecnología que permite gestionar los recursos hídricos para hacer uso de ellos en el momento y el lugar necesarios para conseguir aumentar la producción de alimentos. Del uso que hagamos de la tecnología dependerán los resultados que obtengamos para la humanidad. Y está dentro de nuestra ambición poder aspirar a conseguir, gracias al regadío, una sociedad mejor, tanto desde el punto de vista económico como social y medioambiental.*

Roberto García Torrente  
*Director de Innovación Agroalimentaria  
Cajamar Caja Rural*

# Introducción

*Alejandro Pérez-Pastor<sup>a</sup> y Alberto Garrido<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Universidad Politécnica de Cartagena y <sup>b</sup>Universidad Politécnica de Madrid

El desarrollo de la agricultura mediterránea tiene como factor limitante no solo la gestión del agua destinada para riego, sino también la disponibilidad de este escaso recurso. Dado que, por término medio, la productividad de la tierra en regadío es del orden de cinco veces superior a la de secano (el regadío español produce en torno al 65 % de la producción agrícola bruta, utilizando para ello menos del 20 % de las tierras labradas), la presión de la demanda para riego y otros usos agudiza la escasez.

Desde hace años se ha señalado la necesidad de implementar nuevas políticas de control y modernización que permitan no solo ahorrar agua, sino optimizar el uso de este preciado recurso. Todas estas políticas deberían tener en cuenta el potencial de las nuevas tecnologías, para asegurar la viabilidad social, económica y ambiental del regadío. La gestión del agua en la zona mediterránea, en términos de reutilización y modernización de regadíos, es de las más avanzadas del mundo, con un porcentaje de reutilización del agua que llega a ser del 95 % en Murcia, destinándose el 42 % a las comunidades de regantes para su aprovechamiento directo y el 52 % restante para mantener el caudal ecológico de los ríos.

Con respecto a la modernización de regadíos, considerado como principal objetivo para conseguir una agricultura más competitiva, el sistema de riego que más ha crecido en los últimos años ha sido el localizado, en detrimento del riego por superficie, promoviendo un descenso del 10 % del agua consumida, a pesar del ligero aumento de la superficie (7 %). Dicha modernización incrementa la disponibilidad del agua en parcela y, a su vez, la eficiencia tanto en la distribución como en la aplicación, siendo en mayor medida con el uso del riego localizado (goteo y aspersión). Aunque, también, sigue existiendo un margen de mejora con la aplicación de nuevas tecnologías y estrategias, como es el caso del riego por goteo subterráneo y el deficitario controlado, respectivamente, que pueden suponer importantes ahorros de agua y nutrientes.

Otra línea de actuación es el cubrimiento de balsas de riego, para minimizar la evaporación del agua embalsada.

La agricultura mediterránea siempre se ha caracterizado por disponer de una elevada tecnología y eficiencia productiva. Términos que, junto a la sostenibilidad, tratan de hacerse valer en el contexto agrícola mundial y más aún en zonas caracterizadas por una climatología árida o semiárida. En un contexto de necesidad de incrementar la producción de alimentos, pero con una disponibilidad de recursos cada vez de menor cuantía y calidad, y todo ello acentuado por el efecto sobre nuestra agricultura que pudiera tener el cambio climático, tales como el aumento de la temperatura, el crecimiento del CO<sub>2</sub> ambiental o la reducción del agua de lluvia, cobra especial importancia el desarrollo y la adopción de tecnologías. La labor de adaptación al cambio climático requiere medidas urgentes y herramientas que permitan una mejor gestión de esta nueva amenaza a la agricultura mediterránea, todas ellas derivadas de la investigación y transferencia, con una fuerte base del uso de nuevas tecnologías, que permitan la obtención de nuevas variedades más resistentes al estrés hídrico, el asesoramiento técnico al agricultor y la automatización del riego a través del uso de indicadores del estado hídrico del suelo y la planta.

Por otro lado, España exportó en 2016 frutas y hortalizas frescas, y también transformadas, por valor de 14.075 millones de euros, un 3 % más que en 2015 y un 22 % más que la media de los años 2011-2014. Estos datos sitúan al hortofrutícola como el primer subsector exportador dentro del conjunto del agroalimentario. Más del 50 % de la producción española de frutas y hortalizas está destinada al mercado exterior, principalmente la UE, donde se vende el 93 %. Además, España es el primer exportador comunitario y uno de los tres principales del ámbito mundial, junto con China y Estados Unidos.

Por todo ello, la agricultura mediterránea, dado sus excepcionales recursos agrícolas, podría y debería desempeñar un papel clave para garantizar la seguridad alimentaria a la población mundial. Con este panorama, es importante describir la situación actual del sector en esta zona desde distintos puntos de vista, tal y como se pretende hacer con la elaboración de este libro.

El volumen se estructura en 9 capítulos, además de esta introducción, todos ellos han sido redactados con una vocación clara de permitir una lectura fácil y un tono divulgativo para cualquier lector, sea cuál sea su ámbito profesional o de especialización.

En el **Capítulo 1**, Rodríguez-Fonseca explica el funcionamiento global del clima, las causas de su variabilidad, que tiene no una, sino diversas dimensiones temporales, y termina resumiendo cómo se espera que sea el clima mediterráneo en el futuro. La autora escribe que «las proyecciones climáticas regionales realizadas sobre la península ibérica, muestran una tendencia general a una disminución de la precipitación media en todas las estaciones del año, con una bajada del 30 %». Además, afirma que en el Mediterráneo podrían mermar las precipitaciones de invierno y aumentar las de verano, aunque existe mucha variación en los modelos.

En el **Capítulo 2**, Hernández y Morote nos ofrecen un estudio detallado de los cambios en el uso del suelo en la región Mediterránea española entre 2000 y 2016. Con una perspectiva de análisis geográfico, tanto físico como humano y económico, los autores nos muestran una realidad mutante y de fuerte dinamismo, en buena medida estimulada por la fuerte productividad económica (y social, en razón a la intensa utilización del factor trabajo) y el carácter exportador de las producciones. El capítulo no esconde los retos que deben afrontar el sector y, sobre todo, las administraciones para fortalecer la regulación y la gestión del agua, como recurso básico y fundamental de esa realidad tan dinámica y productiva.

En el **Capítulo 3**, Berbel y Gutiérrez-Martín analizan, desde la perspectiva ambiental, social y económica, la política de modernización de regadíos. De entre los 12 indicadores, que pueden ofrecer un diagnóstico multidimensional de esta importantísima política agraria y del agua, caben destacar: el ahorro de las extracciones del agua (entre un 25 y un 33 %); la intensificación de los cultivos, lo que ha ocasionado un crecimiento del valor añadido de la producción; la reducción del abonado de los cultivos, por la vía de la precisión y control de las aplicaciones; el aumento importante del coste del agua (hasta del 150 %) y el uso de tarifas volumétricas y la profesionalización de las tareas de gestión del agua.

El sistema intensivo de producción mediterráneo tiene, sin duda, unas características singulares, al menos desde la perspectiva del flujo de energía y de nutrientes, que lo distinguen de otros tipos de agriculturas. Esta cuestión diferenciadora es el objeto del **Capítulo 4**, elaborado por Intrigliolo, Pérez-Pastor y Quiñones. Proporcionando las bases técnicas y científicas del funcionamiento del sistema intensivo mediterráneo, los autores describen una serie de estudios de caso, en los que se muestra el margen de mejora en la eficiencia debido, entre otros, a una mejor gestión de los nutrientes, al riego deficitario

controlado o a la gestión del cultivo. Se aprecia con estos ejemplos que, en modo alguno, debe pensarse que la eficiencia es un parámetro invariable; pues las ganancias de eficiencia energética y de los nutrientes, aunque graduales, con el tiempo alcanzan valores muy considerables. Se pone así de manifiesto la importancia de la investigación básica y aplicada, como un aspecto esencial para asegurar la continuidad del sector y mejorar su adaptabilidad al cambio climático y a la escasez de agua.

Examinar la productividad económica y social de los principales factores de producción (tierra, agua y mano de obra) para los principales cultivos de la cuenca del Segura y de la provincia de Almería es el objetivo del **Capítulo 5**, de Calatrava y Martínez-Granados. Demuestran sus autores que la productividad media de la tierra y del agua es notablemente superior en los frutales no cítricos que en los hortícolas al aire libre, lo que se atribuye al esfuerzo de transformación, tanto en lo relativo a la reconversión varietal como en lo relativo al manejo del agua de riego. Las mayores productividades del factor trabajo corresponden a los cultivos en invernadero, seguidos de los hortícolas al aire libre, los frutales no cítricos y, finalmente, los cítricos. En cuanto a la rentabilidad social de los recursos hídricos, que son el principal factor limitante de la actividad agraria en el sudeste, los valores calculados de uso de mano de obra por volumen de agua oscilan entre 18 UTA/hm<sup>3</sup> para la alcachofa y 187 UTA/hm<sup>3</sup> para determinados cultivos en invernadero, muy superiores a la media nacional para el regadío. Los autores concluyen que la productividad total de los factores, calculada a partir de la ratio entre ingresos totales y costes totales para cada cultivo, es superior a 1,4 en muchos de ellos.

El **Capítulo 6**, realizado por Rodríguez Díaz, incorpora la perspectiva del uso y el balance de energía. El autor nos muestra el aumento del consumo de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a la modernización de los regadíos y al uso de redes presurizadas. Ante el crecimiento del consumo de energía nos propone realizar: a) auditorías energéticas, b) sectorización de la red de distribución, c) control de puntos críticos y d) optimización de la estación de bombeo. Finalmente, resume los resultados del proyecto ‘Riego Solar Inteligente’ donde, empleando energía solar fotovoltaica, consigue que todos los sectores de una parcela experimental de olivar de 13,4 ha recibieran su dotación hídrica programada, logrando además evitar la emisión de 1,32 t CO<sub>2</sub> eq durante la campaña de riego de 2013, equivalente a 603 horas de riego; todo ello en una instalación que se puede amortizar entre 3 y 6 años.



Analizar la sostenibilidad de los sistemas productivos mediterráneos es una necesidad que tiene dimensiones y perspectivas, tanto globales como locales. Las globales son obvias y se relacionan con la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera; mientras que las locales se vinculan con la escasez de recursos y la contaminación. El **Capítulo 7**, escrito por Antón, quien asigna a la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) el mayor potencial y relevancia, para cuantificar la sostenibilidad ambiental de una actividad productiva o producto, con la salvedad de que para evaluar el uso del suelo, la autora recomienda la pérdida potencial de especies como indicador alternativo. Las perspectivas para España confirman que nuestro país está al límite, y en algunas regiones se ha superado ya, de lo que la sostenibilidad de los usos de recursos recomendaría. En el caso del agua, las demarcaciones de Andalucía Mediterránea, Ebro, Guadalquivir, Turia, Júcar-Serpis, Segura y Vinalopó alcanzan 90 m<sup>3</sup> equivalentes planetarios por cada m<sup>3</sup> utilizado para riego<sup>1</sup>, niveles que se consideran muy elevados. Concluye analizando el papel de la eficiencia productiva, la incorporación del concepto ambiental como un aspecto más de la producción, la comunicación y el ecoetiquetaje, la posibilidad y el peligro de comparar diferentes resultados sobre productos diferentes descontextualizados y las oportunidades de mejora.

El **Capítulo 8**, realizado por Sanchís-Ibor, Pulido-Velázquez, Macián-Sorribes, Marcos-García, García-Mollá y Ruiz-Rodríguez, aborda la perspectiva conjunta de los aspectos económicos e hidrológicos de la agricultura en las cuencas mediterráneas. De un lado, nos muestran que los ahorros de los consumos unitarios del agua, alcanzados por la implantación del riego por goteo tienen como contrapartida el efecto rebote, consistente en el aumento de la superficie regada. Se pone en duda, de este modo, que las mejoras y la adopción de tecnologías produzcan ahorros netos de agua, al menos desde la perspectiva del balance hídrico de la cuenca. Al mismo tiempo, los intercambios de derechos de uso o los trasvases de agua son objeto de discusión, concluyendo los autores que tienen poco recorrido y potencial para responder al reto de la escasez de agua en la región mediterránea, salvo el caso mencionado de la conexión Negratín-Almanzora. No es así, por el contrario, el diagnóstico sobre la capacidad de aportes de recursos de las aguas desaladas y otros no convencionales, citando, por ejemplo, el reciente proyecto de construcción,

<sup>1</sup> BOULAY, A. M.; BARE, J.; BENINI, L. *et al.* (2018): «The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)»; *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23(2); pp. 368; <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>.

mediante una completa financiación privada, de una planta desaladora en Escombreras abastecida por energía fotovoltaica.

La obra se cierra con el **Capítulo 9**, de Gavilán, Ruiz y Lozano, dedicado a la innovación y al cambio tecnológico en los sistemas agrarios intensivos mediterráneos. Tras resumir algunos de los avances científico-técnicos más importantes en la reciente historia de la técnica del riego y del uso del agua en la irrigación, los autores se detienen a explicar el proyecto de mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Natural de Doñana. Las mejoras en eficiencia demostradas son indiscutibles en el caso del cultivo del fresón, pero los autores no olvidan que existen barreras y dificultades para implantar los sistemas más eficientes en las explotaciones agrarias no experimentales. Sin duda, el papel de las administraciones o centros públicos de investigación, como el IFAPA de Andalucía, es esencial para realizar estos proyectos científico-técnicos, con fuerte contenido en demostración y divulgación.

## Agradecimientos

Los coordinadores agradecen al Observatorio del Agua de la Fundación Botín la realización del seminario que sirvió para reunir a los autores de los distintos capítulos en un foro de análisis y debate interdisciplinar de los problemas más acuciantes de la agricultura mediterránea intensiva.

Asimismo, agradecen a la directora de la Cátedra Cajamar-UPM de Economía y Política Agraria, Isabel Bardají, así como a los miembros de la Comisión de Seguimiento de la misma por parte de Cajamar, Roberto García Torrente y David Uclés, tanto por el apoyo económico, para realizar el seminario y editar este volumen, como por las aportaciones y sugerencias para su organización.

# Clima presente y futuro en la región mediterránea

*Belén Rodríguez-Fonseca*

Universidad Complutense de Madrid  
e Instituto de Geociencias, UCM, IGM, CSIC

## 1. Variabilidad climática en la región mediterránea

La región mediterránea se localiza en la zona de influencia del sistema de altas presiones subtropicales de Azores y está rodeada por el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Esta región exhibe un amplio rango de regímenes climáticos, desde la húmeda influencia atlántica a regiones casi desérticas.

La región mediterránea se caracteriza por un ciclo estacional asociado a una migración latitudinal del anticiclón subtropical, siguiendo el ciclo solar. De esta forma, el anticiclón se fortalece en verano y se debilita en invierno. No obstante, durante algunos años el comportamiento se desvía de lo esperado dando lugar a anomalías climáticas, cuyo estudio es de gran importancia para el entendimiento de la variabilidad climática.

Es fundamental entender que tiempo y clima son dos conceptos diferentes. El tiempo es el estado de la atmósfera en escalas que caracterizan a los sistemas sinópticos (no superiores a 7 días) y a partir de las cuales la predicción dinámica deja de ser efectiva. El clima es el promedio del llamado «tiempo meteorológico» durante un periodo de al menos 30 años. Es por ello, que al hacer un estudio climático sea necesario trabajar con escalas largas de tiempo, lo que conlleva la pérdida de información en ciclos pequeños, a costa de una mayor información sobre un etapa prolongada. De este modo, la variabilidad climática habrá que entenderla como el estudio de los eventos que tienen lugar con frecuencias superiores a 7-10 días y que se desvían del promedio climatológico o clima.

En el registro observacional, la variabilidad atmosférica asociada a cambios en la presión en superficie, la temperatura y la lluvia (entre otras variables) se debe a tres causas principales:

- a) *Variabilidad interna*: asociada a cambios en la actividad sinóptica y en la interacción entre el flujo atmosférico medio y los *eddies* (borrascas, Lorenz y Hartman, 2001).
- b) *Variabilidad forzada de forma natural*: como la debida al forzamiento oceánico o estratosférico.
- c) *Variabilidad forzada de forma antropogénica*: debida a la influencia del hombre como, por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero o la de aerosoles, entre otras.

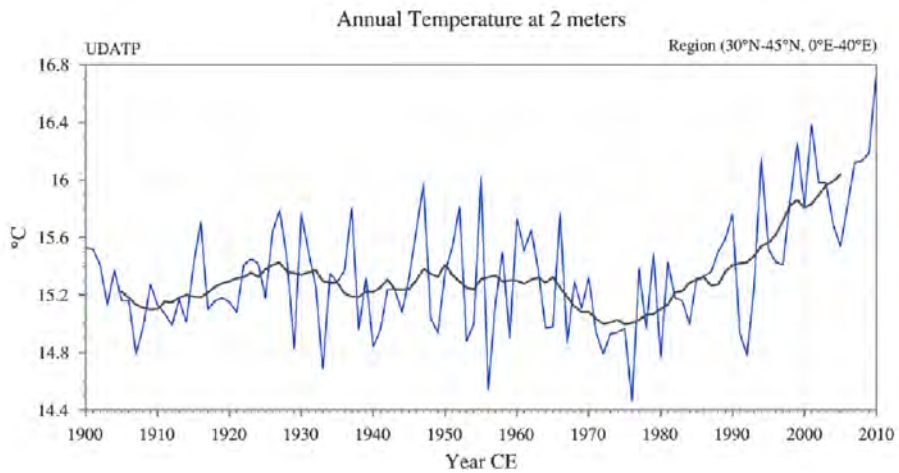
Si se analiza la temperatura del aire en la región mediterránea, a lo largo del periodo observacional disponible, se obtiene un valor medio anual de 15,5 °C (Gráfico 1). La variabilidad alrededor de este valor se caracteriza por una tendencia significativa que está en acuerdo con el incremento de los gases de efecto invernadero a partir de los años 70 (Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2013).

En una reciente publicación de *Clivar Exchanges* (Vicente Serrano y Rodríguez-Camino, 2017) se ha compilado la información que se tiene sobre la investigación del clima en la región de la península ibérica. Se demuestra que la radiación solar ha aumentado desde los años 80 y las temperaturas han presentado una tendencia positiva desde los años 60, a razón de 0,3 °C por década. La humedad relativa ha disminuido al tiempo que la lluvia ha mostrado gran variabilidad espacial y estacional, aunque en los últimos 50 años se ha producido una tendencia a la baja, sugiriendo un escenario más cálido y seco (González-Hidalgo *et al.*, 2015).

Sin tener en cuenta dicha tendencia, en el Gráfico 1 se observa como existe también variabilidad decadal (periodicidades de décadas o superiores) e interanual (periodicidades inferiores a la década). Si se analiza el campo de precipitación se percibe una marcada tendencia negativa, aunque la variabilidad decadal e interanual es más clara que en el caso de la temperatura (Gráfico 2).

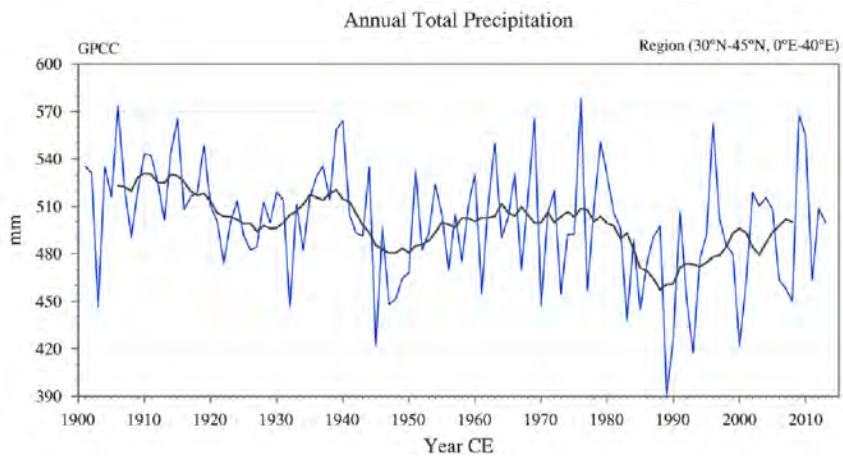
El entendimiento de las fuentes de variabilidad y su predictibilidad es crucial para la evaluación correcta de la predicción a diferentes escalas. El origen de esta obedece a diferentes causas y forzamientos como, por ejemplo, son la variabilidad interna o la forzada por la estratosfera o el océano. En particular, el conocimiento del forzamiento oceánico es de gran valor, teniendo en cuenta la capacidad predictiva que aporta, siendo la base del sistema de predicción estacional a decadal.

**Gráfico 1. Evolución de la temperatura media en la región mediterránea en el periodo 1900-2009**



Fuente: Universidad Delaware.

**Gráfico 2. Evolución de la precipitación media en la región mediterránea en el periodo 1900-2009**

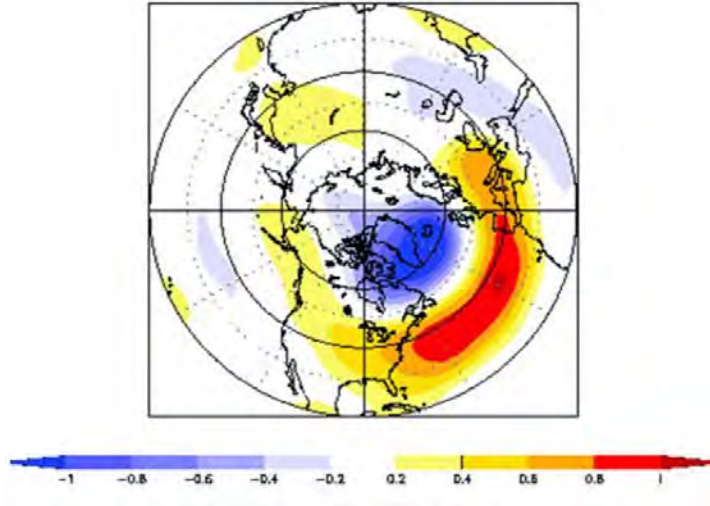


Fuente: GPCP.

La variabilidad climática atmosférica es responsable de la presencia de oscilaciones casi-periódicas en las series temporales de temperatura y precipitación. Esta variabilidad se organiza en los llamados «patrones de teleconexión», que pueden definirse como estructuras espaciales recurrentes que explican un porcentaje importante de la variabilidad y que pueden servir para entender el comportamiento de las series temporales anómalas sobre una determinada región (Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2017). Diversos trabajos han indicado que los patrones de teleconexión más importantes en la región mediterránea son la oscilación del Atlántico Norte (NAO de sus siglas en inglés, North Atlantic oscillation, Vicente-Serrano *et al.*, 2009; Jerez *et al.*, 2013; Lorenzo *et al.*, 2008) y la oscilación del Mediterráneo Occidental (en sus siglas en inglés, WEMO, Martín-Vide y López Bustins, 2006; Vicente-Serrano *et al.*, 2009; Lana *et al.*, 2016). Estos patrones tienen un impacto significativo en la lluvia y la temperatura, afectando a los recursos hídricos y, por ende, a los cultivos, la energía y la sociedad.

La oscilación del Atlántico Norte (NAO, Hurrell *et al.*, 2003) es el modo de variabilidad fundamental en el Atlántico Norte y se define por un cambio en los sistemas de presión que afectan a la región respecto a sus valores climatológicos (Figura 1). De esta forma, una fase positiva de la NAO se caracteriza por un aumento de la presión en la región del anticiclón de las Azores y una profundización de la vaguada de Islandia. Lo contrario tiene lugar bajo una NAO negativa. Es de entender, por tanto, que, dado que la Península Ibérica se encuentra en la región de influencia del anticiclón de las Azores, una NAO negativa estará relacionada con un mayor paso de sistemas ciclónicos sobre nuestra región, favoreciendo de este modo la disminución de presión media estacional durante esta fase de la NAO. El mayor paso de sistemas de bajas presiones va unido a un incremento de la precipitación sobre nuestra península con el impacto socioeconómico que conlleva.

**Figura 1. Patrón espacial en enero de la oscilación del Atlántico Norte obtenida del «Climate Prediction Center» de la NOAA (EEUU)**



Fuente: Climate Data Center de NOAA (<http://cdc.noaa.gov>).

## 2. Predictibilidad de los modos de variabilidad en la región mediterránea

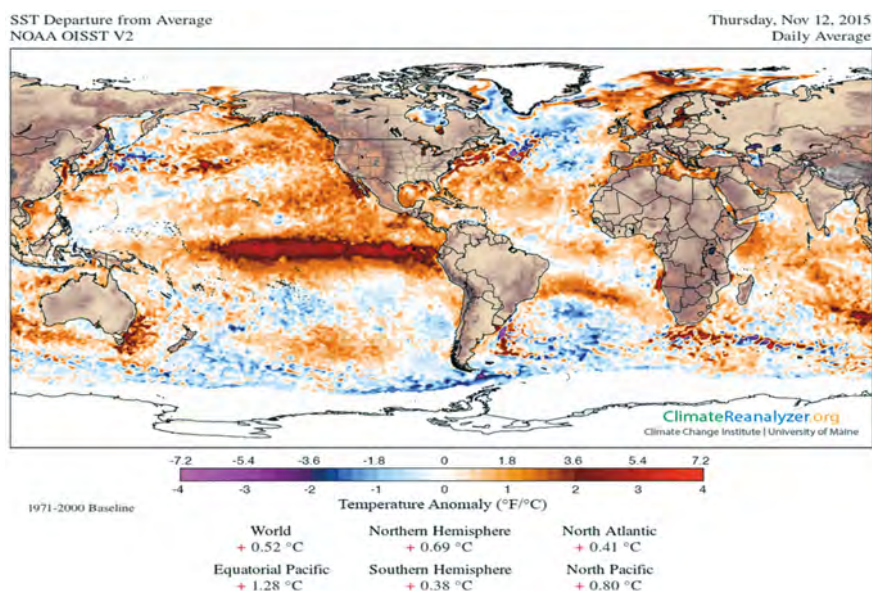
Una cuestión importante es saber hasta qué punto tanto las tendencias como los modos de variabilidad pueden ser predichos con antelación. Para ello se emplean modelos que resuelven las ecuaciones fundamentales que definen el comportamiento dinámico y termodinámico del sistema climático bajo diferentes forzamientos. Un forzamiento importante es el que surge externamente por el hombre al emitir gases de efecto invernadero, responsables de las tendencias observadas en las temperaturas. Otro forzamiento del comportamiento atmosférico es el que genera el océano, pues su enorme capacidad calorífica confiere una memoria al sistema climático, de gran utilidad a la hora de resolver las ecuaciones fundamentales.

Los océanos tienen una capacidad calorífica mayor que la de la atmósfera y pueden considerarse como una enorme reserva de esta energía que, cuando se libera a la atmósfera, es capaz de alterar la circulación general. La mayor reserva de calor del océano en escala interanual es el Pacífico tropical. En períodos de 4 a 7 años, esta región del océano se calienta o enfría de



forma anómala. Estos cambios de temperatura son capaces de modular la variabilidad interanual a decadal de la atmósfera. En este contexto, el modo de variabilidad climática más importante en escalas interanuales (de un año a otro) es el fenómeno de ‘El Niño’ (Ropelewski y Halper, 1987). ‘El Niño’ es una interrupción del ciclo anual de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial y se caracteriza por un calentamiento anómalo de la superficie del mar en la parte oriental y central de la cuenca, que suele ser de unos 2 a 3 °C, respecto a su valor climatológico (Figura 2).

**Figura 2. Estado de la anomalía de la temperatura de superficie del mar respecto a la media de 1971-2000 en noviembre de 2015, asociado a un evento Niño**



Fuente: Climate Change Institute, Universidad de Maine.

Aunque se trata de un aumento pequeño de la temperatura, este tiene lugar sobre una enorme masa de agua que, dada su gran capacidad calorífica, puede almacenar el calor durante muchos meses. Este calor almacenado por el agua, cuando se rompe el equilibrio térmico con la atmósfera que tiene por encima, se libera en forma de energía, cuya magnitud es tal que puede compararse a la de varias explosiones nucleares. Es ahí donde reside la predictibilidad del océano, pues la memoria que tiene en su seno puede ser empleada



para conocer con antelación los impactos que va a producir la liberación del calor. Esta energía altera el comportamiento medio de la atmósfera introduciendo variabilidad en el clima. En el caso del fenómeno de ‘El Niño’, también tiene lugar la fase contraria, llamada ‘La Niña’, que se caracteriza por un enfriamiento de la superficie del mar en la misma región. En la actualidad, el conocimiento adecuado de los impactos de ‘El Niño’ es la principal fuente de predictibilidad en escalas interanuales.

Conocer por adelantado los efectos de este calentamiento sobre la atmósfera y sus impactos en la sociedad pueden ayudar a desarrollar estrategias de mitigación y prevención. El problema es que los modelos operativos, que se ejecutan en los centros más importantes del mundo, sufren de importantes errores sistemáticos y, por tanto, las incertidumbres asociadas al conocimiento de los impactos vinculados a los modos de variabilidad son grandes.

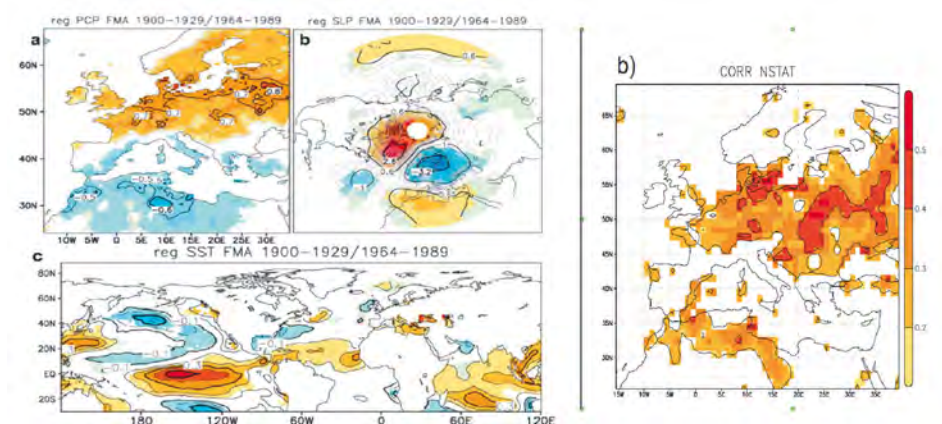
Hace falta por ello realizar una labor de investigación, tanto estadística, partiendo de los datos observados, como dinámica (analizando la señal de forzamiento y su respuesta), con experimentos concretos que solo consideren la presencia de un determinado forzamiento.

Los impactos de ‘El Niño’ y de ‘La Niña’ tienen lugar de forma más directa sobre regiones tropicales, aunque los producidos sobre las extratropicales no son despreciables. Estos tienen lugar a través de teleconexiones, que son las formas mediante las que la variabilidad del clima en zonas remotas se relaciona. Esta relación tiene lugar a través de complicados mecanismos dinámicos que pueden identificarse realizando simulaciones con modelos físicos.

En este sentido, centrándose en los impactos de ‘El Niño’ (‘La Niña’) en Europa, estos varían dependiendo de la estación del año a considerar. De esta forma, durante los meses de otoño se ha relacionado ‘El Niño’ con un mayor paso de borrascas atlánticas por el suroeste de la península y, por tanto, con una fase negativa de la NAO (López-Parages y Rodríguez Fonseca, 2012). En invierno se debilita, dado que la teleconexión no puede establecerse dinámicamente (García Serrano *et al.*, 2011,2014), aunque se ha relacionado con una NAO negativa –positiva para ‘La Niña’-. Sin embargo, es a finales de invierno y en primavera cuando este nexo es más fuerte, y que se caracteriza por una disminución de la precipitación en la región mediterránea y en el norte de Escandinavia, y un aumento de la precipitación en el centro oeste de Europa, incluyendo el noroeste de la península ibérica (López-Parages y Rodríguez de Fonseca, 2012). Lo contrario tiene lugar en relación con ‘La Niña’.

No obstante, la relación que ‘El Niño’ tiene, y ha tenido con la variabilidad atmosférica en nuestra región, no ha sido siempre la misma, ya que cambia con las décadas (Vicente-Serrano *et al.*, 2008; López-Parages y Rodríguez de Fonseca, 2012). La explicación tiene su origen en que, para que dinámicamente tenga lugar la teleconexión, hace falta encontrarse en un estado climático determinado. En particular, se ha encontrado que, desde la década de los 60 a los 90, el estado medio del océano propició la aparición de una teleconexión fuerte entre ‘El Niño’ y la lluvia en Europa, mientras que en las décadas anteriores la relación no era muy significativa (Figura 3).

**Figura 3. Relación entre ‘El Niño’ a finales de invierno-primavera (febrero-marzo-abril) y la variabilidad de la precipitación en Europa**



\* Panel izquierdo: a) primer modo de variabilidad de la lluvia en Europa (1900-1929 y 1964-1989), b) regresión del primer modo sobre la presión en superficie anómala y c) regresión sobre la temperatura de la superficie del mar anómala. Panel derecho: bondad de la predicción estadística realizada para la lluvia en Europa empleando el Pacífico tropical como predictor.

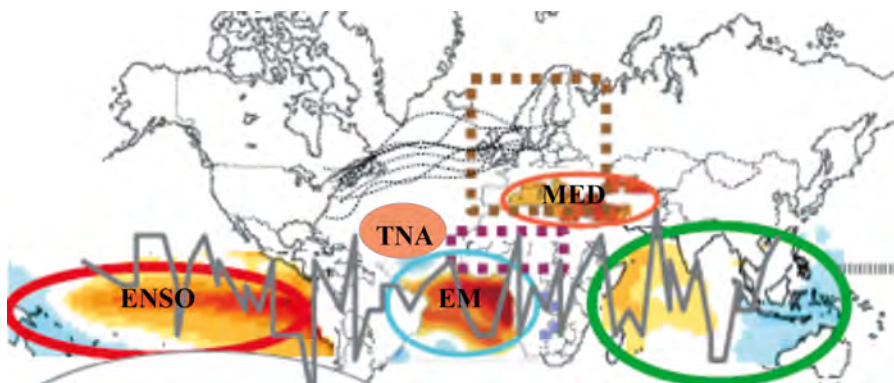
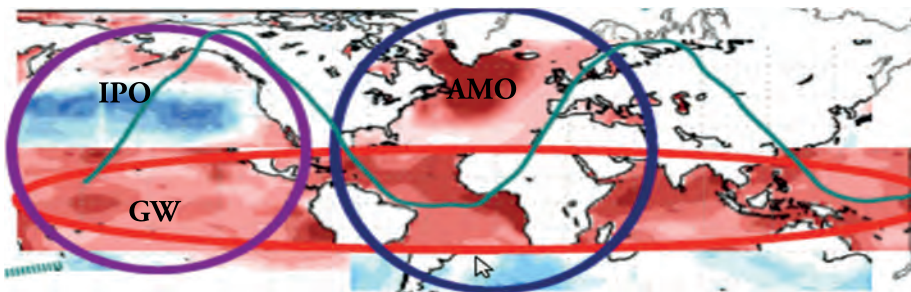
Fuente: López-Parages y Rodríguez-Fonseca (2012) y Rodríguez-Fonseca *et al.* (2016).

Pero no solo ‘El Niño’ puede alterar desde el océano la variabilidad de la atmósfera, sino que también existen otras estructuras recurrentes de variabilidad de la temperatura de la superficie del mar capaces de introducir predictibilidad en el sistema. En la Figura 4 se ha realizado un resumen de las principales regiones del océano tanto en escalas interanuales como decadales. En las primeras se ha incluido información sobre la estación del año en la que esa zona aporta más predictibilidad. De esta forma, en invierno, el Atlántico Norte tropical es una fuente de calor que ha demostrado tener una influencia

clave en la precipitación sobre el suroeste de la península y en el aumento de las temperaturas mínimas (Losada *et al.*, 2007; Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2006; Capa-Morocho *et al.*, 2016). Por otro lado, el modo ecuatorial o Niño atlántico influye en la precipitación de verano (Losada *et al.*, 2012), así como también lo hace el océano Índico. En escalas temporales mayores se ha mostrado que patrones de variabilidad de baja frecuencia, como la oscilación del Multidecadal del Atlántico, pueden modular el clima sobre Europa (Sutton y Hodson, 2005).

**Figura 4. Principales regiones del océano cuyos cambios en la temperatura del mar pueden ayudar a la predicción estacional. 1) Patrones que producen predictibilidad en períodos menores de 7 años. 2) Patrones multidecadales**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Interanual	TNA	ENSO TNA	ENSO TNA	ENSO TNA	EM	EM MED	EM MED	EM MED	EM	ENSO TNA	ENSO TNA	ENSO TNA
Decadal	Variabilidad interdecadal del Pacífico				Variabilidad Multidecadal del Atlántico				Calentamiento Global			



### 3. Impacto de la variabilidad en los cultivos

El conocimiento del sistema acoplado océano-atmósfera puede considerarse como una fuente importante de información para interpretar el rendimiento potencial, asociado al clima, de un cultivo. Esta información es de gran utilidad a la hora de facilitar una predicción con meses de antelación sobre el estado futuro de la atmósfera e impactos asociados. El conocimiento de los efectos de la variabilidad climática sobre la agronomía es muy importante, ya que las fases de crecimiento de un cultivo y el éxito de su rendimiento dependen altamente de las condiciones meteorológicas y de la variabilidad climática. En la región mediterránea no existen demasiados trabajos al respecto. Un conocimiento previo del estado del océano y de los impactos asociados a la variabilidad atmosférica relacionada servirá para establecer las políticas necesarias, para mitigar los efectos asociados a impactos adversos o tener ventaja en situaciones favorables. El conocimiento de la variabilidad climática puede ayudar a tomar mejores decisiones en agricultura (Meinke y Stone, 2005) reduciendo la vulnerabilidad de la producción agrícola a la variabilidad climática y sus extremos. Así, estudios recientes realizados por Capa-Morocho *et al.* (2014 y 2015) han podido analizar la variabilidad climática de un determinado cultivo y su relación con los cambios en las temperaturas de la superficie del mar. Para ello se han realizado simulaciones con modelos de cultivo calibrados, alimentándolos con datos disponibles de los reanálisis atmosféricos y diseñando una metodología novedosa para obtener series largas de rendimiento potencial alcanzable.

Los resultados de Capa-Morocho muestran que las simulaciones de cultivo hechas sobre algunas regiones de la península ibérica con datos reanalizados y que, por tanto, se pueden considerar que solo varían atendiendo a factores climáticos (las demás variables del modelo de cultivo se mantienen constantes), dan como resultado rendimientos cuya variabilidad tiene una gran relación con la variabilidad asociada a 'El Niño'. Por tanto, estas series pueden emplearse como indicadores bioclimáticos integrados que capturan las teleconexiones existentes entre 'El Niño' y el clima de Europa, añadiendo más fiabilidad a la controvertida discusión sobre la verdadera influencia de 'El Niño' en esta región (Brönnimann *et al.*, 2007; Greatbatch *et al.*, 2004 y Knippertz *et al.*, 2003).

## 4. Escenarios futuros

Si nos fijamos en la tendencia de la serie del Gráfico 1 se puede observar un incremento de las temperaturas medias. Además de este crecimiento, el último informe del IPCC indica un desarrollo de los fenómenos extremos desde 1950, algunos de los cuales se han relacionado con la actividad humana, incluyendo una disminución de las temperaturas frías extremas y el aumento de las cálidas.

Si nos centramos en escenarios venideros, en relación con las temperaturas, las proyecciones regionales futuras indican un desarrollo generalizado de las olas de calor y sequías (Jacob *et al.*, 2014). Esto puede deberse a que en este panorama hay una tendencia positiva para la NAO de invierno y una negativa para otros patrones de teleconexión como el de Escandinavia, aunque dichas tendencias son pequeñas (González Reviriego *et al.*, 2015). Van Ulden y Van Oldenborgh (2006) muestran como en el Mediterráneo disminuye la lluvia de invierno en relación con un aumento del flujo del oeste (más episodios de NAO+), que hace decrecer la lluvia de verano por una situación más anticiclónica. En verano la tendencia positiva de la NAO es fuerte, aunque con mucha dispersión entre los modelos (Bladé *et al.*, 2012a, 2012b).

Los impactos asociados a estos cambios en las medias, la variabilidad y los extremos tienen gran importancia en la agricultura y la pesca de la región mediterránea.

Las proyecciones climáticas regionales realizadas sobre la península ibérica muestran una tendencia general a la disminución de la precipitación media en todas las estaciones del año, con una bajada del 30 %. En relación con la temperatura se prevé un aumento de la misma, con los mayores valores en verano, donde se espera que la temperatura suba entre 1 °C y 3 °C con respecto al periodo 1970-2000.

Uno de los mayores focos de atención cuando se trabaja con proyecciones climáticas es la aplicación de la información para estudios de vulnerabilidad de impactos y adaptación. Sin embargo, no está claro todavía cómo proceder de la mejor forma con el fin de seleccionar los datos representativos para cada estudio particular, ni cómo elegir las metodologías adecuadas de corrección de sesgos, ya que los modelos todavía tienen importantes incertidumbres.

## Referencias bibliográficas

- BLADÉ, I.; FORTUNY, D.; VAN OLDENBORGH, G. J. y LIEBMANN, B. (2012a): «The summer North Atlantic Oscillation in CMIP3 models and related uncertainties in projected summer drying in Europe»; *J. Geophys. Res.: Atmospheres (1984-2012)* 117(D16).
- BLADÉ, I.; LIEBMANN, B.; FORTUNY, D. y VAN OLDENBORGH, G. J. (2012b): «Observed and simulated impacts of the summer NAO in Europe: implications for projected drying in the Mediterranean region»; *Clim. Dyn.*, 39(3-4); pp. 709-727.
- BRÖNNIMANN, S.; XOPLAKI, E.; CASTY, C.; PAULING, A. y LUTERBACHER, J. (2007): «ENSO influence on Europe during the last centuries»; *Clim. Dyn.* 28(2-3); pp. 181-197.
- CAPA-MOROCHO, M.; RODRÍGUEZ-FONSECA, B. y RUIZ-RAMOS, M. (2014): «Crop yield as a bioclimatic index of El Niño impact in Europe: crop forecast implications»; *Agric. For. Meteorol.* 198-199; pp. 42-52.
- CAPA-MOROCHO, M.; RODRÍGUEZ-FONSECA, B. y RUIZ-RAMOS, M. (2016): «El Niño influence on potential maize yield in Iberian Peninsula»; *International Journal of Climate* 36(3); pp. 1313-1330.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; PEÑA-ANGULO, D.; BRUNETTI, M. y CORTESI, N. (2015): «Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus»; *Int. J. Climatol.*
- GONZÁLEZ-REVIRIEGO, N.; RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. y RODRÍGUEZ-FONSECA, B. (2015): «Evaluation of observed and simulated teleconnections over the Euro-Atlantic region on the basis of partial least squares regression»; *Clim. Dyn.* 44(11-12); pp. 2989-3014.
- GREATBATCH, R. J.; LU, J. y PETERSON, K. A. (2004): «Nonstationary impact of ENSO on Euro-Atlantic winter climate»; *Geophysical Research Letters* 31(2).
- HURRELL, J. W.; KUSHNIR, Y.; OTTERSEN, G. y VISBECK, M. (2003): «The North Atlantic Oscillation: climate significance and environmental impact»; *Geophysical monograph. Series* 134; pp. 279.



- JACOB, D.; PETERSEN, J.; EGGERT, B.; ALIAS, A.; CHRISTENSEN, O. B.; BOWWER, L.; BRAUN, A.; COLETTE, A.; DÉQUÉ, M.; GEORGIEVSKI, G.; GEORGOPOULOU, E.; GOBIET, A.; MENUT, L.; NIKULIN, G.; HAENSLER, A.; HEMPELMANN, N.; JONES, C.; KEULER, K.; KOVATS, S.; KRÖNER, N.; KOTLARSKI, S.; KRIEGSMANN, A.; MARTIN, E.; MEIJGAARD, E.; MOSELEY, C.; PFEIFER, S.; PREUSCHMANN, S.; RADERMACHER, C.; RADTKE, K.; RECHID, D.; ROUNSEVELL, M.; SAMUELSSON, P.; SOMOT, S.; SOUSSANA, J. F.; TEICHMANN, C.; VALENTINI, R.; VAUTARD, R.; WEBER, B. y YIOU, P. (2014): «EURO CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research»; *Reg. Environ. Change* 14; pp. 563-578.
- JEREZ, S.; JIMÉNEZ-GUERRERO P.; MONTÁVEZ, J. P. y TRIGO, R. M. (2013): «Access Impact of the North Atlantic Oscillation on European aerosol ground levels through local processes: a seasonal model-based assessment using fixed anthropogenic emissions»; *Atmos. Chem. Phys.* 13; pp. 11195-11207.
- KNIPPERTZ, P.; ULBRICH, U.; MARQUES, F. y CORTE-REAL, J. (2003): «Decadal changes in the link between El Niño and springtime North Atlantic Oscillation and European - North African rainfall»; *International Journal of Climatology* 23(11); pp. 1293-1311.
- LANA, X.; BURGUEÑO, A.; MARTÍNEZ, M. D. y SERRA, C. (2016): «Complexity and predictability of the monthly Western Mediterranean Oscillation index»; *Int. J. Climatol.* 36(6); pp. 2435-2450.
- LÓPEZ-PARAGES, J. y RODRÍGUEZ-FONSECA B. (2012): «Multidecadal modulation of El Niño influence on the Euro-Mediterranean rainfall»; *Geophys. Res. Lett.* 39; pp. L02704.
- LÓPEZ-PARAGES, J.; RODRÍGUEZ-FONSECA, B. y TERRAY, L. (2014): «A mechanism for the multidecadal modulation of ENSO teleconnection with Europe»; *Climate Dynamics* 45(3-4); pp. 867-880.
- LORENZ, D. y HARTMANN, D. (2001): «Eddy-zonal flow feedback in the Southern Hemisphere»; *J. Atmos. Sci.* 58; pp. 3312-3327.
- LORENZO, M. N.; TABOADA, J. J. y GIMENO, L. (2008): «Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain)»; *Int. J. Climatol.* 28; pp. 1493-1505.

- LOSADA, T.; RODRÍGUEZ-FONSECA, B.; MECHOSO, C. R. y MA, H. Y. (2007): «Impacts of SST anomalies on the North Atlantic atmospheric circulation: a case study for the northern winter 1995/1996»; *Clim. Dyn.* 29(7-8); pp. 807-819.
- LOSADA, T.; RODRÍGUEZ-FONSECA, B. y KUCHARSKI, F. (2012): «Tropical influence on the summer Mediterranean climate»; *Atmos. Sci. Lett.* 13; pp. 36-42.
- MARTÍN-VIDE, J. y LÓPEZ-BUSTINS, J. A. (2006): «The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula»; *Int. J. Climatol.* 26(11); pp. 1455-1475.
- MEINKE, H. y STONE, R. C. (2005): «Seasonal and inter-annual climate forecasting: the new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations»; *Climatic change* 70(1-2); pp. 221-253.
- RODRÍGUEZ-FONSECA, B.; CASADO, M. J. y BARRIOPEDRO, D. (2017): «Modes of variability affecting southwestern Europe»; *CLIVAR exchange* 73; pp. 24-31.
- RODRÍGUEZ-FONSECA, B.; POLO, I.; SERRANO, E. y CASTRO, M. (2006): «Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and North African Winter climate»; *Int. J. Climatol.* 25.
- ROPELEWSKI, C. F. y HALPERT, M. S. (1987): «Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation»; *Monthly weather review* 115(8); pp. 1606-1626.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; CALBÓ, J. y WILD, M. (2013): «Global and diffuse solar radiation in Spain: Building a homogeneous dataset and assessing their trends»; *Global and Planetary Change* 100; pp. 343-352.
- SUTTON, R. T. y HODSON, L. R. (2005): «Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate»; *Science* 309; pp. 115-118.
- VAN ULDEN, A. P. y VAN OLDENBORGH, G. J. (2006): «Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in Central Europe»; *Atmospheric Chemistry and Physics* 6(4); pp. 863-881.
- VICENTE-SERRANO, S. M. y LÓPEZ-MORENO, J. I. (2008): «Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation»; *J. Geophys. Res.: Atmospheres* 113(D20).



- VICENTE-SERRANO, S.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.; EL KENAWY, A. y ANGULO, M. (2009): «Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in Northeast Spain: the role of the North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation and Mediterranean Oscillation»; *J. Geophys. Res.-Atmos.* 114; pp. D08106.
- VICENTE SERRANO, S. M. y RODRÍGUEZ-CAMINO (2017): «Observed atmospheric trends in the Iberian Peninsula. Clivar Exchange Special Issue on climate over the Iberian Peninsula: an overview of CLIVAR-Spain coordinated science»; *CLIVAR Exchanges* 73.



# Evolución de los sistemas agrarios mediterráneos intensivos

## Usos del agua y de la tierra (2000-2016)

*M. Hernández<sup>a</sup> y A. F. Morote<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Universidad de Alicante y <sup>b</sup>Universitat de València

### 1. Introducción

En la segunda mitad del siglo XX se produjeron una serie de modificaciones sustanciales en el uso agrícola del agua en España, no solo cuantitativas sino también cualitativas. Así, las hectáreas regadas se duplicaron, pasando de 1.450.000 ha en 1950 a unas 3.177.900 ha en 1995 (Morales y Hernández, 2010). Esta superficie de regadío fue considerada como la máxima que se podía alcanzar con las disponibilidades hídricas reguladas; pero los datos más recientes del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente indican que el incremento de las superficies irrigadas continúa, situándose en 2016 en 3.654.716 ha (ESYRCE, 2016a). Además, este último proceso expansivo se produce durante el periodo en el que más se ha criticado el uso desmedido del recurso agua en agriculturas con escasas repercusiones socioeconómicas reales sobre las comarcas afectadas y que, al mismo tiempo, contribuyen a incrementar la presión sobre los recursos hídricos disponibles de algunas regiones (Esteban *et al.*, 2017). A finales del siglo XX y principios del XXI, la creación de nuevos regadíos en Aragón, Castilla y León, Extremadura y Castilla-La Mancha sigue considerándose como una política de desarrollo rural (Berbel y Gutiérrez-Marín, 2017) que permite incrementar la rentabilidad de la agricultura y, consiguientemente, fijar población en unas áreas donde los procesos de pérdida demográfica han sido la dinámica dominante desde mediados del siglo XX.

No solo se amplía la superficie de regadío, sino que se producen también variaciones en cultivos y modalidades de riego. Los primeros se deben a la incidencia de la PAC (Rico y Hernández, 2008a) y a la demanda de frutas y hortalizas extratempranas de los mercados europeos. Otro cambio cualitativo ha afectado a la tipología de regadío. En 2015, la superficie regada por goteo se situaba en el 49 % (ESYRCE, 2016a) frente al 22 % de mediados de los noventa. Se ha pasado de 715.000 ha en 1995 regadas por este sistema (Mo-

rales y Hernández, 2010) a casi 1.800.000 ha, según el informe sobre regadíos españoles de 2015 (ESYRCE, 2016b). Hoy en día, están utilizando esta modalidad de riego un porcentaje muy elevado en cítricos, *prunus*, hortalizas y gran parte del olivar y del viñedo. Su uso permite conducir volúmenes hídricos a lugares alejados de su tradicional empleo por gravedad, así como utilizar directamente los recursos hipogeos de las comarcas de implantación, sin necesidad de hacer grandes transformaciones parcelarias. Estas particularidades han permitido ampliar las superficies de cultivo, pero han agravado la presión sobre los recursos subterráneos, acentuando los procesos de sobreexplotación.

Teniendo en cuenta lo indicado, los objetivos de esta publicación son: a) presentar y analizar la evolución (superficie y cultivos) que han registrado los sistemas agrarios mediterráneos intensivos desde el año 2000; b) identificar los factores que explican esta dinámica; c) evidenciar las repercusiones que desde el punto de vista del recurso agua ha tenido esta evolución; y, d) poner de manifiesto las repercusiones socioeconómicas asociadas a estos sistemas agrarios mediterráneos intensivos.

## 2. Metodología y área de estudio

La metodología aplicada en esta investigación se basa en el análisis de fuentes estadísticas oficiales sobre superficies, aprovechamientos y modalidades de regadío elaboradas tanto por el gobierno central (MAPAMA e INE), concretamente en el *Anuario de estadística agraria* (2000-2016), la *Encuesta sobre superficie y rendimientos de cultivos* (2000-2016) y la *Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario* (serie 2000-2015), como por las consejerías de las comunidades autónomas para el periodo 2000-2016, particularmente Andalucía, Comunidad Valenciana y Murcia. Estas se complementan con la consulta de bibliografía especializada y el trabajo de campo. La identificación y análisis de las superficies regadas y el impacto que esta actividad genera en el recurso agua pueden parecer un proceso simple, sin embargo, no lo es. La principal dificultad estriba en cuantificar la superficie regada. Su complejidad se explica por la no coincidencia de valores al consultar distintas bases de datos de organismos diversos. Por ejemplo, los proporcionados por el Ministerio de Agricultura (*Anuario de estadística agraria* y *Encuesta de superficies y rendimientos agrícolas*) y los de las consejerías con competencias en materia agrícola de las comunidades autónomas. Estas diferencias incluso se evidencian al consultar bases de datos procedentes de un mismo organismo, como

sucede con el MAPAMA, con los datos del *Anuario de estadística agraria* y la *Encuesta de superficies y rendimientos agrícolas* (ESYRCE). En el primero, la superficie regada en 2015 es de 3.828.193 ha frente a las 3.586.743 ha del ESYCE. Una situación similar se observa al comparar los datos de la superficie en invernadero, donde la diferencia entre ambas fuentes asciende a 11.812 ha a favor del anuario estadístico, que la cifra en 77.816 ha. Igualmente, se perciben ciertos desfases temporales entre bases de datos, que dificultan también su análisis. Para el consumo de agua, la serie del INE comprende de 2000 a 2014. En cambio, el *Anuario de estadística agraria* ofrece datos hasta 2016. La incertidumbre generada por esta variabilidad puede aminorarse contrastándola con otras fuentes (demarcaciones hidrográficas) o superficies calculadas a partir de imágenes de satélite.

El área de estudio corresponde a la zona mediterránea en general y, con particular atención, a los regadíos intensivos. Los factores que contribuyeron a la configuración de estos sistemas agrarios mediterráneos intensivos son de tipo físico y humano. En los primeros, una mención relevante revisten las condiciones climáticas y, más concretamente, las lumínicas, con una insolación media que se sitúa entre las 2.975 horas de Alicante y las 3.052 h de Almería, contrastando con las 2.385 h de Vigo o las 1.527 h de De Bilt (Holanda) (Morales, 1997). Si importantes son estos valores totales, mayor presentan comprenden las registradas entre noviembre y abril -1.220 h en Almería frente a las 851 h de Vigo o las 507 h de De Bilt-. Estas buenas condiciones de insolación se completan con unos valores térmicos medios en diciembre en torno a los 10 °C, y entre 0 y 1 días de helada (IGN, 2008). Estas situaciones climáticas favorables han supuesto una serie de ventajas. Por un lado, el cultivo en estructuras acolchadas y en invernadero, que únicamente en determinados casos (rosas, pimientos y melones) precisan de aporte calórico y, generalmente, durante un periodo que se reduce a poco más de dos meses, lo que supone un ahorro en costes productivos y frutos con mayor contenido en azúcares, gracias a la fotosíntesis. Por otro lado, permite obtener frutas y verduras fuera de temporada y así poder abastecer a gran parte de Europa cuando estas producciones no son posibles en estas latitudes fuera de estructuras de invernadero y con constantes aportes energéticos, y también el desarrollo de cultivos tropicales en las costas de Málaga y Granada.

Los otros dos factores físicos (suelo y agua) han visto como su peso, como condicionante, ha ido disminuyendo, especialmente el primero, que gracias al avance en la tecnología agraria (cultivo sin suelo o suelos artificiales) ha

dejado de ser un ingrediente fundamental para convertirse en un mero soporte artificial indispensable en los espacios hortofrutícolas (Camacho, 2003 y García, 2011). El agua, a pesar de la escasez en estos territorios (precipitaciones inferiores a los 400 mm) y las elevadas demandas de estos cultivos (entre 5.000 y 8.000 m<sup>3</sup>/año), ha visto incrementar los volúmenes disponibles tras la construcción de numerosas obras de infraestructura. Esto no significa que el agua haya dejado de ser vital para esta agricultura, sino que su escasez se ha traducido en la búsqueda de nuevos recursos de procedencia diversa y que, paralelamente, se ha encarecido a diferencia de otros regadíos (Colino y Martínez, 2002 y Martín, 2017). No obstante, otros insumos (mano de obra, semillas, productos fitosanitarios o transporte) representan valores monetarios muy superiores a los del agua para producir un kilogramo de cualquiera de estos cultivos (Morales, 2016). Una particularidad de los regadíos intensivos mediterráneos es que el agua no debe precipitar directamente desde las nubes sobre las parcelas, sino mediante la tecnología del riego localizado, pues además de no adaptarse al ritmo fenológico de las plantas, los chubascos de fuerte intensidad horaria suelen provocar importantes daños en todo el sistema productivo y generar condiciones poco favorables para la floración, polinización..., debido al exceso de humedad (Morales, 1997).

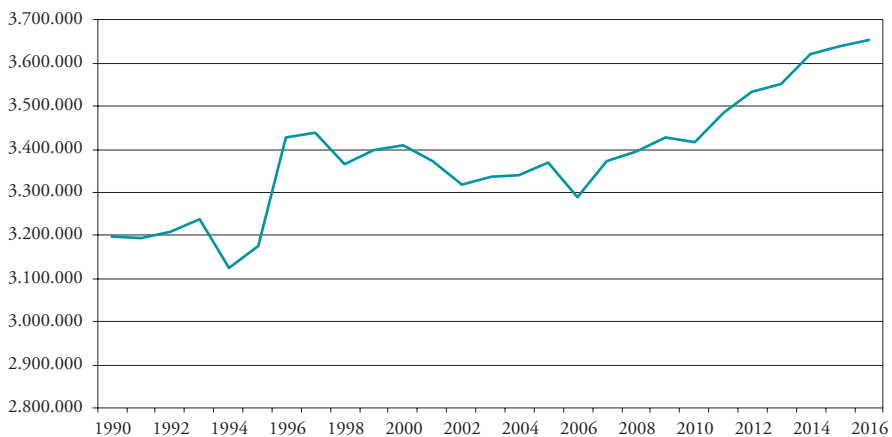
Desde el punto de vista de los factores humanos, Morales (1997; 2016) hace referencia a la experiencia en horticultura temprana, a las ayudas de la administración española, a la capitalización de las explotaciones agrarias, al apoyo logístico y tecnológico, a las infraestructuras energéticas, a la red viaria, a la apertura de mercados, a la población en crecimiento y a la mano de obra barata. La existencia de vías de comunicación resulta fundamental para facilitar la conexión entre zonas productoras y consumidoras. En este sentido, la autopista AP-7 con su continuación en Europa a través de la E-15 y sus conexiones hacia centro Europa constituyen el eje principal entre zonas productoras y mercados consumidores, dada su marcada vocación exportadora. Un comentario específico requiere la mano de obra. Si tradicionalmente su menor coste en relación a zonas productoras de Holanda era uno de los puntos fuertes del sureste peninsular, en la actualidad, esta se ha visto aminorada por la competencia de terceros países (Norte de África y Turquía, mayoritariamente), donde precisamente los menores costes salariales son una de sus ventajas competitivas. Morales (2016) determina que el salario de una jornada laboral de 8 horas se sitúa en 40 euros en España frente a los 72 euros de Holanda y los 10 euros de Marruecos.

### 3. La agricultura intensiva mediterránea en el contexto del regadío español

#### 3.1. Evolución de la superficie regada y aprovechamientos en España: datos básicos

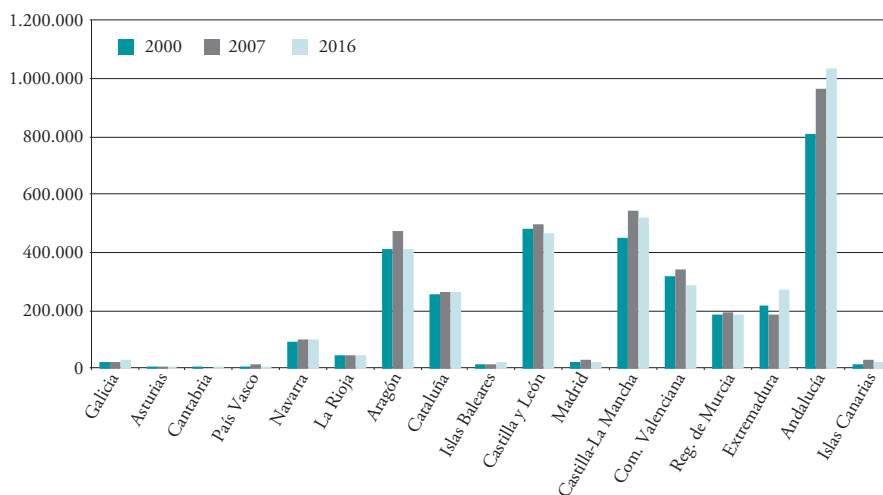
La superficie regada se caracteriza, salvo una pequeña inflexión a mediados de los años noventa, por una tendencia alcista iniciada en las primeras décadas del siglo XX (Tamames y Rueda, 2014). Entre 1990 y 2016, su superficie habría crecido en unas 455.716 ha (Gráfico 1). El aumento del regadío continúa siendo en ámbitos mediterráneos la opción elegida para intensificar la actividad agraria, ya que permite incrementar la productividad al reducir la aleatoriedad del secano e introducir aprovechamientos hortícolas y frutícolas. Esta tendencia general encubre significativas diferencias regionales. En el periodo comprendido entre 2000 y 2016, Andalucía (226.131 ha), Castilla-La Mancha (71.884 ha) y Extremadura (55.075 ha) eran las comunidades autónomas que habían registrado una tendencia alcista frente a la regresión de la Comunidad Valenciana (-30.427 ha) o de Castilla y León (-22.265 ha). Mientras que la Región de Murcia y Cataluña han mantenido sus superficies (Gráfico 2).

**Gráfico 1. Evolución de la superficie regada en España (1990-2016). En hectáreas**



Fuente: ESYRCE (2016a). Elaboración propia.

**Gráfico 2. Evolución de la superficie regada por comunidades autónomas (2000-2016). En hectáreas**



Fuente: ESYRCE (2016a). Elaboración propia.

Las dinámicas positivas se vinculan a la puesta en regadío de aprovechamientos tradicionalmente de secano (olivar y viñedo y, en menor medida, almendro) y a la difusión de cultivos hortícolas (por ejemplo: lechuga, brócoli y melón), y a algunas variedades de *prunus* desde las comarcas costeras mediterráneas de Murcia, Valencia y Andalucía a las comarcas de transición (municipios del Altiplano Jumilla-Yecla en Murcia, Alto Vinalopó en Alicante o sureste de Albacete o Ciudad Real) con climas continentales interiores, ocupando tierras de cultivo en secano hasta entonces, al advertir las posibilidades de obtener cosechas rentables primaverales e incluso veraniegas, ya que en ellas es posible su siembra desde finales del invierno hasta bien entrado el verano. Entre 2004 y 2016, las superficies de olivar regado se han incrementado en unas 287.000 ha y el viñedo en unas 100.000 ha más, ascendiendo a 766.923 ha y 366.000 ha, respectivamente (ESYRCE, 2016a). Estas cifras contrastan con las 200.000 ha y 62.000 ha, respectivamente, de 1995 (Morales y Hernández, 2010). Ambos cultivos presentan una fuerte localización territorial que explica el aumento de superficies regadas en Castilla-La Mancha (viñedo) y Andalucía (olivar).

Los regadíos históricos mediterráneos, en cambio, han visto como sus superficies se reducían considerablemente a consecuencia de las fuertes presiones



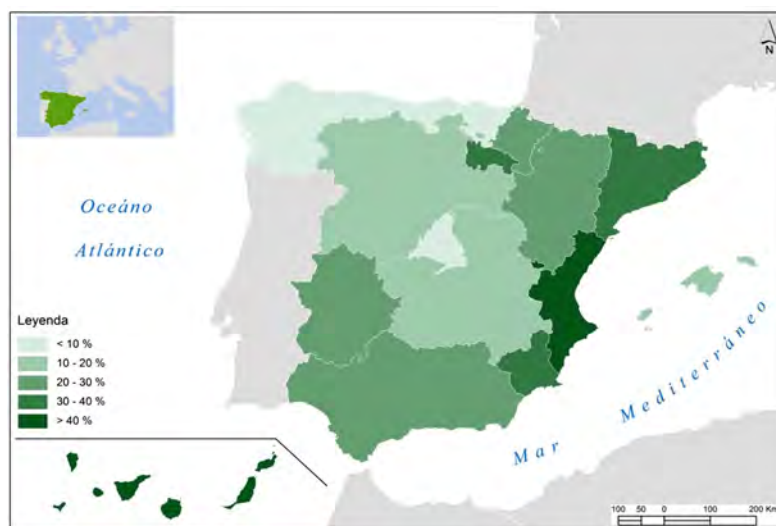
a los que están sometidos desde los años sesenta en el litoral por los usos urbanos y por la expansión turístico-residencial. A esto se le une la ejercida sobre los nuevos regadíos durante el *boom* inmobiliario de 1997 a 2008. Este factor se ve acentuado por la escasez de recursos hídricos, así como los problemas estructurales y de rentabilidad de tradicionales aprovechamientos de regadío. Entre 2004 y 2016, los cítricos han reducido su superficie en 4.283 ha y los hortícolas en 27.963 ha (ESYRCE, 2016a). La tendencia regresiva de los cítricos se asocia con los problemas de rentabilidad de diversas variedades de naranja, como consecuencia de las importaciones desde terceros países (Marruecos, Brasil y Sudáfrica) tanto para su venta directa como para la elaboración de zumos, y que no han compensado las nuevas plantaciones que, sobre todo, en Andalucía se registraron a finales del siglo XX.

En España, en 2016, según fuentes oficiales, la superficie cultivada ascendía a 16,9 millones de hectáreas, de las que 3,58 millones corresponderían a regadío al aire libre (26,1 % de la superficie total cultivada) y a las que habría que añadir entre 65.674 ha (ESYRCE, 2016a) y 77.816 ha (MAPAMA, 2016) en invernadero (0,35 %). Todo esto se concentra mayoritariamente en la fachada mediterránea y en las Islas Canarias (Figura 1). Esta localización pone de manifiesto una serie de dinámicas heredadas. El factor climático (en comunidades autónomas con climas de filiación mediterránea) complementado por el histórico (incremento de las superficies regadas desde época histórica, ya que permite aminorar la aleatoriedad del secano) explica que en comunidades como la valenciana y Canarias, el porcentaje de la superficie regada supere el 40 % del total de las tierras cultivadas. Valores por encima del 30 % se registran en Cataluña, Murcia y La Rioja. Esta concentración territorial es todavía más acentuada al analizar la distribución de las superficies de invernadero: 3/4 partes se localizan en Andalucía, donde sobresale Almería con el 51,8 % del total. La suma de las superficies de Andalucía (73,85 %), Canarias (10,36 %) y Murcia (9,58 %) asciende al 92,79 % (ESYRCE, 2016a).

Desde el punto de vista de los aprovechamientos, en 2016, según ESYRCE, el 41,59 % de la superficie regada corresponde a herbáceos, excluidos los hortícolas. Cítricos (7,70 %), frutales no cítricos (8,71 %), hortícolas (5,12 %) y flores (0,48 %) representarían el 22,01 %. La extensión ocupada tradicionalmente por cultivos de regadío se ha visto superada en las últimas décadas por olivar (21,38 %) y viñedo (10,20 %). El análisis de los aprovechamientos dominantes en regadío corrobora la existencia de sistemas agrarios mediterráneos diversos –regadíos extensivos e intensivos–. Estos últimos, que

se concentran en un elevado porcentaje en el litoral mediterráneo, comprendido entre la costa de Huelva y el Maresme (Cataluña), se definen por los aprovechamientos practicados (hortofrutícolas), por los sistemas de cultivo (invernaderos y acolchados) y por una marcada orientación exportadora (Morales, 1997). El predominio espacial de los cereales, leguminosas, tubérculos y cultivos industriales (unas 1.028.000 ha) con respecto a los cultivos hortofrutícolas responde a limitaciones climáticas (en el caso de los regadíos interiores), pero no solo a ellas. En el valle del Guadalquivir y en el Bajo Guadiana se relaciona con la existencia de grandes explotaciones que se orientan hacia la maximización de los beneficios y la minimización del riesgo, y donde los cultivos subvencionados son la opción elegida.

**Figura 1. Porcentaje de superficie de regadío al aire libre sobre la superficie cultivada total en España (2016)**



Fuente: ESYRCE (2016a). Elaboración propia.

### ***3.2. Evolución de las superficies regadas y aprovechamientos en los regadíos intensivos mediterráneos***

Las dinámicas generales descritas en el epígrafe anterior presentan ciertos rasgos específicos en las provincias de Alicante, Murcia y Almería, área que concentra un elevado porcentaje de estos regadíos intensivos mediterráneos;

desde 2000 hasta la actualidad se evidencia una ligera disminución de la superficie regada al aire libre (-1 %) y un leve incremento de la de invernaderos (2,2 %) (Tabla 1). Si bien estas cifras encubren diferencias territoriales significativas: una elevada concentración de la superficie de invernadero (alrededor del 60 % del total nacional) y una progresiva reducción del peso de las hortalizas al aire libre como consecuencia de la difusión de estos aprovechamientos en provincias de Castilla-La Mancha (Albacete y Ciudad Real) y Andalucía (Almería), que ofrecen suelo y agua a menor precio, y permiten cultivar en ellas fuera del periodo invernal. Asimismo, se evidencian diferencias de tendencia entre estas tres provincias, siendo regresiva en Alicante, positiva en Murcia y variable en Almería, donde disminuye la superficie al aire libre pero se ha incrementado la de invernadero. Este comportamiento diferenciado puede explicarse en gran medida por la presión que estos terrazgos han registrado en el *boom* inmobiliario (1997-2008). En el periodo comprendido entre 2000 y 2011, en estas tres provincias se concentró el 13 % del total de nuevas viviendas visadas en España (Hernández *et al.*, 2014), con mayor intensidad en la de Alicante.

**Tabla 1. Evolución de la superficie regada en las provincias de Alicante, Murcia y Almería (2000-2016). En hectáreas**

	2000		2016		Diferencia 2016-2000	
	Regadío aire libre	Invernadero	Regadío aire libre	Invernadero	Regadío aire libre	Invernadero
Alicante	106.686	1.279	95.885	1.159	-10.801	-120
Murcia	164.810	4.786	187.073	3.948	22.263	-838
Almería	82.065	38.398	78.042	43.244	-4.023	4.846
Total	353.561	44.086	361.000	48.351	7.439	4.265
Total nacional	3.372.922	74.776	3.828.193	78.996	455.271	4.220
Total nacional (%)	10,48	58,96	9,43	61,21	-1,05	2,25

Fuente: ESYRCE (2016a). Elaboración propia.

Este análisis de superficies a escala provincial (Tabla 1) se puede concretar, de manera específica, en la denominada región climática del sureste peninsular, donde la extensión de cultivos hortícolas al aire libre e invernadero, en 2016, ascendía a 199.710 ha, distribuidas entre 54.291 ha correspondientes a «intensivos de Almería» (Bajo Almanzora, Campo de Níjar, Bajo Andarax

y Campo de Dalías), 100.523 ha de Murcia sureste (Valle del Guadalentín, Campo de Cartagena, Río Mula y Vega del Segura) y 44.896 ha del sur de la provincia de Alicante (Bajo Segura y Bajo Vinalopó) (CREM, 2016; Consejería de Agricultura, 2016; Centro de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2016 y Soto, 2015). Las superficies ocupadas, especialmente las que hacen referencia a cultivos en invernadero, presentan variabilidad a la hora de cómo sus cifras finales son cuantificadas por diferentes administraciones, e incluso dentro de una misma administración, en documentos estadísticos diversos (véase al respecto lo indicado en el apartado 2). Ello se asocia con al menos dos procesos. Por un lado, debido al empleo de diferentes conceptos (cultivo en invernadero y cultivo protegido) que se engloban bajo un mismo epígrafe. Por otro lado, el cómputo como superficie en invernadero o con cultivos protegidos la resultante de la suma de más de un ciclo productivo sobre la misma parcela. Todo esto determina que estas áreas se vean incrementadas y varíen según fuentes consultadas. En la provincia de Almería, el análisis de la superficie en invernadero *sensu stricto*, a partir de imágenes de satélite, ascendería a unas 32.000 ha (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2016). En 1996, la extensión de cultivos protegidos crecía a 70.000 ha, de las que más de la mitad estaban en Almería. Tras Andalucía (50.116 ha) se encuentra la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana, con 4.565 ha y 2.677 ha, respectivamente. En 2007, según las estadísticas oficiales, se habría producido un aumento de unas 4.000 ha; situándose su superficie alrededor de las 74.000 ha (Morales y Hernández, 2010) y en torno a las 78.000 ha en 2016, según MAPAMA (2016), predominando los cultivos denominados de primor o extratempranos. Al aire libre, hortalizas como la lechuga, la alcachofa o el brócoli, o frutas como el melón y la sandía presentan porcentajes superiores al 50 % y 35 % del total nacional. Estos valores se incrementan significativamente en cultivo protegido (Tabla 2).

En el periodo analizado (2000-2016), este sistema agrícola configurado en los años setenta viene definido por procesos de ajuste de entidad menor asociados a la reestructuración y a las modificaciones de ciertos aprovechamientos (intensificación de las prácticas e introducción de nuevas variedades y cultivos), buscando una mejora de los rendimientos y calidades de los frutos, una mayor rentabilidad económica y el abandono de otros como consecuencia de la competencia ejercida por otras zonas productoras. Es el proceso que se ha evidenciado en la Comunidad Valenciana, donde ciertas superficies de cítricos han sido sustituidas por caquis (provincia de Valencia) o por cultivos

tropicales, por ejemplo, el aguacate en la comarca de la Marina Baja (Alicante). Estos cambios auspiciados por la rentabilidad pueden traducirse en variaciones desde el punto de vista del recurso agua, a tenor de las diferentes demandas de unos aprovechamientos u otros, lo que podría acentuar, todavía más, la insuficiencia hídrica de estos territorios.

**Tabla 2. Principales aprovechamientos en la región climática del sureste español de hortalizas aire libre e invernadero (2016)**

	Hectáreas				%	Hectáreas
	Alicante	Murcia	Almería	Total	Superficie total nacional	Superficie total
<b>Aire libre</b>						
Lechuga	857	15.060	7.048	22.965	70,08	32.770
Melón	824	5.917	600	7.341	38,63	19.003
Sandía	194	2.142	1.622	3.958	38,61	10.250
Alcachofa	1.866	7.584	261	9.711	62,08	15.643
Brócoli	2.095	12.001	383	14.479	54,41	26.611
<b>Invernadero</b>						
Tomate	459	2.508	11.081	14.048	66,76	21.042
Pimiento	261	1.014	9.325	10.600	82,45	12.857
Melón	261	46	1.991	2.298	60,62	3.791
Sandía	10	72	5.478	5.560	80,29	6.925
Calabacín	70	68	7.116	7.254	91,70	7.911
Pepino	47	113	4.839	4.999	61,09	8.183
Berenjena	50	6	1.908	1.964	84,22	2.332

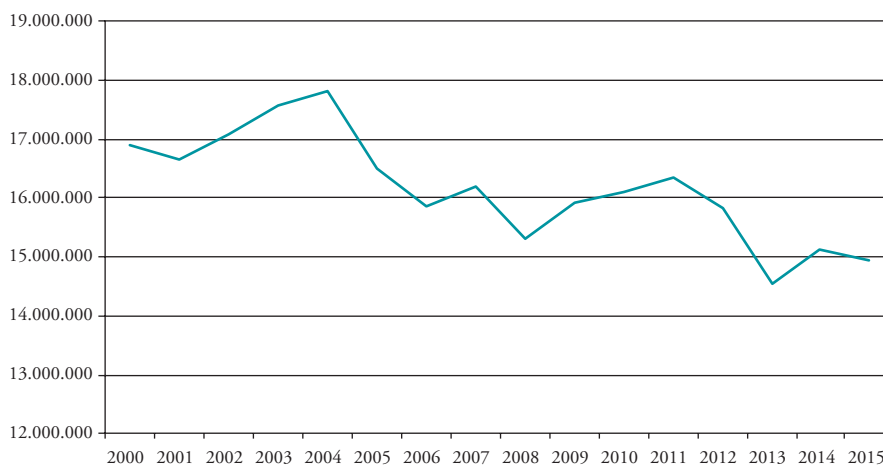
Fuente: ESYRCE (2016a). Elaboración propia.

#### 4. Evolución e incidencia de los usos agrícolas en el consumo de agua en España

En el periodo comprendido entre 2000 y 2014, el consumo de agua para usos agrarios en España ha registrado una disminución de 1.952 hm<sup>3</sup>, un 11,5 % (Gráfico 3). Esta cifra adquiere una mayor trascendencia territorial teniendo en cuenta que se ha producido en un periodo de incremento continuado de las superficies regadas. Esta tendencia, que podría calificarse como buena desde una óptica ambiental, encubre una nueva problemática como es la notable subida del gasto energético asociado a la extracción de aguas subterráneas, a su

elevación o a la utilización de aguas desalinizadas. Corominas (2010) señala que entre 1950 y 2007, esta demanda había aumentado de 206 kWh ha<sup>-1</sup> a 1.560 kWh ha<sup>-1</sup>, un 657 % y un 120 % entre 2008 y 2010, como consecuencia de la liberalización del mercado eléctrico.

**Gráfico 3. Evolución consumo agrícola de agua (2000-2015) en España. Miles de m<sup>3</sup>**

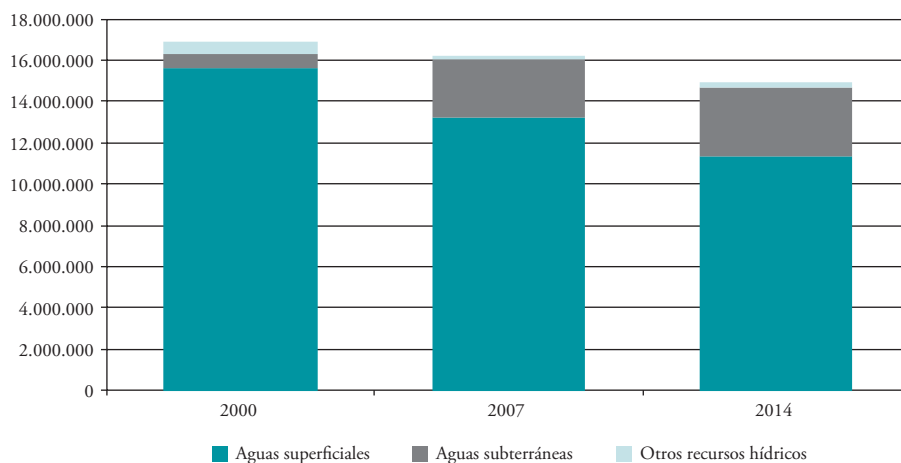


Fuente: INE (2017). Elaboración propia.

El análisis de los consumos de agua evidencia un predominio de los recursos superficiales, si bien han visto reducida su importancia (Gráfico 4). En el año 2000, el 92,3 % de los 16.896 hm<sup>3</sup> consumidos tenían procedencia superficial. Porcentaje que se ha reducido al 75,6 % en 2014, sobre un consumo total de 14.944 hm<sup>3</sup> (INE, 2017). Paralelamente, se ha incrementado el uso de aguas subterráneas, que han pasado del 4,08 % al 22,4 %, respectivamente. Ello permite aventurar que la creación y/o consolidación de áreas regadas en algunos territorios se ha producido como consecuencia de la sobreexplotación de acuíferos, lo que contribuye a acentuar los problemas ambientales de esos mismos territorios. Una tercera característica es la puntual utilización de recursos no convencionales. Esta dinámica encubre notables diferencias regionales. Es en aquellas comunidades con menores recursos hídricos superficiales (Islas Canarias, Islas Baleares y Comunidad Valenciana) donde los recursos subterráneos y no convencionales tienen una mayor presencia. Paradigmáticas, al respecto, resultan la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia,

donde estas fuentes de agua alternativas en 2014 representaban el 6,12 % y 12,32 %, respectivamente (INE, 2017).

**Gráfico 4. Evolución de la procedencia de las aguas en los regadíos españoles (2000-2014). En miles de m<sup>3</sup>**

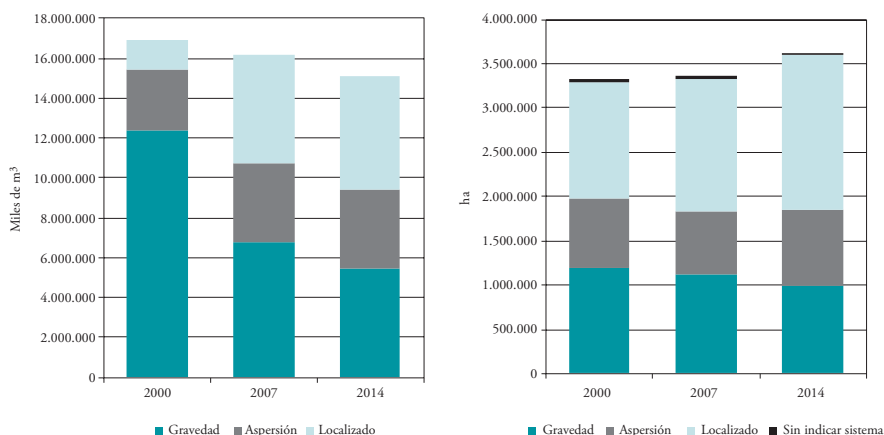


Fuente: INE (2017). Elaboración propia.

Mayor interés territorial y paisajístico muestra el análisis de las tipologías de riego (Gráfico 5). La disminución de las superficies regadas por gravedad (del 36 % al 17 %, entre 2000 y 2014) y de los volúmenes consumidos (del 78 % al 36 %) es paralela al incremento de las asociadas a riego localizado, tanto en las tierras regadas (del 39 % al 48 %) como en los consumos, que han pasado del 8 % al 37 % (INE, 2017; MAPAMA, 2016). Este aumento se relaciona con diversos procesos. En primer lugar, la modernización de regadíos, que se vincula a la sustitución de los sistemas de riego por inundación por otros con manejo de agua, dada su mayor efectividad y por las menores dotaciones hídricas que requieren (Morales y Hernández, 2010; Gómez-Limón y Villanueva, 2017). Proceso este auspiciado a partir de la década de los noventa desde diferentes administraciones en aquellas regiones con recursos hídricos insuficientes. Si bien ello ha permitido la expansión de los regadíos, también está generando, junto a otros factores, la desaparición de los regadíos tradicionales; entendidos estos, además de su función productiva, como paisajes con elevada biodiversidad y valor cultural. En segundo lugar, los menores costes económicos que comportan las transformaciones en regadío de antiguos seca-

nos al no ser necesario la adecuación de los terrazgos. Y, por último, su difusión unida a la conversión en regadíos de cultivos tradicionalmente pluviales (viñedo y olivar).

**Gráfico 5. Evolución del consumo (izquierda) y de la superficie (derecha) (2000-2014) según sistemas de riego**



Fuente: INE (2017) y ESYRCE (2015).

Esta dinámica general presenta una serie de rasgos específicos en la región del sureste peninsular, que se relacionan con un factor climático como es la aridez y el aumento de las demandas hídricas asociadas a la ampliación de las áreas regadas, y a la sustitución de aprovechamientos con mayores requerimientos hídricos a partir de los años sesenta:

1. La infradotación de los cultivos, especialmente en los de menor rentabilidad, aunque también presente en aquellos con altas demandas como son los «intensivos Almería». El informe *Agenda del Regadío Andaluz. Horizonte 2015* (2011) eleva el coeficiente de déficit a un 89 %.
2. Variaciones entre la superficie máxima y mínima regada dependiendo de coyunturas climáticas y de los recursos disponibles. El informe *El regadío en la Región de Murcia* (2015), por ejemplo, señala que esta oscila entre 167.128 ha y 143.456 ha, respectivamente.



3. Variabilidad de los recursos hídricos disponibles y, como consecuencia de ello, de las dotaciones hídricas. El Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) en sus memorias anuales, por ejemplo, la de 2015, refleja este proceso: el Trasvase Tajo-Segura proporcionó casi 325 hm<sup>3</sup> en el año hidrológico 2014-2015 frente a los 35 hm<sup>3</sup> de 2005-2006 (SCRATS, 2016).
4. Aprovechamiento integral e intensivo de los recursos hídricos disponibles. Este proceso se tradujo, en un primer momento, en el uso intensivo de aguas superficiales y, conforme fue incrementándose la capacidad tecnológica, las subterráneas, hasta generar notables procesos de sobreexplotación y contaminación de acuíferos. Una vez ambas fueron insuficientes se recurrió a recursos alóctonos (Trasvase Tajo-Segura), cuyo uso no ha estado exento de crecientes controversias entre regiones cedentes y receptoras. En una fase posterior, se procedió al uso de recursos no convencionales. En un primer momento (mediados de los noventa), aguas depuradas regeneradas y, desde mediados de la primera década del siglo XXI, desalinización. Paralelamente se han ido incorporando las pluviales mediante su recogida de las techumbres de los invernaderos, así como en los de tecnología más avanzada, del agua que se condensa en estas superficies por efecto de pared fría. Esa búsqueda de nuevos recursos explica que sea en estas regiones, donde el uso de aguas depuradas regeneradas presente los porcentajes de uso más elevados y una introducción temprana. Entidades de riego del Medio Vinalopó como la CR de Monforte del Cid junto a otras del Campo de Alicante (CR Alicante Norte) fueron pioneras en España en su utilización a finales de los años ochenta (Rico, 1996).
5. Introducción temprana de técnicas de uso eficiente del recurso agua. La Comunidad Valenciana, la Región de Murcia y Andalucía –más concretamente Almería– fueron pioneras en la introducción del riego por goteo, tanto en las nuevas roturaciones como en la sustitución de riegos tradicionales (Ramón, 1995). En la década de los años setenta, con la implantación de apreciables superficies de invernaderos, se hizo necesario controlar los flujos de agua que directamente debían aplicarse sobre el aparato radicular de las plantas, por lo que se utilizaron sistemas que aportasen estos volúmenes y que previamente hubieran sido enriquecidos con nutrientes. Al mismo tiempo, este sistema

de riego se mostró como gran economizador de volúmenes de agua en unos territorios que contaban con unas disponibilidades por debajo de las demandas. En el año 2000, el porcentaje de riego localizado en España se situaba en el 8,52 % frente al 34,09 % en Murcia, el 16 % en Andalucía o el 14 % en la Comunidad Valenciana. En 2014, este valor ascendió a 34,1 % en España, al 82,1 % en Murcia (por porcentajes superiores en el campo de Cartagena), el 66,7 % en Andalucía y el 49,5 en la Comunidad Valenciana (INE, 2017).

## **5. Repercusiones sociales y económicas de los sistemas agrarios intensivos mediterráneos**

La modernización y consolidación de los terrazgos irrigados y la creación de otros nuevos, cuando las disponibilidades hídricas lo permiten, supone establecer una política de mantenimiento de una agricultura viable y estratégica para el conjunto de la sociedad. Su importancia no es solo macroeconómica. Desde una óptica microeconómica, la transformación de secano a regadío ha supuesto para muchos agricultores la supervivencia económica. Según datos del Plan Nacional de Regadíos (MAPA, 2003), el 14,5 % de la superficie agraria era de regadío, pero aportaba el 55 % de la producción agraria nacional (PAN), generando un 30 % de los jornales del sector agrario, unos 600.000 empleos teóricos. Acentuándose su importancia si se tiene en cuenta que la industria de alimentación está vinculada directamente, y en gran medida, a las producciones de regadío (conservas vegetales, zumos, harinas, azúcar, alimentación animal, etc.). Igualmente, al analizar la balanza agraria alimentaria se aprecia que las producciones típicas de regadío, como las hortofrutícolas, influyen decisivamente en los saldos favorables de los intercambios comerciales. Según datos de 2015, el valor de la producción de la rama agraria ascendía a 45.490 millones de euros, del que aproximadamente el 60 % correspondía a la producción vegetal. Así, los epígrafes ‘hortalizas y frutas’ aglutinan los ingresos más elevados (8.968 y 8.841 millones de euros, respectivamente) frente a valores inferiores de aprovechamientos como: los cereales (3.606.7 millones de euros), el vino y mosto (1.002 millones de euros) o el aceite de oliva (1.771 millones de euros). Andalucía, la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia concentraron el 61,7 % de la producción de la rama agraria (MAPAMA, 2016). Las exportaciones españolas de frutas y hortalizas alcanzaron

en 2015 un valor de 13.658 millones de euros, sobre un total de 44.192 millones de euros del sector agroalimentario (MAPAMA, 2017).

La dinámica de las tierras de cultivo y de los aprovechamientos adquiere una mayor relevancia territorial y socioeconómica si se contrastan superficies, aportación al PIB y generación de empleo. La difusión de estos sistemas intensivos mediterráneos se determina por su capacidad para generar empleo. Frente a unos valores medios de 0,47 UTA/ha en el regadío valenciano o 0,17 UTA/ha en el andaluz, estos cultivos se caracterizan por cifras medias de 1,1 UTA/ha en brócoli y alcachofas, de 1,5 UTA/ha en melón, sandía, tomate y lechuga, y de 3,5 UTA/ha en pimiento y flores de invernadero. Estos datos contrastan con las 0,4 UTA/ha de cítricos y *prunus*, las 0,1 UTA/ha del viñedo en regadío o las 0,05 UTA/ha de los cereales (Morales, 2003; Hernández y Morales, 2009). Es decir, una hectárea de alcachofa precisa un trabajador a jornada completa durante todo un año, mientras que una de flores requiere tres. Otro rasgo característico de estos sistemas agrarios es la obtención de 2 o 3 cosechas anuales sobre una misma parcela en algunos cultivos hortícolas (lechugas o brócoli). Las elevadas demandas de mano de obra explican que alrededor del 13,8 % de la población de la Región de Murcia se dedique al sector primario. La capacidad para generar empleo directo se eleva por el efecto inductor de este sector económico, bien de manera directa en la industria agroalimentaria (esta supone el 11,1 % de la población activa de Murcia), o bien indirectamente, asociada a actividades relacionadas con la comercialización, el transporte de productos, la fabricación de *inputs* (como plásticos), las estructuras de invernadero o la investigación agraria.

La capacidad para generar empleo se relaciona con otro elemento fundamental como es la productividad del agua, que resulta muy elevada, dado el alto valor que alcanzan los productos en el mercado. La producción bruta de un cultivo de cereal en Castilla-La Mancha se situaría entre 0,12 y 0,18 euros/m<sup>3</sup> frente a los 0,55 euros/m<sup>3</sup> de los cítricos y los 0,80 euros/m<sup>3</sup> de los hortícolas al aire libre; creciendo esta a unos 3 euros/m<sup>3</sup>, en el caso de aprovechamientos en invernadero (SCRATS, 2016). Nos encontramos, por tanto, ante una agricultura con una clara rentabilidad social (creación de empleo) y económica (productividad de un m<sup>3</sup> de agua, aportación a la balanza comercial) más allá de una agricultura subvencionada.

## 6. Conclusiones

Los regadíos españoles han continuado incrementando su superficie en las primeras décadas del siglo XXI. La tendencia alcista presenta, sin embargo, diferencias significativas desde el punto de vista de los aprovechamientos y de los sistemas de regadío. Los cultivos que han registrado los mayores aumentos son viñedo y olivar, es decir, aquellos tradicionalmente de secano, frente a cultivos asociados secularmente al regadío, como hortalizas y frutales (cítricos o *prunus*), que presentan unas dinámicas más contenidas, cuando no regresivas, debido a la competencia de países con costes menores. Las ayudas procedentes de la PAC resultan fundamentales para entender el mantenimiento de las superficies de los regadíos extensivos (cereales y cultivos industriales), pero también la fuerte expansión que ha protagonizado el olivar o el viñedo. A esta clara dependencia de las ayudas europeas se une otro factor, incluso más negativo, como es el hecho de que están consumiendo agua en exceso, si bien su consumo se ha reducido ligeramente en los últimos años como consecuencia de la difusión del riego localizado. Ello provoca desequilibrios ambientales de difícil corrección posterior, por no decir imposible, y cuya extracción, en muchos casos, requiere gran cantidad de energía, cuyas fuentes hay que comprar, en gran medida, en los mercados internacionales, lo que acentúa la dependencia energética del país.

A esta situación actual del regadío español se ha llegado por la vía de la ausencia de una política centralizada de coordinación de los usos del agua y de su incidencia socioeconómica de conformidad con la PAC, y por las diferentes reformas auspiciadas desde principios de los noventa y la Directiva Europea del Agua (DMA). Las políticas al respecto son erráticas y descoordinadas, y en ningún caso responden al discurso conservacionista sobre el uso hídrico y mucho menos a las directivas de la UE. Resulta necesario un replanteamiento integral de las políticas orientado hacia una planificación de los cultivos para evitar ampliar superficies de regadíos, incrementar producciones con dificultades para su comercialización y elevar los excedentes y, a su vez, aumentar la insostenibilidad en el uso del agua.

Si los sistemas agrarios intensivos mediterráneos se caracterizan por una elevada rentabilidad social y económica, además de contribuir positivamente a la balanza comercial del país gracias a su orientación exportadora, no es menos cierto que presentan ciertas debilidades, entre las que cabe mencionar las dependencias energética, la tecnológica y la de recursos hídricos (Morales,

2016). En esta última, la planificación hidrológica pasa por un uso cada vez mayor del agua depurada regenerada, del desarrollo de técnicas que permitan una mayor eficiencia en la recogida de pluviales y de la apuesta por energías renovables, para reducir la dependencia energética que se acentúa con el uso de las aguas desaladas.

## Referencias bibliográficas

- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARÍN, C. (2017): «Elementos clave de la modernización de regadíos»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARÍN, C., coords.: *Efecto de la modernización de regadíos en España. Serie Economía 30*. Cajamar Caja Rural; pp. 13-20.
- CAMACHO, F. (2003): «Técnicas de producción en cultivos protegidos»; *Serie Agricultura*. Almería, Instituto Cajamar.
- COLINO, J. y MARTÍNEZ, J. M. (2002): «El agua en la agricultura del sureste español: productividad, precio y demanda»; *Mediterráneo Económico 2*; pp. 199-221.
- CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL (2016): «Estadísticas (agricultura)»; en <http://www.agroambient.gva.es/estadisticas> (acceso: abril de 2017).
- CONSERJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL (2016): *Cartografía de invernaderos en el litoral de Andalucía Oriental. Año 2016*. Junta de Andalucía; en [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios\\_informes/16/12/Cartografia%20invernaderos%20en%20el%20litoral%20de%20Andaluc%C3%ADa%20Oriental\\_v161201.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/16/12/Cartografia%20invernaderos%20en%20el%20litoral%20de%20Andaluc%C3%ADa%20Oriental_v161201.pdf) (acceso 29 de octubre de 2019).
- COROMINAS, J. (2010): «Agua y energía en el riego en la época de la sostenibilidad»; *Ingeniería del agua 17*(3); pp. 219-233.
- CREM (PORTAL ESTADÍSTICO DE LA REGIÓN DE MURCIA) (2016): «Datos sobre agricultura, varios años»; en <http://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/sicrem/PU590/Indice1.html> (acceso: abril de 2017).
- ESTEBAN, E.; CRESPO, D. y ALBIAC, J. (2017): «El agua subterránea en España. Modernización, gestión de acuíferos y ecosistemas»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARÍN, C., coords.: *Efecto de la modernización de regadíos en España. Serie Economía 30*. Cajamar Caja Rural; pp. 160-183.

- ESYRCE (2016a): *Encuesta sobre superficies y rendimientos cultivos* (varios años). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente; en <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/> (acceso: abril de 2017).
- ESYRCE (2016b): *Informe sobre regadíos en España*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente; en [http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/regadios2016\\_tcm7-460767.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/regadios2016_tcm7-460767.pdf) (acceso: abril de 2017).
- GARCÍA, M. C. (2011): *La adopción de tecnología en los invernaderos hortícolas mediterráneos*. Almería, Universidad de Almería y Fundación Cajamar.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. y VILLANUEVA, A. (2017): «La Política Agraria Común y la modernización de regadío»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARÍN, C., coords.: *Efecto de la modernización de regadíos en España. Serie Economía* 30. Cajamar Caja Rural; pp. 61-94.
- HERNÁNDEZ, M. y MORALES, A. (2009): «La hortofruticultura y las aguas del trasvase Tajo-Segura: repercusiones socioeconómicas»; en MELGAREJO, J., dir.: *El Trasvase Tajo-Segura: repercusiones económicas, sociales y ambientales en la cuenca del Segura*. Alicante, Fundación CAM; pp. 395-442.
- HERNÁNDEZ, M.; MORALES, A. y SAURÍ, D. (2014): «Ornamental plants and the production of nature (s) in the Spanish real estate boom and bust: the case of Alicante»; *Urban Geography* 35(1); pp. 71-85. Doi: 10.1080/02723638.2013.871813.
- IGN (2008): *Atlas Geográfico Nacional 1986-2008. Climatología*; en <http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/> (acceso: junio de 2017).
- INE (2017): «Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario. Serie 2000-2015»; en [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176839&menu=resultados&cidp=1254735976602](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176839&menu=resultados&cidp=1254735976602) (acceso: de junio de 2017).
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA Y CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (2016): «Estadística. Agricultura»; en [http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticay-cartografia/temas/est/tema\\_agricultura.htm](http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticay-cartografia/temas/est/tema_agricultura.htm) (acceso: junio de 2017).
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2011): *Agenda del regadío andaluz. Horizonte 2015*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca.

- MARTÍN, L. (2017): *El precio del agua en cuatro imágenes*. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/luis-martin-martinez/precio-agua-espana-4-imagenes> (acceso: julio de 2017).
- MAPA (2003): *Plan Nacional de Regadío. Horizonte 2008*; en <http://aplicaciones.mapa.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm> (acceso: junio de 2017).
- MAPAMA (2016): *Anuario de Estadística Agraria*, varios años. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente; en <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/> (acceso: abril de 2017).
- MAPAMA (2017): *Informe anual de comercio exterior agroalimentario y pesquero 2016*. Disponible en [http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeanual\\_tcm7-460073.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeanual_tcm7-460073.pdf) (acceso el 15 de julio de 2017).
- MORALES, A. (1997): *Aspectos geográficos de la horticultura de ciclo manipulado en España*. Alicante, Universidad de Alicante.
- MORALES, A. (2003): «Eficiencia de los regadíos españoles»; *Cuadernos de Geografía* 73-74; pp. 323-342.
- MORALES, A. (2016): «Reflexiones sobre estímulos y carencias actuales de la hortofruticultura española»; en OLCINA, J. y RICO, A. M., coords.: *Libro Jubilar en homenaje al profesor Antonio Gil Olcina*. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante, edición ampliada; pp. 631-651.
- MORALES, A. y HERNÁNDEZ, M. (2010): «Mutaciones de los usos del agua en la agricultura española durante la primera década del siglo XXI»; *Investigaciones Geográficas* 51; pp. 27-51; en <http://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2010-n51-mutaciones-de-los-usos-del-agua-en-la-agricultura-espanola-durante-la-primera-decada-del-siglo-xxi> (acceso: abril de 2017).
- RAMÓN, A. (1995): *Tecnificación del regadío valenciano: análisis territorial de la difusión del sistema del regadío localizado*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- RICO, A. M. (1996): «Depuración y reutilización de aguas residuales en el litoral alicantino»; *Papeles de Geografía* 23-24; pp. 245-261.

- RICO, A. M. y HERNÁNDEZ, M. (2008a): «El sector agrario español y su adaptación a la política agraria comunitaria en los últimos veinte años»; en ARAQUE, E.; GALLEGO, V.; SÁNCHEZ, J. D. y VALLE, B., eds.: *Las agriculturas españolas y la política agraria comunitaria: veinte años después*. Baeza, Universidad Internacional de Andalucía; pp. 15-43.
- SCRATS (2016): *Memoria 2015*; en <http://www.scrats.es/memorias-e-informes.html> (acceso: junio de 2017).
- SOTO, M. (2015): «El regadío en la Región de Murcia Caracterización y análisis [Conferencia]»; en <http://www.crcc.es/wp-content/uploads/2012/11/El-regadio-en-la-Region-de-Murcia.Caracterizacion-y-analisis.pdf>.
- TAMAMES, R. y RUEDA, A. (2014): *Estructura económica de España*. Madrid, 25.ª edición. Alianza Editorial.



# Impactos ambiental, social y económico de la modernización de regadíos en España

*Julio Berbel y Carlos Gutiérrez-Martín*

Universidad de Córdoba. WEARE

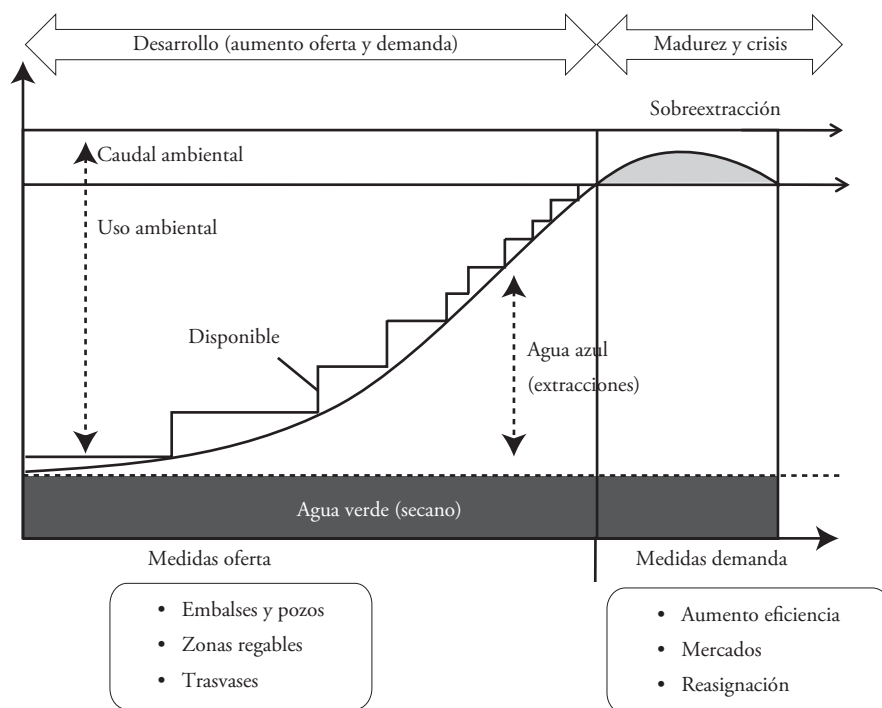
## 1. Introducción

La competencia por el uso del agua llega a ser insostenible en todos los países donde este recurso es escaso y valioso. Esto es algo evidente en todo el mundo, tanto en áreas con clima mediterráneo (California, Chile, Sudáfrica, Australia, Mediterráneo norte y sur) como en otras regiones áridas (llanuras del norte de China, India, etc.). Incluso en zonas templadas de Europa, donde el clima es lluvioso y más frío, se ha experimentado localmente escasez. La evolución del uso de recursos hídricos a lo largo del tiempo se resume en la Figura 1, que muestra cómo se produce lo que se denomina el ‘cierre de la cuenca’ (Berbel, Pedraza *et al.*, 2013), que no es otra cosa sino el paso desde la abundancia hasta una economía del agua madura, según define Randall (1981), donde la creciente demanda no puede ser satisfecha con nuevas infraestructuras de captación de agua (medidas de oferta) y las nuevas necesidades solo pueden ser atendidas mediante medidas o instrumentos que gestionen la demanda (medidas de demanda).

La crisis de escasez estructural ha coincidido en el tiempo con un cambio en los valores de la sociedad (cada vez más urbanizada) hacia un mayor peso de la sostenibilidad frente al crecimiento económico (Wei *et al.*, 2017), que demanda un mayor volumen de caudal ambiental y una mejora de la calidad del agua, promoviendo una reasignación de recursos desde los económicos (fundamentalmente el riego) hacia los ambientales. En todo el mundo se han propuesto fundamentalmente las tres medidas que plantea la Figura 1 para conseguir esta reasignación y volver a equilibrar la demanda, aunque en este trabajo nos centraremos exclusivamente en la medida de la modernización de regadíos y mejora de la eficiencia. El capítulo se ocupará de analizar el caso español, si bien es conveniente mencionar que las subvenciones a la mejora de eficiencia se han empleado prácticamente en todo el mundo cuando los gobiernos se han enfrentado a los problemas de escasez estructural (sobreasig-

nación o sobreuso) o coyuntural (sequías), de lo cual deducimos que en este caso España no ha «inventado nada», para bien o para mal.

**Figura 1. Evolución de una cuenca hacia su cierre**



Fuente: elaboración propia.

La modernización de regadíos no está exenta de polémica, ya que el posible «efecto rebote» (aumento de consumo tras la medida) ha sido mencionado en distintas publicaciones y en comunicaciones de carácter institucional que lo señalan como posible, como en el *Blueprint for Water* (Comisión Europea, 2012), UNEP (2012) y recientemente en un informe de FAO (Perry *et al.*, 2017). En el ámbito académico, además del trabajo mencionado de FAO, empiezan a aparecer muchos autores que apoyan la hipótesis del efecto rebote como Molle (2017) para el Norte de África, Dumont (2015) para algunos casos emblemáticos en España o van der Kooij *et al.* (2017), que ponen el foco en la reasignación de derechos implícita que podría generar la modernización

por medio de la «apropiación» de los flujos de retorno que se reducen como resultado del cambio técnico.

## 2. Las grandes cifras de la modernización de regadíos en España

La medida de modernización se plantea inicialmente en España vinculada a la gran sequía de los años 90 en el RD 678/1993, de 7 de mayo, sobre obras para la mejora y modernización de los regadíos tradicionales, y se vuelve a recoger en diversas normas, pero se materializa de nuevo en la sequía 2005-2008, concretamente en el RD 287/2006, de 20 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadío, conocido como «plan de choque». Con la finalidad urgente de «ahorrar agua» y adaptarse a la sequía extrema coyuntural, se puede asumir que en general los objetivos de estas políticas (de manera más o menos explícita) son los siguientes: en primer lugar, el ahorro de agua a través de la mejora en la eficiencia en el uso del agua y, en segundo lugar, potenciar un sector agrícola competitivo y rentable y, a través de ello, crear empleo en el medio rural y mejorar la calidad de vida del agricultor.

Las grandes cifras de la modernización se resumen en la Tabla 1, donde se ha incluido el caso de Australia (Murray-Darling), que tiene unos valores muy semejantes a los del caso español. Podemos deducir que los datos de coste-eficacia de ahorros brutos son comparables y sitúan el caso español en un contexto internacional.

**Tabla 1. Inversión, superficie y ahorros de las modernizaciones**

Región	Millones de hectáreas	Ahorro (hm <sup>3</sup> )	Inversión (millones de euros)	euros/ha	euros/m <sup>3</sup>	Subvención (%)
Australia (MDB) <sup>a</sup>	n/a	2.526	3.828	n/a	0,66	n/a
España <sup>b</sup>	1.790	2.362	4.000	2.235	0,59	56
España <sup>c</sup>	1.500	1.925	3.815	2.543	0,62	70
Andalucía (95-15) <sup>d</sup>	470	986	2.053	4.368	1,15	70

\* En todos los casos se trata de ahorros brutos estimados.

Fuente: <sup>a</sup>Grafton (2016); <sup>b</sup>Magrama (2016); <sup>c</sup>Naranjo (2010) y <sup>d</sup>Corominas y Cuevas (2017). Elaboración propia.

Los datos publicados por el Magrama (2016) parecen indicar que las previsiones iniciales de inversión y superficie se han visto ligeramente superadas por la realidad (Naranjo, 2010). La Tabla 2 muestra el resumen nacional de superficie regada por sistemas que, aunque específicamente no aporta datos de superficie modernizada, sí que permite hacer una estimación si se considera que la misma –que Magrama (2016) estima en 1,79 millones de hectáreas– ha permitido el aumento de riego por goteo y de aspersión, ya que el incremento neto de superficie regada total es solo del 1 %, fuera de las medidas de modernización.

**Tabla 2. Sistemas de riego en España (2000 y 2015)**

España	2000		2015		Incremento	
	ha	%	ha	%	ha	Anual (%)
Gravedad	1.973.336	59	978.125	27	-995.211	-3
Aspersión	802.712	24	862.189	24	59.477	0
Goteo	568.588	17	1.792.911	49	1.224.323	14
<b>Total</b>	<b>3.344.636</b>	<b>100</b>	<b>3.636.519</b>	<b>100</b>	<b>291.883</b>	<b>1</b>

Fuente: Corominas y Cuevas (2017).

En el caso de Andalucía, que supone el 26 % de la superficie modernizada en 2015 y por tanto sus valores son muy relevantes para el análisis de los datos globales, se observa que la inversión por hectárea y el coste por unidad de agua ahorrada han sido superiores. Esto se debe al tipo de modernización adoptado, que ha sido más intenso, y a la situación de partida con valores de dotaciones mucho más bajos que la media española, ya que el dato medio según estos autores pasa de 4.740 m<sup>3</sup>/ha en 1997 a 3.563 m<sup>3</sup>/ha en 2008, que contrasta con la media nacional que señala el Plan Nacional de Regadíos en 2005 de 6.965 m<sup>3</sup>/ha. Este ahorro ha sido posible porque ha existido un cambio tecnológico, que resume la Tabla 3 para el caso de Andalucía, que con el 25 % del riego nacional es muy representativo.

Parece relevante comentar, en esta primera aproximación al tema, el gran impacto territorial y el volumen económico implicado en esta medida y las grandes cifras de esta actuación a escala nacional.

**Tabla 3. Evolución de sistemas de riego en Andalucía. En porcentaje**

	1989 Censo agrario	1999 Inventario regadíos	2002 Inventario regadíos	2004 Inventario regadíos	2008 PHG 2010
Gravedad	61	45	40	38	22
Aspersión	27	20	22	17	12
Localizada	12	35	38	45	66

Fuente: Corominas y Cuevas (2017).

### 3. El ahorro de agua derivado de la modernización

El objetivo principal declarado de esta medida es el ahorro de agua, y esto justificaba el capital invertido ya que, como se ha mencionado, su aprobación y puesta en práctica fue una respuesta a las sequías de los años 1992-1995 y 2005-2008. La mejora en redes de distribución y el cambio tecnológico producido han generado un aumento de la eficiencia y como consecuencia una reducción de ahorros brutos (disminución en las extracciones de agua). En la Tabla 4 se observan algunas de las estimaciones que aparecen en Berbel y Gutiérrez-Martín (2017). Puede verse cómo el promedio de las observaciones está en un 30 % de reducción sobre la cifra de extracciones anterior a la modernización.

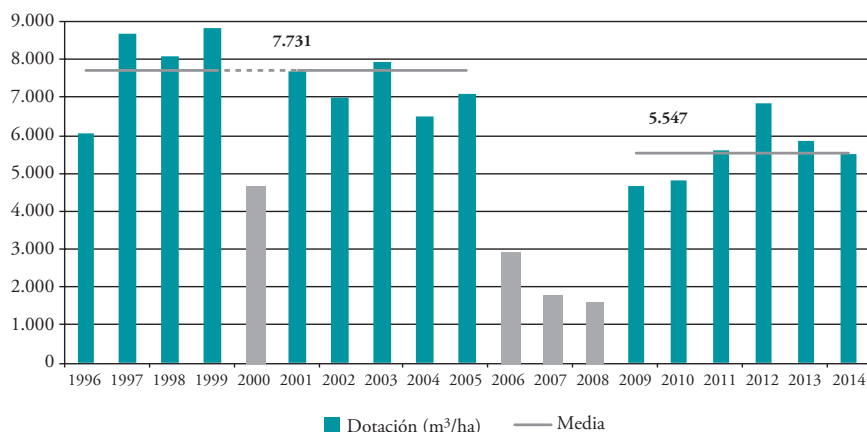
**Tabla 4. Ahorro de extracciones**

Región/cuenca	Muestra (ha)	Reducción de extracciones (%)
Guadalquivir	36.000	-30
Andalucía occidental	90.000	-25
Andalucía	470.000	-33
Comunidad Valenciana	60 CCRR	-40 a -60
Júcar (Acequia Real Júcar)	35.000	-45
Tajo (Canal Estremera)	2.903	-39
Ebro (varias CCRR)	+/- 200.000	-3 a -24

Fuente: Berbel y Gutiérrez-Martín (2017), a partir de varios autores.

El Gráfico 1 muestra las dotaciones de la Comunidad de Regantes de Guadalquivir, a la que pertenece la finca experimental de la Universidad de Córdoba. Hay que resaltar que esta comunidad ha reducido su superficie regada como consecuencia del proceso de urbanización de la ciudad de Córdoba.

**Gráfico 1. Dotaciones zona regable Guadalquivir (Córdoba). En m<sup>3</sup>/ha**



\* Las barras de color gris claro son años con restricciones por sequía.

Fuente: datos de las comunidades de regantes. Elaboración propia.

La gran cuestión es si este ahorro objetivo y medido de extracciones tiene un reflejo directo en la sostenibilidad de los sistemas hídricos. En otras palabras, cómo se convierte este ahorro bruto en ahorro neto a escala de cuenca. No hay muchos trabajos sobre este tema, pero podemos usar de referencia el de Berbel *et al.* (2011), reflejado en la Tabla 5.

**Tabla 5. Análisis coste-eficacia de la modernización en el Guadalquivir**

	CAE (euros/año)	Reducción brecha hm <sup>3</sup>	Ratio
Mejora de redes de distribución	44,99	2,19	20,5
Modernización comunidades de regantes	259,51	35,26	7,3
Suma	304,50	37,45	8,1

\* CAE significa 'coste anual equivalente'.

Fuente: adaptado de Berbel *et al.* (2011).

Las estimaciones de Berbel *et al.* (2011) se basan en la aplicación del modelo AQUATOOL a escala cuenca y considerando la mejora del estado cuantitativo de las masas de agua y el caudal ecológico; es decir, se refieren a la brecha entre el buen estado cuantitativo y la situación previa. La ‘brecha cuantitativa’ se convierte en la meta a resolver y por tanto aquellos ahorros que se producen en una masa en buen estado no entran en el concepto de ‘reducción de la brecha’. Esta diferencia conceptual explica la discrepancia de valores con los aportados por Corominas y Cuevas (2017), quienes estiman, usando un modelo más simplificado y a escala Andalucía, unos ahorros brutos del 25 % que se convierten, una vez que se tiene en cuenta las reducciones de retornos, en un ahorro neto del 12 %. Por lo tanto, aproximadamente por cada 2 m<sup>3</sup> que se dejan de extraer, la cuenca dispone de 1 m<sup>3</sup> de recursos ahorrados que sirven para aumento de caudales ecológicos, aumento de la reserva o «aumento de regadío», tema que se verá a continuación.

No obstante, es evidente que existe un ahorro y esto, en principio, es positivo. La siguiente pregunta es si la reducción de las dotaciones en parcela se traduce en un menor consumo.

#### 4. Uso y consumo

La sección anterior mostró que hay un ahorro de extracciones, y este ahorro supone que se extrae menos del acuífero, del embalse o del río. Esta variable se conoce como «uso del agua», es evidente que hay una reducción en el uso, pero para que esto suponga una mejora de la sostenibilidad debe darse respuesta a dos interrogantes:

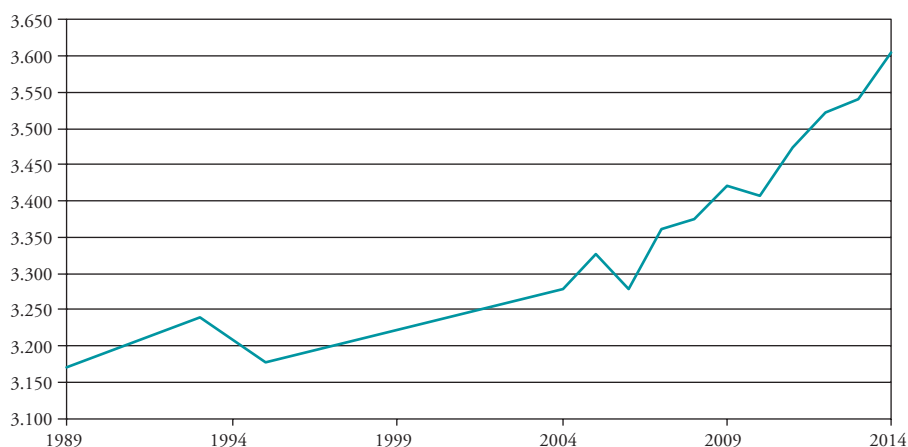
- ¿Cómo cambia el consumo de agua (evapotranspiración o ET) por hectárea?
- ¿Cómo evoluciona la superficie regada? ¿los ahorros se aprovechan en regar más hectáreas?

La respuesta a estas dos preguntas son las que determinan si existe o no lo que se conoce como «efecto rebote» de la modernización. Este efecto ya se ha comentado en la introducción, por lo que trataremos de estudiar la evidencia que pudiera existir en el caso español y, empezando por el final, analicemos la evolución de la superficie regada.

#### 4.1. Evolución de la superficie regada

La superficie de riego en España ha tenido un crecimiento continuo hasta el año 2005, en el que se ha estabilizado a escala nacional, aunque en algunas regiones ha continuado el crecimiento, si bien con una tasa menor. El Gráfico 2 muestra los valores de superficie regada en España.

**Gráfico 2. Evolución de la superficie regada en España. En miles de hectáreas**



Fuente: Magrama (varios años). Elaboración propia.

Del análisis del Gráfico 2 se puede deducir que en España, a escala nacional, no se puede afirmar a primera vista que desde que se inició la medida de modernización se haya mantenido constante la superficie regada. El caso andaluz es ligeramente distinto al de la nación, por lo que Corominas y Cuevas (2017) argumentan que la modernización sería la causa detrás de un aumento de superficie regada en Andalucía (1997-2008) en el rango (7,0 % a 9,3 %), con el incremento no ligado a modernizaciones del 2,3 %. Opinión que debemos matizar en base al trabajo de Borrego-Marín y Berbel (2017), que resumimos en la Tabla 6.



**Tabla 6. Superficies antes y después de la modernización, Andalucía**

CCRR	Superficie regada (ha)		Superficie regable (ha)	
	Antes	Después	Antes	Después
Andalucía, 9 CCRR	80.883	83.209	86.373	86.811
Guadalquivir, 5 CCRR	36.040	33.132	n/a	n/a

Fuente: Borrego-Marín y Berbel (2017) y Berbel *et al.* (2015).

En este cuadro se analizan dos muestras amplias de CCRR andaluzas, nueve en un caso y cinco en otro, con una pequeña reducción de la superficie regada en uno de ellos y un aumento en el otro, mientras que la superficie regable apenas cambia. Es decir, existía superficie con concesión y derechos de riego que por el mal estado de las redes no podía ejercer este derecho. Esta situación es similar a la que muestra el trabajo de Lecina (2010) en el Ebro y que se ha citado como ejemplo del efecto rebote, sin considerar que parte del problema era el mal estado de las redes de riego antes de la modernización que hacía imposible regar más que un porcentaje del perímetro teórico (y legal) de riego. Estos datos no cuadran con el argumento de Corominas y Cuevas (2017) de que las CCRR que se han modernizado sufren un aumento del área regada de un 7 %. ¿Dónde está la discrepancia? ¿Podría ser la superficie regada y regable? Se necesita un trabajo adicional para detectarlo.

¿Se puede considerar este aumento de superficie regada pero no ‘regable’ como una parte de las causas del rebote? La mayoría de los planes hidrológicos de cuenca en España tiene una limitación, como muestra el ejemplo del Plan Hidrológico 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».

La clave está en el incremento de superficie regada 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; o de Sanchis-Ibor *et al.* (2016), que detallan disminuciones del área regada en Valencia que llegan al 20 % en 10 años en algunos municipios, resultando de su trabajo de análisis que «solo el 10 % de las 60 entidades entrevistadas experimentaron una expansión del área regada mientras el resto permaneció estable o se redujo».

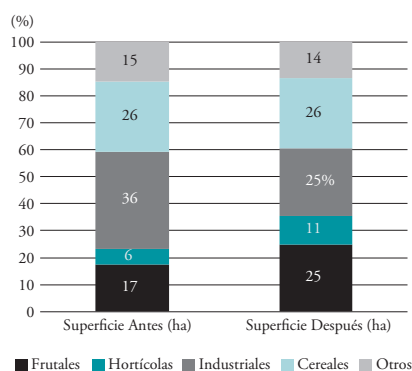
No obstante, en regiones donde todavía quedan recursos de agua, el aumento de la superficie de riego y del consumo pueden ser perfectamente asumibles cuando no se deterioren las masas de agua vinculadas. Esta situación existe actualmente en muchas regiones de Europa, incluida algunas zonas de España.

#### 4.2. Intensificación de cultivos y necesidades de riego

El siguiente tema a analizar es si se produce una intensificación de cultivos que lleva al aumento de consumo. Para analizar este punto disponemos del reciente trabajo de Borrego y Berbel (2017) que se resume en la Tabla 7.

**Tabla 7. Cambios de cultivos después de la modernización (muestra de Andalucía). En hectáreas**

Cultivos	Superficie antes	Superficie después
Frutales	14.116	20.584
Hortícolas	4.768	8.978
Industriales	28.964	20.669
Cereales	21.180	21.728
Otros	11.855	11.250
<b>Total</b>	<b>80.883</b>	<b>83.209</b>



Fuente: elaboración propia.

El aumento de frutales incluye una parte de olivar, si bien el cultivo que más crece son los cítricos. Otra fuente para estudiar la intensificación es el trabajo de Berbel *et al.* (2014) que analiza otra muestra de CCRR con 33.132 ha regadas entre los años 2009 y 2012. Con anterioridad a la modernización, los cultivos eran: algodón (26 %), maíz (24 %), remolacha (18 %), cítricos (9 %), hortalizas (4 %) y otros (9 %), y posteriormente: algodón (22 %), maíz (16 %), remolacha (8 %), cítricos (23 %), hortalizas (5 %) y otros (14 %). Este cambio de cultivos podría inducir a un mayor consumo (ET), sobre todo, si se da una intensificación y una doble cosecha. Podría subir la ET total y las necesidades de riego (la parte de la ET que se cubre con el ‘agua azul’). De hecho, esto ocurre en el trabajo mencionado, pero este riesgo se contrarresta con una disminución de la concesión de agua, que se reduce desde 8.000 m<sup>3</sup>/ha hasta 6.000 m<sup>3</sup>/ha. Esta bajada hace que los cultivos deban soportar un ligero déficit hídrico, ya que el ratio de riego aportado sobre necesidades de riego medio del cultivo, conocido como *relative irrigation supply* (RIS), baja de 0,97 hasta 0,86, lo que es posible por la adaptación al riego deficitario de la mayoría de los cultivos en la zona (López-Baldovin, 2008).

En resumen, aunque hay una tendencia natural a la intensificación y al aumento de la productividad del agua y otros factores, esta tendencia se puede amplificar con la modernización. La consecuencia de esta intensificación es un aumento de las necesidades de riego que, en el caso de que no tengan una limitación por parte de la Administración (reducción de concesiones) o de que la simple escasez del recurso impida un aumento de extracciones, acabaría provocando un mayor consumo.

## 5. Reducción de abonado y mejora de la calidad de los retornos

Existen pocos trabajos al respecto, entre los que Estrela (2017) detalla que en las zonas modernizadas del Júcar hay un ahorro de abonado nitrogenado de un 27 % (Acequia Real del Júcar) menos de nitrógeno por hectárea. Este ahorro se explica porque se pasa de un abonado extensivo con dos o tres aplicaciones al año a un abonado localizado y concentrado en el «bulbo» de la zona húmeda. En el Plan Hidrológico del Júcar (2015) se estima que la modernización consigue una reducción del exceso de nitrógeno en las masas de agua de la demarcación del orden del 10,5 %. En el caso del Ebro se ha estimado un 30 % de reducción de nitrógeno y un 8 % de reducción de sales y pesticidas.

Por su parte, García-Garizábal y Causapé (2010) estiman que la modernización del Canal de las Bárdenas con 15.500 ha en el Ebro obtuvo una reducción de retornos desde los 3.620 m<sup>3</sup>/ha anteriores a 450 m<sup>3</sup>/ha después de modernizar (un 88 % de reducción). Estos retornos arrastran una carga contaminante menor, que se evalúa en una reducción de los nitratos y de las sales vertidas del 50 %, respecto a la situación previa.

## 6. Aumento del valor añadido por la agricultura

En las zonas modernizadas normalmente hay un cambio de cultivos hacia aquellos de más valor. Corominas y Cuevas (2017) argumentan 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 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».

Los datos recogidos en la Tabla 7 son una muestra de estos cambios, de modo que podemos concluir que, en general, en las zonas modernizadas aumenta la superficie de cítricos, hortícolas, olivar y maíz mientras que principalmente disminuyen girasol, algodón, remolacha y trigo. No obstante, un análisis de las opiniones de los agricultores de zonas modernizadas en un trabajo sobre las razones del cambio de cultivos, evidencia que solamente el 33 % justificó los cambios en base a la modernización y el resto lo explicaba en base a causas normales de mercados, cambios en la PAC, etc. (Castillo *et al.*, 2017)

## 7. Aumento del coste del agua y tarificación volumétrica

La gran aportación en este campo es la de implantar sistemas de medición que permite implementar la tarifa volumétrica en más de 1,8 millones de hectáreas modernizadas. A este cambio se une el aumento del coste unitario, que Sanchis-Ibor *et al.* (2016) estiman en un 80 %, desde 515 euros/ha hasta 927 euros/ha (+80 %) en la Comunidad Valenciana. Por su parte, Borrego *et al.* (2017) estiman que el aumento en Andalucía ha sido desde 149 euros/ha antes de la modernización a 339 euros/ha después (+128,30 %) y Fernández García *et al.* (2014) detectan un incremento de los costes totales de riego en el intervalo que va desde 177 euros/ha (189 %) hasta 40 euros/ha (22 %).

Este aumento se debe al crecimiento de la parte de amortización y mantenimiento de las nuevas infraestructuras y, sobre todo, al coste de la energía que aumenta considerablemente, llegando a multiplicarse por seis veces frente al consumo anterior.

## 8. Cambios en la gestión de las zonas regables y los agricultores

El nuevo riego a la demanda y el aumento de la garantía de suministro ha facilitado la intensificación que se ha comentado, y esto permite a los agricultores más innovadores un cambio técnico hacia cultivos de mayor valor. Castillo *et al.* (2017) identifican que la intensificación productiva promovida por la modernización (1/3 de los encuestados que sustituyen cultivos herbáceos e industriales por frutales y hortícolas) la protagonizan mayoritariamente agricultores que se declaran más proclives a asumir riesgo empresarial.

Las mejores condiciones de trabajo hacen que el porcentaje de jóvenes agricultores que se incorpora crezca en un 80 % en las zonas modernizadas de Castilla-León frente a las no modernizadas<sup>1</sup>. En los nuevos regadíos el aumento de jóvenes que se incorporan a la agricultura es del 600 % frente al secano.

## 9. Discusión

La Tabla 8 y la Figura 4 muestran un resumen de los indicadores que se han venido analizando en las secciones anteriores.

Una reflexión sobre la reducción de concesiones y la experiencia internacional que parece relevante compartir es la experiencia australiana, que según comenta Grafton (2016) es muy similar en sus causas, mecanismos y efectos al caso español. Ya se comentó en la introducción que la inversión pública ha sido similar a la española, aunque en el caso australiano el gobierno retiene el 50 % de los ahorros frente al 100 % del caso español. Si bien en el caso australiano los derechos de riego son permanentes y volumétricos frente al sistema concesional español, también se ha observado una intensificación de cultivos hacia frutales y cultivos de mayor valor añadido como consecuencia de la modernización.

<sup>1</sup> Sáez González, R. Comunicación personal (8/6/2017).

**Tabla 8. Resumen de indicadores de impacto de la modernización**

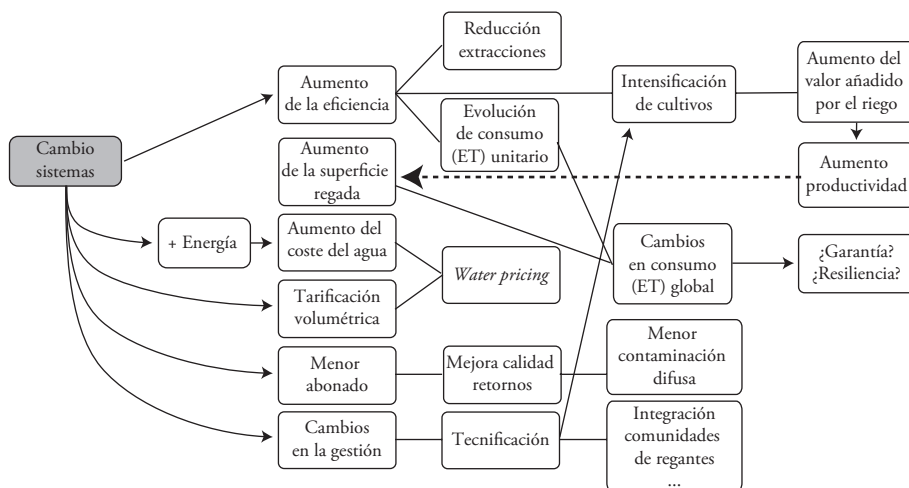
	<b>Respuesta</b>	<b>Impacto</b>	<b>Notas</b>
[1]	Ahorro de agua derivado de la modernización	Reducción entre 25 y 33 % de extracciones	
[2]	Reducción de concesiones	La Administración retiene el 25 % de la concesión	El 25 % viene a ser todo el ahorro estimado
[3]	Intensificación de cultivos	Aumento frutal/doble cosecha/hortalizas	
[4]	Evolución de la superficie regada	Prohibido/limitado en planes hidrológicos 2015	Algún plan permite retener el 45 % del ahorro en iniciativas privadas
[5]	Evolución de consumo (ET) por hectárea	Riego deficitario anterior → Aumento ET/ha Riego anterior buen estado + Recorte → No aumento ET/ha	Muy variable
[6]	Reducción de consumo (ET) global	Dependiendo de [4] y [5]	Dos condiciones para no existir aumento: no hay aumento de superficie y hay recorte de concesiones
[7]	Evolución abonado	Reducción 25 % presión	
[8]	Evolución calidad retornos	Reducción 80 % cantidad/calidad	
[9]	Aumento del valor añadido por la agricultura	Intensificación (muy variable)	Aumento frutales y hortalizas. Reducción cultivos PAC
[10]	Tarifación volumétrica	Obligatoria (100 %)	1,8 millones de hectáreas
[11a]	Coste del agua (superficiales)	Aprox. 150 % de aumento (muy variable)	Energía (+600 %), otros costes (+200 %)
[11b]	Coste del agua (subterráneas)	Reducción pérdidas de agua, ahorro energía	Pequeña reducción (euro/ha y euro/m <sup>3</sup> ) en algunas comunidades de regantes de aguas subterráneas
[12]	Cambios en la gestión de las zonas regables y los agricultores	Profesionalización gestores CCRR/fusiones/innovadores	

Fuente: Berbel y Gutiérrez-Martín, (2017). Elaboración propia.

Este aumento de cultivos altamente dependientes de la seguridad de suministro en Australia se resuelve con concesiones de agua de ‘alta seguridad/baja seguridad’ que cotizan a precios diferentes en el mercado. En cualquier caso, la mayor rigidez de la demanda puede suponer un riesgo en el caso de la próxima sequía, ya que la clave está en entender que en una asignación de derechos, o en una reasignación que se produce después de modernizar, lo que se está asegurando no es un volumen medio, sino un volumen máximo y una probabilidad de fallo de suministro como consecuencia de las sequías. La modernización aumenta por un lado la garantía de suministro, pero hace menos resiliente al sistema de riego al intensificar los cultivos y perder el ‘colchón’ que suponían los herbáceos que dejaban de regarse cuando la sequía reducía

la oferta. Estos dos efectos que se contraponen y convendría estudiarlos más a fondo en un futuro.

**Figura 2. Esquema de impactos de la modernización**



Fuente: elaboración propia.

## 10. Comentarios finales

Este trabajo ha presentado los datos disponibles en trabajos repartidos por distintas cuencas y sistemas de cultivo, tratando de plantear este tema tan complejo como importante con la esperanza de arrojar luz sobre una de las medidas de política agraria y ambiental de las últimas dos décadas en España. El análisis de los resultados de las modernizaciones efectuadas las últimas dos décadas en España arroja una serie de conclusiones que nos atrevemos a formular con carácter provisional, ya que los efectos de la modernización son de carácter dinámico y necesitaremos una década para acabar de evaluar el impacto global de la medida.

La modernización es una medida con un impacto multidimensional según se ha podido demostrar en este trabajo, muchos de sus resultados son claramente positivos: a) reducción de la contaminación difusa por la reducción de sales y agroquímicos exportados; b) aumento de la productividad de los factores (suelo, agua, trabajo); c) implementación generalizada de tarifas

volumétricas; d) mejora de las condiciones de trabajo que permiten retener a jóvenes agricultores; f) posibilidad de agricultura de precisión.

Otros resultados dependen de las medidas complementarias que se adopten, fundamentalmente de gobernanza, ya que el impacto final sobre el ahorro de agua es ambiguo. Por una parte, se reducen las extracciones, lo que permite aumentar la resiliencia y garantía frente a futuras sequías, pero por otra puede aumentar la evapotranspiración, lo que puede agravar la situación de las cuencas que ya se encuentran sobreexplotadas, que son las mayoría en España. Por tanto, el consumo de agua a escala de cuenca podría crecer tras la modernización si no se respetan dos restricciones clave: a) impedir el aumento de superficie regada y b) reducir las concesiones de agua en función de los ahorros obtenidos. Estas dos condiciones evitarían el conocido efecto rebote que, junto al aumento de consumo de energía, son los dos impactos negativos que pueden ir asociados a la modernización.

En otras palabras, la modernización tiene efectos positivos y puede tener efectos negativos si no se ejerce una gobernanza activa y ágil desde la Administración y desde el propio sector. La falta de gobernanza y la actuación de los poderes públicos de manera defensiva y con un grave retraso ha sido una constante en la gestión de aguas en España. Nuestro país cuenta con un marco normativo ejemplar y una capacidad técnica demostrada, pero eso no ha impedido que los problemas ambientales y la sobreexplotación de recursos (en especial los subterráneos) sean una constante que amenaza el futuro de amplias zonas españolas. Esperemos que después de este esfuerzo inversor se gestionen los recursos hídricos pensando en las generaciones futuras y no en el horizonte cortoplacista que ha sido habitual.

## Referencias bibliográficas

- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (coord.) (2017): «Efectos de la modernización de regadíos en España»; *Serie Economía* 30. Almería, Cajamar Caja Rural.
- 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.; 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.
- BERBEL, J.; PEDRAZA, V. y GIANNOCARO, 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. y BERBEL, J. (2017): «Impacto de la modernización de regadíos sobre el uso del agua y otras variables socioeconómicas en Comunidades de Regantes de Andalucía Occidental»; en BERBEL J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., coord.: «Efectos de la modernización de regadíos en España»; *Serie Economía* 30. Almería, Cajamar Caja Rural.
- CASTILLO, M.; BORREGO-MARÍN, M. M. y BERBEL, J. (2017): «Perspectiva del agricultor sobre el efecto de la modernización de regadíos en la distribución de cultivos»; en BERBEL J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., coord.: «Efectos de la modernización de regadíos en España»; *Serie Economía* 30. Almería, Cajamar Caja Rural.
- COMISIÓN EUROPEA (2012): «Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa»; *COM(2012) 673 final*. Bruselas: Comisión Europea.
- COROMINAS, J. y CUEVAS, R. (2017): «Análisis crítico de la modernización de regadíos. Pensando el futuro: ¿cómo será el nuevo paradigma? Análisis de los efectos de la modernización de regadíos»; en BERBEL J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., coord.: «Efectos de la modernización de regadíos en España»; *Serie Economía* 30. Almería, Cajamar Caja Rural.
- DUMONT, A. (2015): «Flows, footprints and values: visions and decisions on groundwater in Spain»; *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de 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.
- 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(1-4); pp. 36-43.

- GRAFTON, R. Q. (2016): «Editorial: Water Reform and Planning in the Murray-Darling Basin, Australia»; *Water Economics and Policy* 3(3); pp. 170-200.
- VAN DER KOOIJ, S.; KUPER, M.; DE FRAITURE, C.; LANKFORD, B. y ZUARTEVEEN, M. (2017): «Re-allocating yet-to-be-saved water in irrigation modernization projects»; en VENOT, J. F.; KUPER y ZUARTEVEEN, M., ed: *Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development*. Routledge.
- 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.
- LÓPEZ-BALDOVIN, M. J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. y BERBEL, J. (2006): «Multicriteria and multiperiod programming for scenario analysis in Guadalquivir river irrigated farming»; *Journal of the Operational Research Society* 57(5); pp. 499-509.
- MAGRAMA (2016): Presentación de la Jornada «Evaluación Ambiental, Directiva Marco del Agua y Cambio Climático en relación con el regadío». Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MOLLE, F. (2017): «Conflicting Policies: Agricultural Intensification vs. Water Conservation in Morocco»; *Working Paper*. Marseille, Institut de Recherche pour le Développement, UMR-G-Eau.
- NARANJO, J. E. (2010): *Problemática de la modernización de regadíos*. Comunicación presentada en XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, Tarragona.
- PERRY, C.; STEDUTO, P. y KARAJEH, F. (2017): «Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence»; Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa. Regional Initiative on Water Scarcity for the Near East and North Africa. Roma, El Cairo.
- 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.
- RANDALL, A. (1981): «Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy»; *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 25(3); pp. 195-220.

- SANCHIS-IBOR, C.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y AVELLÀ-REUS, L. (2016): «Effects of drip irrigation promotion policies on water use and irrigation costs in Valencia, Spain»; *Water Policy* wp2016025.
- 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.
- WEI, J.; WEI, Y. y WESTERN, A. (2017): «Evolution of the societal value of water resources for economic development versus environmental sustainability in Australia from 1843 to 2011»; *Global Environmental Change* (42); pp. 82-92.



# Productividad física del agua y la tierra

## Estrategias agronómicas para optimizar la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes de los sistemas agrarios intensivos

Diego S. Intrigliolo<sup>a</sup>, A. Pérez-Pastor<sup>b</sup> y A. Quiñones<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Consejo Superior de Investigaciones Científicas,

<sup>b</sup>Universidad Politécnica de Cartagena

y <sup>c</sup>Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

### 1. El uso del agua y los nutrientes en la agricultura mediterránea

La agricultura sostenible está basada en el uso eficiente de los recursos naturales con el fin de salvaguardar el medio ambiente y proporcionar rendimientos productivos que permitan satisfacer la necesidad de alimentos de una población en continuo aumento (Tilman *et al.*, 2002), objetivo prioritario de la nueva agenda de la ONU sobre desarrollo sostenible (UN 2015).

De todos los recursos naturales e insumos que se emplean en la agricultura, el agua es probablemente el factor más determinante de la productividad de los cultivos (Matson *et al.*, 1997). En la agricultura mediterránea, donde el clima es semiárido, la disponibilidad de agua en el suelo es además la principal limitación para la práctica de una agricultura económicamente sostenible; de ahí que España posea la mayor superficie de cultivo en regadío de la Unión Europea con cerca de 3,5 millones de ha (Eurostat, 2013). En este contexto, el manejo del riego es el principal determinante de la calidad y cantidad de las cosechas obtenidas. Además, una incorrecta gestión de los recursos hídricos disponibles puede tener también graves repercusiones medioambientales y socioeconómicas.

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, superficial o subterráneo, 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) en las parcelas, ya que se ha conseguido reducir la componente de evaporación de la evapotranspiración del cultivo (Feres *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.

Junto con el manejo del riego, las prácticas agrícolas desarrolladas desde el siglo pasado orientadas a aumentar la producción, además de requerir un elevado consumo energético, han provocando graves daños medioambientales; los dos más significados son, sin duda, la degradación del suelo y la redistribución y empeoramiento de la calidad de las aguas continentales. En este sentido, el principal problema de degradación del recurso hídrico es la contaminación por nitratos, siendo la contaminación difusa de los acuíferos por lixiviación del nitrato procedente de la sobrefertilización nitrogenada en zonas agrícolas de cultivo intensivo la que provoca un mayor impacto, con serias implicaciones medioambientales, sanitarias y económicas (Fernández Ruiz *et al.*, 2005).

En este contexto de agricultura sostenible, los esfuerzos deben ir encaminados a la optimización de la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) en las plantas, dado que es el nutriente que es aplicado en mayor proporción y da lugar a mayores problemas medioambientales que el resto de macronutrientes (fósforo y potasio). Una cuidadosa selección de la dosis y tipo de abono nitrogenado, una correcta distribución temporal de las necesidades nutritivas, un manejo del riego preciso y el empleo de nuevos fertilizantes menos contaminantes son factores de gran importancia para incrementar la eficiencia de absorción del nitrógeno aportado y, por tanto, reducir las pérdidas de nitrato por lixiviación.

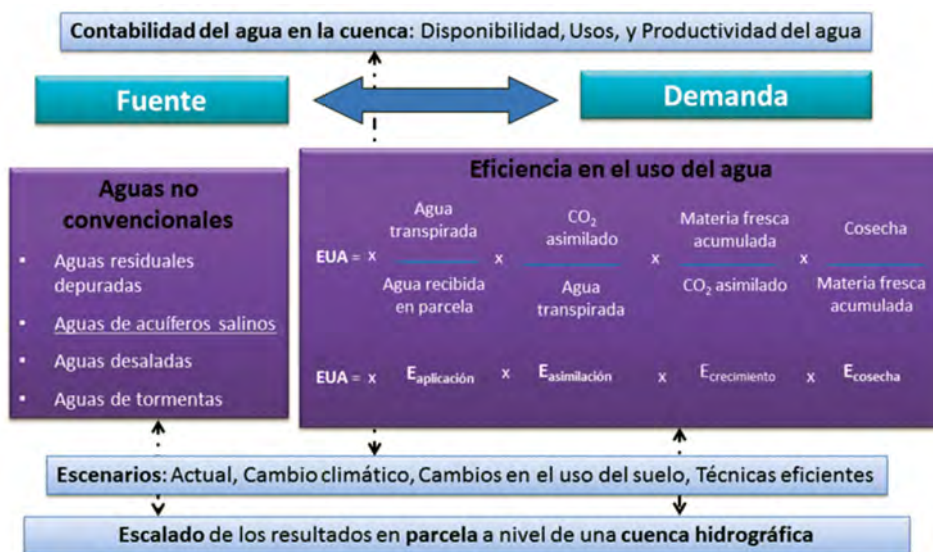
Además del nitrógeno, otros elementos son importantes y necesarios para el correcto desarrollo de las plantas. Por lo tanto, para mejorar la rentabilidad de los cultivos en la agricultura mediterránea se debe de realizar una gestión eficiente, no solo del agua de riego y del abonado nitrogenado, sino también establecer códigos de buenas prácticas agrarias, que consideren también el aporte del resto de nutrientes esenciales para los cultivos. Una práctica que mejoraría la eficiencia de uso, tanto del agua como del riego, es el Riego Deficitario. Sin embargo, el impacto de la aplicación del riego de-

ficitario sobre la nutrición de las plantas ha sido poco analizado y discutido. Aunque, en principio, la respuesta pueda depender estrictamente del cultivo, es posible que los resultados obtenidos en plantas de una determinada especie puedan extrapolarse a otras que tengan características comunes.

## 2. Gestión integral de los recursos hídricos en los sistemas agrarios

La gestión de los recursos hídricos se basa en un balance entre la fuente y la demanda de agua. Así pues, para llevar a cabo una correcta gestión de los recursos hídricos, es necesario tener en cuenta ambos componentes de este balance, las distintas escalas de trabajo y las posibilidades de actuación (Figura 1). Se debe además tener presente el marco global de gestión del agua en una cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta tanto las disponibilidades de agua como los límites de su uso y las productividades económicas y las externalidades ambientales derivadas del empleo del agua de riego en los distintos agroecosistemas existentes en una determinada cuenca hidrográfica o distrito de riego.

**Figura 1. Esquema de los aspectos a tener en cuenta para la gestión de los recursos hídricos en la agricultura**



\* Incluye las actuaciones posibles para incrementar la fuente de agua disponible o para optimizar la eficiencia en el uso del agua (EUA).

## 2.1. Posibilidades agronómicas para incrementar la fuente de agua

En la actualidad se están llevando a cabo diversas investigaciones en esta línea y ensayos agronómicos de larga duración que han demostrado los límites y las posibilidades del empleo de aguas residuales en la citricultura (Nicolás *et al.*, 2016). El principal problema en su empleo continuado radica en la elevada salinidad que este tipo de agua pueden contener y sus efectos negativos, a medio plazo, sobre el cultivo y, a más a largo plazo, sobre la estructura y permeabilidad del suelo. Sin embargo, este tipo de agua puede constituir en ocasiones una posibilidad para paliar los efectos negativos de la sequía extrema, además de constituir la única fuente de agua disponible para el riego en algunas zonas de litoral de la horticultura intensiva del Levante.

## 2.2. Demanda de agua. Eficiencia en el uso

Para incrementar la eficiencia en el uso del agua pueden llevarse a cabo actuaciones a distintas escalas de trabajo considerando la EUA desde una aproximación sistemática y cuantitativa (Hsiao *et al.*, 2007) que comprende desde la eficiencia hidráulica hasta llegar a lo que puede definirse como eficiencia de cosecha, en el sentido de optimizar el reparto de biomasa hacia los órganos cosechables de las plantas (Figura 1). Algunas de las líneas de actuación que pueden llevarse a cabo son:

- Optimizar la eficiencia en la aplicación del agua de riego diseñando estrategias de programación del riego basadas en modelos semiempíricos para determinar la transpiración del cultivo.
- Optimizar la eficiencia en la asimilación, es decir la cantidad de materia seca que es capaz de producir un cultivo a partir del agua transpirada, manipulando para ello el dosel vegetal con el fin de que intercepte la mayor cantidad de radiación posible en los momentos del día cuando la EUA a nivel de intercambio gaseoso es mayor.
- Optimizar la eficiencia en la cosecha, es decir incrementar el ratio de materia seca dirigida hacia los órganos cosechables con respecto al total de biomasa producida. Esto puede conseguirse mediante técnicas de riego deficitario controlado (RDC) adaptadas a los nuevos materiales vegetales existentes en particular en referencia a los portainjertos.



### 3. Eficiencia en la aplicación del agua de riego

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: las variables climáticas que influyen en la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente del cultivo ( $K_c$ ).

Las necesidades hídricas o evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se calculan como:

$$ET_c = ET_0 * K_c.$$

Sin embargo, el procedimiento arriba descrito para estimar las necesidades hídricas puede tener ciertas incertidumbres dado que una plantación, incluso de la misma especie y variedad, posee 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  $K_c$  y por lo tanto los que están disponibles en los servicios de asesoramiento pueden servir, en principio, 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  $K_c$  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 al equipamiento de riego de cada parcela. Por todo ello, en la actualidad es de gran interés profundizar en 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 semi-mecanicistas que, en todo caso, deben entenderse como estrategias complementarias y nunca excluyentes de la programación en base a información del clima ( $ET_0$  y  $K_c$ ).

En este sentido, las líneas de investigación actuales persiguen poner a punto, implementar y validar en condiciones de campo sistemas integrales de asesoramiento virtual (*online*) que pongan a disposición de los usuarios finales un sistema de toma de decisiones sobre el riego, centrado en cultivos hortofrutícolas típicos de la agricultura intensiva del Levante. Para ello se pueden

desarrollar e implementar una serie de herramientas de predicción de variables climáticas que permitan estimar la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva, además de desarrollar un modelo semimecánico para estimar el balance hídrico del suelo, cuantificando por separado la evaporación de agua desde el suelo mediante el modelo de Ritchie (1972), y la transpiración de las plantas, readaptando la formulación de Katerji y Rana (2006). Se considerará que la energía disponible será aquella que recibe y absorbe el cultivo. Para calcular la evaporación de agua desde el suelo, se modelizará la radiación neta recibida teniendo en cuenta el índice de área foliar del cultivo y, por lo tanto, su porcentaje de cobertura y su estado de desarrollo fenológico. El modelo puede también hacer uso de las técnicas de teledetección para estimar el vigor vegetativo de las plantaciones, utilizando en particular el índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI (del inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*) obtenido a partir de imágenes de los satélites Landsat y Sentinel u ortofotos aéreas para parcelas de muy pequeño tamaño.

#### 4. Técnicas de riego deficitario controlado

Una de las técnicas de riego cuyo uso ha dado los resultados más prometedores para incrementar la EUA es el riego deficitario controlado (RDC). Esta técnica, en definitiva, es una práctica cultural con la que manejamos la disponibilidad de agua en el suelo, imponiendo en periodos predeterminados déficit hídrico, tanto en el suelo como en la planta, que no deriven en pérdidas en la productividad final del cultivo o que incluso mejoren los beneficios económicos. Esta estrategia supone, por lo tanto, aplicar al suelo menos agua de la que en condiciones de disponibilidad óptima es capaz de evapotranspirar un determinado cultivo únicamente en algunas etapas fisiológicas muy concretas del árbol frutal.

En realidad el riego deficitario controlado fue desarrollado en primera instancia con otros objetivos distintos al del ahorro de agua. De hecho, en Australia, esta práctica cultural se llevó a cabo, por primera vez, para controlar el desarrollo vegetativo de árboles frutales.

Los primeros ensayos se desarrollaron en melocotoneros tardíos (Chalmers *et al.*, 1981) y, posteriormente, en perales (Mitchell *et al.*, 1984). En estos experimentos, el déficit hídrico fue establecido en aquellos momentos en los que la planta experimenta altas tasas de crecimiento de sus estructuras vegetativas y reducidas tasas de crecimiento del fruto. Durante estos periodos

bien determinados, los árboles fueron regados con cantidades inferiores a su  $ET_c$  potencial, mientras que se restablecieron dosis de agua normales justo antes del comienzo de la fase de crecimiento rápido del fruto. Estas estrategias permitieron reducir el desarrollo vegetativo del árbol sin mermas en la productividad final del cultivo.

Este concepto de RDC fue posteriormente exportado a otros países con el objetivo añadido de intentar minimizar los gastos hídricos. Si bien es cierto que el RDC es hoy día una técnica ampliamente extendida, menos información existe acerca de la práctica de fertilización que deberá llevarse a cabo en condiciones de RDC. Bajo condiciones de estrés hídrico las necesidades nutritivas pueden ser inferiores con respecto a cuando el riego se lleva a cabo para cubrir la totalidad de las necesidades hídricas del árbol.

## **5. Balance de energía en los huertos frutales. Técnicas para incrementar la eficiencia en la asimilación**

La productividad y el consumo de agua de las plantaciones dependen en gran medida de la cantidad de radiación solar que intercepta el dosel vegetal. En cultivos con un grado de cobertura vegetal del suelo inferior al 100 %, la luz capturada por la vegetación depende tanto del desarrollo vegetativo como del sistema de conducción y del diseño de las plantaciones. Por otro lado, la respuesta fisiológica de las plantas, en particular la estomática, se ve influenciada también por las condiciones ambientales, repercutiendo de forma directa en el intercambio gaseoso. A escala temporal diaria, el nivel de fotosíntesis, la transpiración y por lo tanto la eficiencia en el uso del agua, no solo son función del nivel de radiación interceptada sino también del momento del día en el que dicho nivel se alcanza. Por ejemplo, Corelli-Grappadelli (2003) demostró en manzano que la fotosíntesis de todo el árbol era menor por la tarde que por la mañana, a pesar de que los niveles de radiación interceptada en esos momentos eran iguales. Esto es debido a que, en general, en las horas centrales del día y durante la tarde, la temperatura y el déficit de presión de vapor del aire son mayores que por la mañana, lo que tiene un efecto directo sobre la tasa de evaporación de agua en las hojas. Así pues, al contrario de lo que ocurre con cultivos bajos y tupidos, como en el caso del césped, alrededor de la copa de los viñedos y frutales es menos probable que se formen espesas capas límites de aire que puedan almacenar el agua transpirada por las hojas (Jarvis, 1985).

Para el caso de viñedos en espaldera y los huertos de frutales en palmeta, mayoritariamente plantados en dirección de las filas norte-sur, existe la posibilidad de modificar fácilmente el nivel de radiación interceptada por las plantas a lo largo del día, aumentándolo o disminuyéndolo en función del grado de inclinación de la vegetación con respecto a la dirección de la radiación incidente. En los ambientes mediterráneos, caracterizados por veranos secos y despejados, buena parte de la radiación incidente es de forma directa lo cual justifica la adopción de estas prácticas. La hipótesis de partida es que en aquellas plantaciones de vid y/o frutales en palmeta con orientación de las filas norte-sur, la inclinación de la vegetación hacia el oeste puede incrementar la EUA ya que se reduciría la radiación interceptada por los cultivos en las primeras hora de la tarde, cuando la demanda evaporativa es mayor que a primeras horas de la mañana. Las investigaciones iniciadas recientemente en el marco del proyecto NITROGRAPE AGL2017-83738-C3-3-R han arrojado unos resultados preliminares esperanzadores dado que en la primera campaña de ensayos se pudo incrementar la EUA en un 16 % en plantas inclinadas 30° hacia el oeste frente a verticales (Buesa *et al.*, 2017). Estos resultados se han obtenido en condiciones de riego deficitario y será, por lo tanto, importante corroborarlos durante más años de estudio también en condiciones de secano.

## 6. Casos de estudio

A continuación se describen ensayos realizados en condiciones de campo donde se evalúa el efecto de la reducción de agua de riego sobre diferentes parámetros.

### 6.1. Efecto de riego deficitario controlado en paraguayó

Partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el riego y los fertilizantes durante periodos fenológicos no críticos sin afectar negativamente a los parámetros productivos del cultivo y de calidad del fruto, debido principalmente a la disminución de la pérdida de nutrientes por debajo del sistema radicular ocasionado por la lixiviación, se planteó un ensayo experimental llevado a cabo en una explotación comercial localizada en el término Municipal de Molina de Segura. El ensayo se realizó en el cultivo del paraguayó, variedad Carioca, de 4 años de edad, injertado sobre patrón híbrido GF677, con un

marco de plantación de 5,5 x 3,5 m. El agua de riego utilizada no superó una conductividad eléctrica de 2 dS/m, durante el período experimental.

Durante 2 años consecutivos (2015/16 y 2016/17) se aplicaron los siguientes tratamientos de riego: un control ( $T_{CTL}$ ), regado para satisfacer las necesidades hídricas y nutricionales del cultivo; y dos tratamientos de riego deficitario controlado ( $T_{RDC1}$  y  $T_{RDC2}$ ), regados como  $T_{CTL}$  durante los periodos críticos (segunda fase de crecimiento rápido del fruto y poscosecha inicial) y al 50 % de  $T_{CTL}$  durante la fase poscosecha final (desde mediados de julio a finales de octubre).  $T_{RDC2}$  se regó de igual forma que  $T_{RDC1}$ , pero reduciendo los fertilizantes en la misma proporción que el riego, por lo tanto la concentración de fertilizantes en el agua de riego fue la misma que en  $T_{CTL}$ . La tabla 1 muestra la reducción anual de aportes nutricionales aplicada en el tratamiento  $T_{RDC2}$ , respecto al resto de tratamientos, que promedian entre un 32 % de disminución para el fósforo, 19 % para el nitrógeno y un 13 % en el caso del potasio.

**Tabla 1. Unidades fertilizantes de los macronutrientes principales aplicadas a los tres tratamientos de riego ensayados durante el período experimental**

	Unidades fertilizantes (kg/ha)					
	$T_{CTL}$ y $T_{RDC}$			$T_{RDC2}$		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$
2015/2016	94	64	124	75 (-21 %)	45 (-30 %)	104 (-16 %)
2016/2017	94	64	124	77 (-18 %)	43 (-34 %)	110 (-11 %)

El volumen medio de agua aplicado en el tratamiento control fue de unos 7.000 m<sup>3</sup> ha-año<sup>-1</sup> y el ahorro de agua derivado de la aplicación de los tratamientos de RDC osciló entre 34 y 33 %, para los dos años ensayados, respectivamente (Tabla 2).

Durante el período experimental el estado hídrico del cultivo resultó ser sensible al déficit hídrico aplicado durante el período poscosecha final (a partir de mediados de julio hasta finales de octubre). En el tratamiento control, el potencial hídrico de tallo ( $\Psi_t$ , energía con la que es retenida el agua en el tallo) presentó valores medios en torno a -1,00 MPa durante los meses de ma-

yor demanda climática (Gráfico 1), lo que sugiere la ausencia de condiciones limitantes a la transpiración en los árboles de este tratamiento (Pérez-Pastor *et al.*, 2009). Los dos tratamientos de RDC mostraron valores de  $\Psi_t$  inferiores al control durante los períodos de riego deficitario;  $\Psi_t$  alcanzó valores de -1,50 y de -2,00 MPa, para 2015 y 2016, respectivamente; siendo muy similares en los dos tratamientos de RDC.  $\Psi_t$  no presentó diferencias significativas entre tratamientos el resto del año. La máxima contracción diaria del tronco (MCD) también mostró una elevada sensibilidad al déficit hídrico; así, mientras que el control alcanzó valores inferiores a 400  $\mu\text{m}$  durante el período experimental, los dos tratamientos de RDC incrementaron sus valores por encima de 600  $\mu\text{m}$ , en los períodos deficitarios (Gráfico 1).

**Tabla 2. Producción, número de frutos (F) por árbol, peso del fruto de paraguay Carioca, riego aplicado y eficiencia del uso del agua de riego (EUA) en los tres tratamientos de riego durante el período experimental**

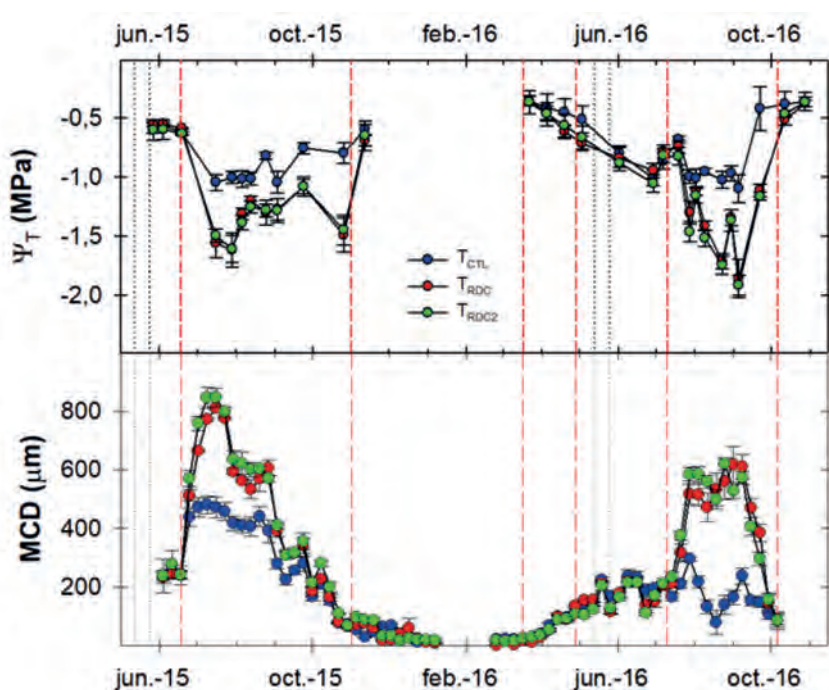
	Tratamiento	Producción (kg/árbol)	Núm. de frutos (núm. fruto/árbol)	Peso fruto (g/F)	Riego ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	EUA ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
2016	T <sub>CTL</sub>	37,0	425	87,4	6.774	3,3
	T <sub>RDC</sub>	37,8	435	87,1	4.448 (-34 %)	5,2
	T <sub>RDC2</sub>	37,5	438	85,7	4.448 (-34 %)	5,1
	Anova	ns	ns	ns	-	-
2017	T <sub>CTL</sub>	46,8a	561	83,7	7.260	3,9
	T <sub>RDC</sub>	47,7ab	550	86,6	4.863 (-33 %)	5,9
	T <sub>RDC2</sub>	53,1b	641	83,2	4.863 (-33 %)	6,6
	Anova	0,045	ns	ns	-	-

La evolución de la sección del tronco durante el período experimental se muestra en Gráfico 1, donde queda clara la influencia del déficit hídrico continuado sobre el tamaño del tronco de los árboles de los tratamientos de RDC, produciendo una disminución significativa de su sección del tronco desde el principio del ensayo. Sin embargo, durante el segundo año, al retrasar el período de aplicación del déficit unos 20 días, la reducción del tronco en los tratamientos deficitarios fue menor, tal y como se observa tanto en la tasa de crecimiento semanal del tronco, como en el crecimiento acumulado (Gráfico 2).

La producción obtenida en los árboles de los tratamientos ensayados se muestra en la Tabla 2. Durante los dos años de estudio (2015/16 y 2016/17),

con un ahorro de agua en torno al 33 %, la producción total y el número de frutos por árbol de los tratamientos de RDC fueron similares a la del control, presentado además  $T_{RDC2}$  valores ligeramente superiores al control en el segundo año. La eficiencia en el uso del agua (EUA, kilogramos por  $m^3$  de agua aplicada) mostró valores superiores (25 %) a los del tratamiento control (Tabla 2).

**Gráfico 1. Potencial hídrico de tallo ( $\Psi_T$ ) y máxima contracción diaria del tronco (MCD) para el paraguayo Carioca, en los tres tratamientos de riego durante el período experimental**



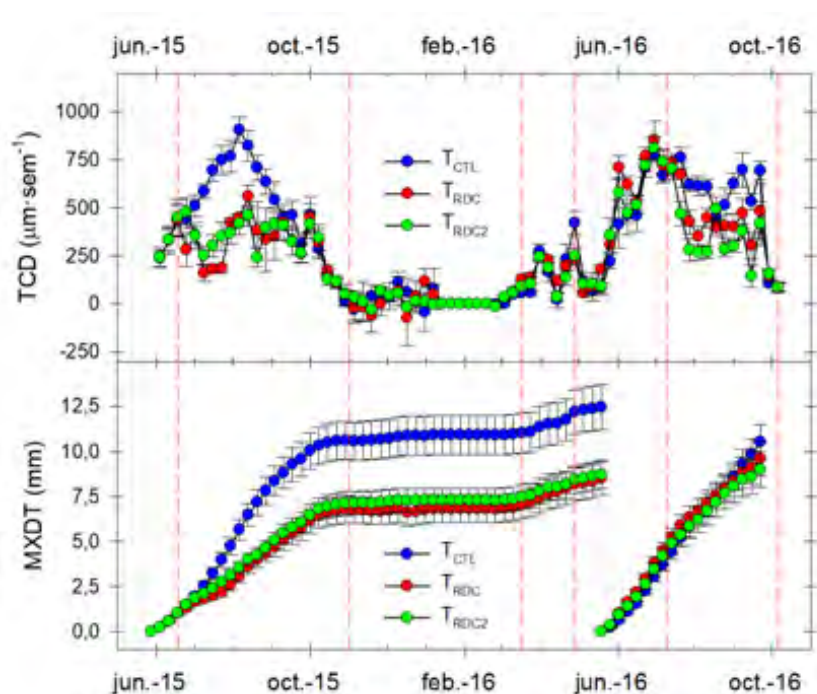
El efecto de los tratamientos de riego sobre las características físicas y químicas estudiadas (firmeza, sólidos disueltos, acidez e índice de madurez) de los frutos no fue significativo, excepto el primer año, en el que se presentaron valores ligeramente más elevados de sólidos disueltos en el tratamiento  $T_{RDC2}$ .

Los resultados obtenidos después de 2 años consecutivos, en los que se redujo tanto el agua aplicada como los nutrientes en los porcentajes indicados, han mostrado cómo los principales parámetros productivos estudiados no se



vieron afectados negativamente, tan solo el crecimiento vegetativo sufrió una reducción significativa debido al momento en el que se redujo el agua aplicada (a partir de la segunda quincena del mes de junio) durante el primer año, ya que esta reducción fue de menor importancia en el segundo año, al retrasarse la aplicación del déficit hídrico hasta mediados de julio.

**Gráfico 2. Tasa de crecimiento del tronco (TCD) y máximo crecimiento diario del tronco (MxDT) para el paraguayo Carioca, en los tres tratamientos de riego durante el período experimental**



Hay que tener en cuenta que en este cultivo la reducción de agua y nutrientes tuvo lugar durante el período poscosecha final, momento en el que aunque existe una elevada demanda climática las necesidades nutricionales del cultivo no son tan elevadas como en otras fases fenológicas, aunque se deben de asegurar la acumulación de reservas en los tejidos para el inicio del siguiente ciclo de cultivo.



## 6.2. Efecto de riego deficitario controlado en cítricos

En este contexto de optimización del consumo de agua de riego y reducción de la contaminación por nitrato de los acuíferos se realizó un ensayo en una parcela comercial de la variedad clementina de Nules (*Citrus clementina*, Hort ex Tan) injertados sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis*, Obs X *Poncirus trifoliata* L., Raf) de 10 años de edad (diámetro de copa de 3,25 m) y con un marco de plantación 3,5 m x 4,8 m. La parcela tenía un suelo básico (pH = 8,2) y textura franco-arenosa, con bajos contenidos en materia orgánica y caliza activa. El agua de riego presentaba una conductividad eléctrica de 2,0 mS cm<sup>-1</sup>, un contenido medio en nitrato de 273 mg L<sup>-1</sup> y altas concentraciones de calcio y magnesio, 211 y 103 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Con el objetivo de evaluar el efecto del RDC aplicado mediante dos sistemas de riego a goteo, superficial (S) y enterrado (E) sobre la producción, calidad del fruto y estado nutritivo del arbolado, se realizaron diferentes reducciones de la dosis de agua necesaria para cubrir las necesidades hídricas de las plantas:

- 1) Riego convencional (RC), 100 % de ET<sub>c</sub> durante todo el ciclo vegetativo.
- 2) Riego deficitario controlado (RDC) con la aplicación del 100 % ET<sub>c</sub> desde el inicio de la brotación-floración de primavera (marzo) hasta el cuajado del fruto (principio de julio) y el 70 % ET<sub>c</sub> desde el inicio de desarrollo del fruto (principio de julio) hasta el inicio de la brotación-floración del siguiente ciclo vegetativo.
- 3) Riego deficitario controlado (RDC) con la aplicación del 100 % ET<sub>c</sub> desde el inicio de la brotación-floración de primavera (marzo) hasta el cuajado del fruto (principio de julio) y riegos alternativos con el 40 o 100 % ET<sub>c</sub> desde el inicio de desarrollo del fruto (principio de julio) hasta el inicio de la brotación-floración del siguiente ciclo vegetativo.

Dando lugar a los seis tratamientos detallados en la Tabla 3. En cada uno de los tratamientos se realizaron tres réplicas de 18 árboles cada una, aunque en algunos de los mismos una de las repeticiones tan solo tenía 15 árboles.

El riego enterrado disponía de goteros especialmente diseñados para esta aplicación, que fueron enterrados a 30 cm de profundidad. Ambos sistemas de riego se aplicaban mediante dos líneas portagoteros por hilera situadas a

una distancia de 100 cm del tronco y ocho emisores autocompensantes por árbol (caudal de 4 L h<sup>-1</sup>).

La ET<sub>c</sub> se determinó según Penman-Monteit (Allen *et al.*, 1998) con los datos procedentes de la estación agroclimática del IVIA y el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) se obtuvo de acuerdo al porcentaje de área sombreada (Castel, 1991). La ET<sub>c</sub> dio lugar a unas necesidades hídricas teóricas de 5.319 m<sup>3</sup> ha-año<sup>-1</sup> en RC y de 4.422 m<sup>3</sup> ha-año<sup>-1</sup> en RDC (Tabla 4). En ninguno de los tratamientos realizados se disminuyó el aporte de nutrientes, aplicándose en todos ellos 570, 120, 475 y 1,5 g árbol-año<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y Fe, respectivamente. En el caso del N, el aportado por el agua fue del 42,6 % de la dosis de N.

**Tabla 3. Tratamientos realizados en función de la dosis de agua aportada y el sistema de riego utilizado**

Tratamientos	Sistema Riego	% ET <sub>c</sub>	Número de árboles
S-RC	Superficial	100	51
E-RC	Subterráneo	100	54
S-RDC <sub>70</sub>	Superficial	70	54
E-RDC <sub>70</sub>	Subterráneo	70	51
S-RDC <sub>40/100</sub>	Superficial	40-100	51
E-RDC <sub>40/100</sub>	Subterráneo	40-100	54

**Tabla 4. Reducción de los aportes de agua en los diferentes tratamientos**

Tratamientos	ET <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> ha-año <sup>-1</sup> ) <sup>Z</sup>	Riego (m <sup>3</sup> ha-año <sup>-1</sup> )	RC/RDC Riego (%) <sup>Y</sup>	RC/RDC Total (%) <sup>X</sup>
S/E-RC	5.319	3.350	0,0	0,0
S/E-RDC <sub>70</sub>	4.424	2.511	25,0	16,8
S/E-RDC <sub>40/100</sub>	4.420	2.507	25,2	16,9

Z: Dosis de agua aportada por la precipitación (1913) y agua de riego.

Y: Ahorro de agua de riego con el RDC con respecto al riego convencional con ambos sistemas de riego.

X: Ahorro de agua aportada a la plantación con el RDC con respecto al riego convencional con ambos sistemas de riego.

Al final del ciclo vegetativo, la aplicación de déficit hídrico del 70 % o con riegos alternos 40/100 %, desde el inicio de desarrollo del fruto (principio de julio) hasta el inicio de la brotación-floración del siguiente ciclo vegetativo, dio lugar a un ahorro de agua cercano al 17 % frente al riego convencional, si

tenemos en cuenta el agua total de riego aportada (lluvia y riego) y del 25 % del volumen de agua de riego aplicado.

La concentración foliar de P, K, Ca, S, Na, Fe, Cu y B se encontró dentro de los rangos considerados óptimos según las tablas de referencia establecidas en cítricos (Quiñones *et al.*, 2010). Sin embargo, el N no alcanzó el nivel óptimo, posiblemente debido a la alta producción obtenida, y el Zn y el Mn tampoco, principalmente debido a el bajo aporte de micronutrientes realizado. Por otro lado, el Mg presentó un nivel ligeramente alto debido, principalmente, a la elevada concentración de este elemento en el agua de riego. La disminución en el aporte de agua no originó, en general, diferencias significativas en el estado nutritivo de la plantación (Tabla 5). En la concentración foliar de fósforo, las plantas que recibieron déficit hídrico del 70 % en momentos no críticos del ciclo vegetativo, presentaron una concentración foliar de K significativamente superior al del resto de tratamientos. Además, los dos sistemas de riego deficitario mostraron un valor más elevado de Na foliar, aunque muy inferior al considerado tóxico para las plantas (< 0,16 %) y de Zn, siendo la concentración de este elemento superior, también, en los árboles regados con riego a goteo enterrado.

**Tabla 5. Concentración de macros y microelementos en las hojas de brotación de primavera muestreadas en noviembre**

Tratamiento	SR	% (peso seco)						ppm (peso seco)					
		N	P	K	Mg	Ca	S	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	B
RC	S	2,25	0,12	0,76	0,49	3,6	0,24	0,06	56,1	12,5	20,3	5,4	58,4
	E	2,28	0,11	0,71	0,46	3,5	0,24	0,05	68,5	13,1	22,7	6,1	69,1
RDC <sub>70</sub>	S	2,27	0,12	0,85	0,53	3,5	0,24	0,07	64,7	13,1	20,8	5,8	65,3
	E	2,22	0,12	0,86	0,48	3,5	0,23	0,06	72,1	14,4	21,7	6,0	62,9
RDC <sub>40/100</sub>	S	2,20	0,11	0,75	0,48	3,3	0,21	0,07	59,2	13,8	21,1	6,0	59,1
	E	2,27	0,12	0,75	0,48	3,5	0,24	0,06	62,8	15,0	20,9	6,8	60,2
	SR	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
	DR	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns

ns: diferencias no significativas entre tratamientos, debidas a los distintos factores analizado (SR o DR).

\* Diferencias significativas para  $p < 0,05$ .

En cuanto a la producción y número de frutos por árbol, el sistema de riego empleado afectó significativamente, obteniéndose una mayor cosecha (kg y número frutos) en los árboles regados mediante riego enterrado. Esto dio lugar a una mayor eficiencia de absorción tanto del agua aportada como de uso del nitrógeno (Tabla 6).

**Tabla 6. Producción y eficiencia de uso del agua de riego (EUA) y del nitrógeno aportado (EUN) al final del ciclo**

Tratamiento	SR	Producción Kg árbol <sup>-1</sup>	Peso fruto (g)	Núm. frutos árbol <sup>-1</sup>	EUA (kg m <sup>-3</sup> ) <sup>Z</sup>	EUN (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>Y</sup>
RC	S	44,5	111	402	4,98	78,07
	E	53,0	104	521	5,93	92,98
RDC <sub>70</sub>	S	35,9	107	334	4,83	62,98
	E	47,9	105	482	6,44	84,04
RDC <sub>40/100</sub>	S	29,9	101	296	4,03	52,46
	E	46,3	106	439	6,23	81,23
SR		*	ns	**	*	*
DR		ns	ns	*	ns	ns

Z: Eficiencia del uso del agua (EUA) calculada como producción obtenida (kg)/ volumen de agua aportada (m<sup>3</sup>).

Y: Eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) calculada como producción obtenida (kg)/N aportado (kg).

La mayor EUA se obtuvo en el tratamiento E/RDC<sub>70</sub>, mientras que la mayor EUN se observó en el tratamiento E/RC. En cuanto al riego deficitario, la producción tendió a disminuir (aunque sin ser significativo el efecto) cuando se realizan aportes alternantes de 40 y 100 % de la ET<sub>c</sub>, en mayor medida que del 70 %, frente al riego convencional. Esto es debido a que el número de frutos fue significativamente inferior en estos tratamientos.

El análisis de los resultados de todas las campañas de desarrollo del ensayo permitiría corroborar si los resultados obtenidos se repiten en el tiempo. Además, dado que se observan diferencias en la EUN, se deberían hacer aportes diferenciales para comprobar si se mantiene estas diferencias.

## 7. Conclusiones

La agricultura es en España el principal sector económico demandante de agua dado que utiliza cerca del 60 % de los recursos hídricos disponibles (FAO, 2013). Por lo tanto es necesario buscar fórmulas para optimizar la EUA en la agricultura. En este trabajo se han expuestos distintas alternativas agronómicas para incrementar la EUA de los cultivos leñosos mediterráneos. En el caso de la vid es posible manipular la vegetación y el sistema de conducción para buscar diseños de la plantación que permitan utilizar de forma más eficiente la radiación solar disponible. En cítricos, el riego subterráneo es una técnica de riego que permite notables incrementos en la EUA al anular la evaporación de agua desde el suelo, un componente improductivo del balance hídrico de los frutales. Finalmente en el caso del paraguayo se ha puesto de manifiesto que el riego deficitario controlado, en combinación con una restricción de los aportes de fertilizantes, permite incrementar de forma simultánea tanto la eficiencia en el uso del agua como la de los nutrientes. Aspecto de gran interés para minimizar las externalidades negativas sobre el medio-ambiente de una práctica de riego intensiva.

## Referencias bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): «Crop evapotranspiration (gridlines for computing crop water requirements)»; *FAO Irrigation and Drainage. Paper 56*. Roma, FAO.
- BUESA, I.; CACCAVELLO, G.; MERLI, M. C.; PUERTO, H.; RUIZ-CANALES, A.; MOLINA, J. M. y INTRIGLIOLO, D. S. (2017): «Vineyard trellis system orientation and inclination effects on water use efficiency and productivity of potted and field-grown grapevines»; *Acta Horticulturae* 1150; pp. 463-470.
- CASTEL, J. R. (1991): «El riego de los cítricos»; *Hortofruticultura* 5; pp. 41-52.
- CHALMERS, D. J.; MITCHELL, P. D. y VAN HECK, L. (1981): «Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning»; *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 106; pp. 307-312.
- CORELLI-GRAPPADELLI, L. (2003): «Light relations»; en FERREE, D. C. y WARRINGTON, I. A., eds.: *Apples: botany, production and uses*. Reino Unido, Oxon, Wallingford, CAB International; pp. 195-216.

- EUROSTAT (2003): [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY OFFPUB/KS-32-10-283/EN/KS-32-10-283-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-32-10-283/EN/KS-32-10-283-EN.PDF).
- FAO (2013): FAO's Information System on Water and Agriculture ACQUAS-TAT; <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>.
- FERERES, E.; GOLDHAMER, D. y PARSONS, L. (2003): «Irrigation water management of horticultural crops»; *Hort Science* (38); pp. 1036-1042.
- FERERES, E. y SORIANO, M. A. (2007): «Deficit irrigation for reducing agricultural water use»; *Journal of Experimental Botany* (58); pp. 147-159.
- FERNÁNDEZ RUIZ, L.; DANÉS CASTRO, C. y OCAÑA ROBLES, L. (2005): «Metodología de evaluación preliminar de presiones e impactos en las masas de agua subterránea»; *VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME*. Tomo II; pp. 1197-1208.
- HSIAO, T.; STEDUTO, P. y FERERES, E. (2007): «A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency»; *Irrigation Science* (25); pp. 209-231.
- JARVIS, P. G. (1985): «Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the omega factor»; *Acta Horticulturae* (171); pp. 187-205.
- KATERJI, N. y RANA, G. (2006): «Modelling evapotranspiration of six irrigated crops under Mediterranean climate conditions»; *Agriculture and Forest Meteorology* (138); pp. 142-155.
- MAGRAMA (2016): *Anuario de estadística agraria 2015*; pp. 1047.
- MATSON, P.; PARTON, W. G.; POWER, A. G. y SWIFT, M. G. (1997): «Agricultural intensification and ecosystem properties»; *Science* (277); pp. 504-509.
- MITCHELL, P. D.; HERIE, P. H. y CHALMERS, D. J. (1984): «The effects of regulated water deficit on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield»; *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* (109); pp. 604-606.
- 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 reclaimed water»; *Agriculture Water Management* (166); pp. 1-8.
- PÉREZ-PASTOR, A.; DOMINGO, R.; TORRECILLAS, A. y RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. (2009): «Response of apricot trees to deficit irrigation strategies»; *Irrigation Science* (27); pp. 231-242.

- QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; PRIMO-MILLO E. y LEGAZ, F. (2010): «Abonado de los cítricos (193-204)»; en *Guía Práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- RITCHIE, R. (1972): «Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover»; *Water Resource Research* (8); pp. 1204-1213.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; DOMINGO, R. y CASTEL, J. R. (2010): «Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain: a review»; *Spanish Journal of Agricultural Research* (8); pp. 5-20.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P.; NAYLOR, R. y POLASKY, S. (2002): «Agricultural sustainability and intensive production practices»; *Nature* (418); pp. 671-677.
- UNITED NATIONS (2015): *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*; pp. 3-35.





# La productividad económica en los sistemas agrarios intensivos del Mediterráneo

*Javier Calatrava y David Martínez-Granados*

Universidad Politécnica de Cartagena

## 1. Introducción

La superficie de regadío en España alcanza ya los 3,83 millones de hectáreas, lo que supone un 21,8 % de la superficie nacional de tierras de cultivo y el 7,2 % de la superficie agraria total (MAPAMA, 2015). Dicha superficie se ha incrementado un 109 % desde 1960 y un 36 % desde 1980 (MAPA, 1981 y MAPAMA, 2015).

Entre las causas de la expansión de la superficie regada, una de las más importantes es la mayor rentabilidad de los cultivos de regadío frente a los de secano. Pese a representar menos de la cuarta parte de la superficie agraria, el regadío genera aproximadamente dos tercios de la producción final agraria nacional de origen vegetal (el 64 % según Gómez-Limón, 2008, y el 67 % según MAPAMA, 2016b). En promedio, una hectárea de regadío genera un valor de producción 6,6 veces superior a una de secano (MIMAM, 2007) y un margen neto 4,4 veces mayor, si bien dicha ratio alcanza valores extremos en el caso de las provincias de Almería y Murcia con cocientes de margen neto regadío/secano de 50,3 y 25,7 respectivamente (MIMAM, 2007; Gómez-Limón, 2008). La agricultura de regadío aporta en promedio el 57 % de la renta agraria del país, frente al 22 % de la agricultura de secano y el 21 % de la ganadería (MAPAMA, 2016b).

Como se ha comentado, la región mediterránea es una de las zonas con mayor rentabilidad de la agricultura de regadío. Las condiciones climáticas de las zonas mediterráneas son especialmente limitantes para la actividad agraria de secano. A unas precipitaciones escasas, variables y desigualmente distribuidas, tanto espacial como temporalmente, se une una elevada evapotranspiración, lo que da como resultado un alto grado de marginalidad en la agricultura de secano de muchas de las provincias mediterráneas.

Por el contrario, lo benigno de las temperaturas, especialmente en invierno, supone unas condiciones muy favorables para el regadío y, muy especialmente, para la producción hortofrutícola temprana. De hecho, los cultivos hortícolas y frutales del país, que suponen el 24,7 % de la superficie nacional de cultivo y el 73,6 % de la producción final agraria vegetal, según datos de MAPAMA (2015), se localizan principalmente en los regadíos de las comunidades autónomas mediterráneas, Andalucía y Canarias.

Este trabajo analiza la productividad económica en los sistemas agrarios intensivos de regadío del sudeste español, una de las zonas con mayor escasez de agua de Europa y donde se localiza parte de la hortofruticultura más rentable del país. Se trata, en su mayoría, de sistemas de producción temprana, orientados principalmente a la exportación y basados en un uso muy intensivo de capital y mano de obra. Se caracterizan, asimismo, por el uso de tecnologías de cultivo avanzadas (sistemas de riego, variedades de cultivo, fertilización y protección fitosanitaria, mecanización, etc.) y un mayor uso de servicios técnicos. En primer lugar, se revisan algunos trabajos que han realizado estimaciones de la productividad y rentabilidad de la agricultura de regadío en el ámbito nacional. A continuación, se presentan diversas estimaciones a nivel agregado para el sudeste de España, procedentes tanto de la literatura sobre el tema como de valoraciones propias obtenidas a partir de estadísticas agrarias y de modelos económicos. Finalmente, se exponen estimaciones de la productividad económica de los principales factores de producción (tierra, agua y mano de obra) para una serie de cultivos representativos de la cuenca del Segura y de la horticultura bajo abrigo de la provincia de Almería.

## 2. La productividad económica de la agricultura de regadío en España

Diversos autores han analizado la productividad de la agricultura española regional y/o sectorial (San Juan, 1990; Aldaz y Millán, 1996; Fernández y Herruzo, 1996; Aguayo Lorenzo *et al.*, 2000; Reig y Picazo, 2002). Sin embargo, apenas existen trabajos que aborden dicho análisis diferenciando cuantitativamente entre secano y regadío o centrándose específicamente en la agricultura de regadío, como es el caso del estudio de Gómez-Limón (2008).

Sí que existe, por el contrario, una muy abundante literatura nacional con estudios en muchas cuencas hidrográficas y/o comunidades autónomas, que valoran los usos agrarios del agua mediante diferentes metodologías (residual,

programación matemática, preferencias expresadas, etc.), generalmente con el objetivo de analizar el impacto económico de diferentes políticas e instrumentos de gestión de los recursos hídricos. Se trata, en general, de trabajos con un ámbito espacial limitado, principalmente grupos de comunidades de regantes o subcuencas, siendo menos frecuentes los estudios autonómicos o de demarcación hidrográfica. Algunos ejemplos recientes son los de Berbel *et al.* (2011), Maestre-Valero *et al.* (2013), Martínez-Granados y Calatrava (2014), Esteve *et al.* (2015), Kahil *et al.* (2015), Alarcón y Juana (2016), Rey *et al.* (2016), Expósito y Berbel (2017), Martínez-Granados y Calatrava (2017), Montilla-López *et al.* (2017) y Pérez-Blanco y Gutiérrez-Martín (2017). Aunque el objeto de análisis es el factor agua, algunos de estos trabajos proporcionan resultados en términos de la productividad y rentabilidad de otros como la tierra y, más excepcionalmente, la mano de obra.

Una de las posibles causas es el hecho de que, salvo excepciones como la de MAPAMA (2016b), las estadísticas oficiales agrarias apenas proporcionan indicadores de productividad que diferencien entre secano y regadío a un nivel de agregación mayor que el cultivo, caso de las estadísticas de rendimientos provinciales por cultivos, por lo que cualquier análisis, que vaya más allá, requiere de una elaboración más o menos compleja de la información disponible. Existen, además, problemas de delimitación y desagregación de la información a nivel espacial, lo que añade complejidad a cualquier interpretación. Por ejemplo, mientras que las estadísticas de rendimientos de los cultivos están disponibles a escala provincial, tanto en secano como en regadío, las macromagnitudes agrarias, que hay en el ámbito autonómico y/o provincial, no diferencian entre secano y regadío. Por otro lado, los datos de usos del agua están disponibles por autonomías (encuesta de los usos del agua del INE), mientras que los hidrológicos suelen estar a nivel de cuenca, subcuenca o sistemas de explotación de recursos hídricos.

Pese a las mencionadas dificultades, existen varios trabajos, aparte del ya comentado de Gómez-Limón (2008), que caracterizan la productividad en la agricultura de regadío española. A continuación, se exponen algunos de los más relevantes. Uno de los estudios más completos es el realizado por el Grupo de Estudios Económicos del Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 2007), en el que se calcula, a partir de estadísticas oficiales para el período 1997-2002, el valor añadido bruto y el margen neto de explotación por hectárea y por m<sup>3</sup> de agua de riego a escala comarcal, diferenciando también según las principales orientaciones productivas. Según este estudio, los mayores ni-

veles de rentabilidad de la tierra de regadío, medida en euros de margen neto de explotación por hectárea, se concentran a lo largo de la costa de Andalucía, Región de Murcia y Comunidad Valenciana, así como en diferentes zonas de los Valles del Ebro, Tajo y Guadiana. En cuanto a la rentabilidad media del agua de riego calculada para el período 1997-2002, medida en términos de margen neto por  $m^3$  (euros/ $m^3$ ), esta oscila entre los 0,11 euros/ $m^3$  de la cuenca del Duero y los 1,32 euros/ $m^3$  de las cuencas mediterráneas andaluzas, con una media nacional de 0,29 euros/ $m^3$ .

Posteriormente, Gil *et al.* (2009) realiza un análisis provincial, también a partir de estadísticas oficiales, de la productividad de tierra y agua en el regadío para el año 2006. Sus resultados muestran de nuevo una mayor productividad de los factores tierra y agua en las provincias de la costa mediterránea y de Andalucía, así como en determinadas zonas del Ebro, Tajo y Guadiana, destacando especialmente las provincias de Almería, Huelva, Murcia, Alicante, Barcelona y La Rioja.

Por su parte, De Stefano *et al.* (2013) analizan la productividad de la agricultura de regadío por cuencas hidrográficas a partir de estadísticas oficiales agrarias e información hidrológica para el período 2005-2008. Dichos autores estiman el valor medio anual de la producción agraria de regadío para el período 2005-2008 en 15.300 millones de euros. La productividad media de la tierra de regadío estimada es de 4.572 euros/ha al año, valor que oscila entre los 2.341 euros/ha de la cuenca del Duero a los 15.123 euros/ha de las Islas Canarias. Finalmente, De Stefano *et al.* (2013) calculan un valor de la productividad media del agua de 1,27 euros/ $m^3$ , con valores que oscilan entre los 0,59 euros/ $m^3$  de la cuenca del Duero y los 3,26 euros/ $m^3$  para las cuencas mediterráneas andaluzas.

### 3. La productividad económica de la agricultura de regadío en el sudeste español

Centrándonos en el sudeste de España, las tablas 1 y 2 presentan diferentes estimaciones de la productividad media de la tierra de regadío y del agua, respectivamente, para las cuencas del Júcar y del Segura y la provincia de Almería. Las diferencias en los valores obtenidos por los diversos trabajos se explican por las distintas metodologías, datos utilizados y años de referencia

de la estimación. Hay que tener en cuenta que las mayores productividades del regadío de la cuenca del Júcar suelen darse en la provincia de Alicante, mientras que las de las cuencas mediterráneas andaluzas corresponden precisamente a la provincia de Almería. Con todo, los trabajos de Gil *et al.* (2009) y De Stefano *et al.* (2013) presentan valores similares, especialmente para Júcar y Segura, pese a no coincidir las delimitaciones espaciales de ambos estudios (provincial y cuenca hidrográfica, respectivamente). También hay que considerar, a la hora de analizar los valores por hectárea, que estos no suelen tener en cuenta las segundas ocupaciones del terreno, que se suelen producir en cultivos hortícolas.

Independientemente de estas diferencias, se observa, en todos los casos, cómo los mayores valores de productividad media de la tierra de regadío se dan en Almería, seguidos de la cuenca del Segura (que integra partes de Almería, Murcia, Albacete y Alicante) y la del Júcar. En todos ellos, la productividad media de la tierra es superior a la media nacional, si bien en el del Júcar las diferencias son menores.

**Tabla 1. Estimaciones de la productividad media de la tierra en el sudeste de España. En euros/ha**

Fuente	Júcar	Segura	Almería	España	Año
Albiac <i>et al.</i> (2008)	5.623	6.908	20.624	-	2001
Gil <i>et al.</i> (2009)	6.300 (+)	7.400 (-)	16.000	-	2006
De Stefano <i>et al.</i> (2013)	4.598	7.177	11.658 (*)	4.572	2005-2008

\* Valor para Alicante (+); valor para Murcia (-); valor para cuencas mediterráneas andaluzas (\*).

Similares resultados se obtienen en el caso de la productividad del agua de riego (Tabla 2), con el añadido de que los cálculos están fuertemente influidos por la consideración de los volúmenes de agua utilizados. Así, mientras que Albiac *et al.* (2008) atiende a escenarios más optimistas de disponibilidad de agua provenientes del Plan Hidrológico Nacional (MMA, 2001), Colino y Martínez-Paz (2007) consideran consumos de agua a nivel de cultivo, lo que explica las diferencias con los trabajos de Gil *et al.* (2009) y De Stefano (2013), que presentan valores similares entre sí.

**Tabla 2. Estimaciones de la productividad media del agua de riego en el sudeste de España. En euros/m<sup>3</sup>**

Fuente	Júcar	Segura	Almería	España	Año
Albiac <i>et al.</i> (2008)	0,82	1,24	4,84	-	2001
Colino y Martínez-Paz (2007)	-	2,60 (-)	-	-	2005
Gil <i>et al.</i> (2009)	1,30 (+)	1,60 (-)	3,40	-	2006
De Stefano <i>et al.</i> (2013)	1,36	1,81	3,26 (*)	1,27	2005-2008

\* Valor para Alicante (+); valor para Murcia (-); valor para cuencas mediterráneas andaluzas (\*).

Valores más elevados de la productividad media del agua de riego se obtienen a partir de los datos del valor de la producción final agraria de origen vegetal proporcionados por las estadísticas agrarias oficiales y los consumos de agua de riego contemplados en la «Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario» (INE, 2014), que se muestran en la Tabla 3. Las diferencias con la Tabla 2 se deben principalmente a la consideración de los volúmenes reales consumidos en lugar de las disponibilidades medias de agua contempladas en los planes de cuenca, que suele ser la fuente de información más utilizada en la mayoría de trabajos y que suele implicar mayores volúmenes de agua. También hay que tener en cuenta que, tanto en el Segura como, muy especialmente, en el Júcar existe una importante superficie de regadío extensivo de interior, lo que hace que los valores que puedan obtenerse para la totalidad de ambas cuencas sean necesariamente inferiores a los obtenidos para la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana, respectivamente.

**Tabla 3. Estimación de la productividad media del agua en Almería, Región de Murcia y Comunidad Valenciana en 2014 a partir de estadísticas oficiales agregadas**

	Com. Valenciana	Región de Murcia	Almería	España
PFA vegetal (millones de euros/año) (*)	2.693	1.565	1.906	27.552
Consumo de agua de riego (hm <sup>3</sup> /año) (+)	1.343	609	354	15.129
Producción media por m <sup>3</sup> (euros/m <sup>3</sup> ) (-)	1,96	2,52	5,28	1,22

(\*) Incluye tanto secano como regadío. MAPAMA (2015) y Junta de Andalucía (2014).

(+) Elaboración propia para la provincia de Almería a partir de datos de la Junta de Andalucía. INE (2014) y Junta de Andalucía (2016).

(-) Se asume que el regadío supone un 67 % de PFA vegetal nacional y un 98 % en las tres zonas consideradas. MAPAMA (2016b).

En cuanto a la rentabilidad media del agua de riego en el sudeste de España, las escasas estimaciones existentes son similares en términos cualitativos a las contempladas en los estudios antes mencionados para la productividad media del agua. Por ejemplo, el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 2007) estima, para el período 1997-2002, un margen neto medio por  $m^3$  de 0,37 euros/ $m^3$  para la cuenca del Júcar, de 0,55 euros/ $m^3$  para la del Segura y de 1,32 euros/ $m^3$  para las cuencas mediterráneas andaluzas, valores todos ellos superiores a la media nacional de 0,29 euros/ $m^3$ .

Por su parte, Calatrava y Martínez-Granados (2012) estiman el valor medio del agua de riego en la cuenca del Segura, medido en términos de margen neto de explotación por  $m^3$ . Sus resultados permiten ilustrar la sensibilidad del cálculo de la productividad y rentabilidad media del agua de riego a los volúmenes de agua estudiados en el análisis. Así, el margen neto por  $m^3$  calculado por estos autores considerando la disponibilidad de agua teórica en alta contemplada en el Plan Hidrológico Nacional (MMA, 2001) es de 0,68 euros/ $m^3$ , valor de similar orden de magnitud al calculado por MIMAM (2007). Sin embargo, cuando se observa un escenario más realista de disponibilidad de recursos, el valor medio estimado sube hasta 0,81 euros/ $m^3$ . Finalmente, cuando se tienen en cuenta los volúmenes netos de agua efectivamente recibidos por los regantes en sus explotaciones, Calatrava y Martínez-Granados (2012) obtienen un margen neto medio por  $m^3$  de 0,95 euros/ $m^3$ .

Posteriormente, Maestre-Valero *et al.* (2013) realizan, a partir de una versión recalibrada del modelo económico utilizado por Calatrava y Martínez-Granados (2012), una estimación más exacta de la productividad media del agua en la cuenca del Segura, al tener en cuenta en el análisis los volúmenes de agua perdidos por evaporación y que, por tanto, no son utilizados en la producción agraria. De sus resultados se obtiene un valor de la productividad media del agua en alta de 2,05 euros/ $m^3$  y del margen neto medio por  $m^3$  en alta de 0,89 euros/ $m^3$  (Tabla 4).

La mayoría de los trabajos comentados se centran en el análisis de la productividad o la rentabilidad de los recursos tierra y agua, sin prestar atención a aspectos más sociales como la generación de empleo. En este sentido, y a modo de ejemplo, la Tabla 4 muestra una serie de indicadores de productividad y rentabilidad de los factores tierra, agua y mano de obra, así como el uso de mano de obra por hectárea y  $m^3$  de agua de riego, calculados para las cuencas del Segura y Bajo Almanzora (Almería). Puede verse en dicha tabla cómo el empleo generado es de 0,36 y 0,45 UTA por hectárea, respectivamen-

te. Estos valores son muy superiores a la media nacional de 0,033 UTA/ha, calculada a partir de datos de la Red Contable Agraria Nacional (RECAN) tomados de MAPAMA (2015). Asimismo, el empleo generado por volumen de agua es de 60 y 77,5 UTA por hm<sup>3</sup> de agua utilizada (valores en alta) para el Bajo Almanzora y el Segura, respectivamente. La productividad de la mano de obra está en torno a los 34.000-35.000 euros/UTA, frente a un valor medio para la agricultura española de 31.866 euros/UTA (cálculos propios a partir de datos de la RECAN tomados de MAPAMA, 2015).

**Tabla 4. Productividad, rentabilidad y generación de empleo por hectárea, m<sup>3</sup> de agua de riego y mano de obra en la cuenca del Segura y la subcuenca del Bajo Almanzora**

	Cuenca del Segura	Bajo Almanzora
Productividad de la tierra (euros/ha)	12.365	17.094
Margen neto por hectárea (euros/ha)	5.343	5.992
Mano de obra por hectárea (UTA/ha)	0,36	0,45
Productividad media del agua (euros/m <sup>3</sup> )	2,05	2,72
Margen neto por m <sup>3</sup> (euros/m <sup>3</sup> )	0,89	0,95
Mano de obra por hm <sup>3</sup> (UTA/hm <sup>3</sup> )	60,04	77,50
Productividad de la mano de obra (euros/UTA)	34.198	34.937
Margen neto por UTA (euros/UTA)	14.776	12.247

\* Valores calculados considerando los volúmenes de agua consumidos medidos en alta.

Fuente: Indicadores para la cuenca del Segura calculados a partir de los resultados de Maestre-Valero *et al.* (2013). Indicadores para el Bajo Almanzora calculados a partir del modelo utilizado por Maestre-Valero *et al.* (2013), modelo que incluye tanto las zonas regables de la cuenca del Segura como otras situadas fuera de ella que se nutren del trasvase Tajo-Segura, caso del Bajo Almanzora.

## 4. Análisis de la productividad y rentabilidad de los principales cultivos del sudeste español

Los valores de productividad y rentabilidad comentados en el apartado anterior son estimaciones agregadas a escala regional/provincial/cuenca, por lo que incorporan todos los usos agrícolas del agua. Sin embargo, existen notables diferencias entre cultivos. A continuación, se presenta una comparativa de indicadores de productividad y rentabilidad de algunos de los principales cultivos de la cuenca del Segura y de la provincia de Almería. Los analizados en el caso del Segura son tanto frutales (limonero, mandarino, naranjo, albaricoquero, melocotonero, nectarino, uva de mesa y peral) como hortícolas



(alcachofa, brócoli, lechuga, melón, sandía, tomate y pimiento), además de la patata. En el caso de Almería, se han considerado solamente cultivos hortícolas en invernadero (pimiento, melón, sandía, pepino, calabacín y tomate). Aunque no se han tenido en cuenta algunos tan importantes como el almendro y el granado, en el caso de Alicante y Murcia, los cultivos analizados suponen una parte mayoritaria de la superficie de regadío de las provincias de Alicante, Almería y Murcia (Tabla 5).

**Tabla 5. Superficie de los principales cultivos de regadío de las provincias de Alicante, Almería y Murcia. En hectáreas**

	Cultivo	Murcia (2016)	Alicante (2015)	Almería (2014)
<b>Cultivos herbáceos</b>	Alcachofa	7.751	1.959	261
	Brócoli	18.886	1.977	383
	Lechuga	18.787	909	7.048
	Melón	8.557	1.094	2.591
	Sandía	3.100	203	7.100
	Tomate	4.804	538	11.206
	Pimiento	2.740	279	9.378
	Pepino	273	71	4.839
	Calabacín	675	109	7.219
	Berenjena	67	73	1.908
	Hortícolas	72.690	11.167	54.908
	Patata	5.148	750	535
		<b>Total herbáceos</b>	<b>84.808</b>	<b>16.410</b>
<b>Cultivos leñosos</b>	Limonero	23.741	9.903	1.352
	Mandarino	5.548	7.110	3.397
	Naranja	7.952	12.813	4.707
	<b>Cítricos</b>	<b>37.874</b>	<b>30.239</b>	<b>9.301</b>
	Albaricoquero	8.601	423	32
	Melocotonero	14.590	294	136
	Peral	1.213	231	25
	Uva de mesa	6.692	5.625	79
	Almendro	7.232	5.152	989
	Granado	282	3.064	45
	Níspero	6	987	9
	Ciruelo	928	280	66
		<b>Frutales no cítricos</b>	<b>33.892</b>	<b>12.991</b>
	<b>Total leñosos</b>	<b>91.267</b>	<b>59.919</b>	<b>24.431</b>

Fuente: estadísticas agrarias regionales de Andalucía, Región de Murcia y Comunidad Valenciana.

Los indicadores de productividad y rentabilidad se han calculado a partir de un análisis técnico-económico realizado para los mencionados cultivos y zonas. Los costes medios de producción para la cuenca del Segura se han hecho a partir de información técnica y económica obtenida de un centenar de entrevistas a agricultores y técnicos de empresas agrícolas, realizadas dentro de los proyectos de investigación LIFE+ IRRIMAN, MERCAGUA y NATAG (ver agradecimientos). En el caso de la horticultura protegida de la provincia de Almería, los costes medios de producción se han obtenido a partir de entrevistas a técnicos de empresas hortofrutícolas, realizadas dentro los proyectos de investigación MERCAGUA y NATAG. La renta de la tierra se ha elaborado a partir de la encuesta de cánones de arrendamiento rústico (MAPAMA, 2016a). Los costes medios por m<sup>3</sup> del agua de riego se han sacado de CHS (2014), Junta de Andalucía (2016) y Calatrava y Martínez-Granados (2017).

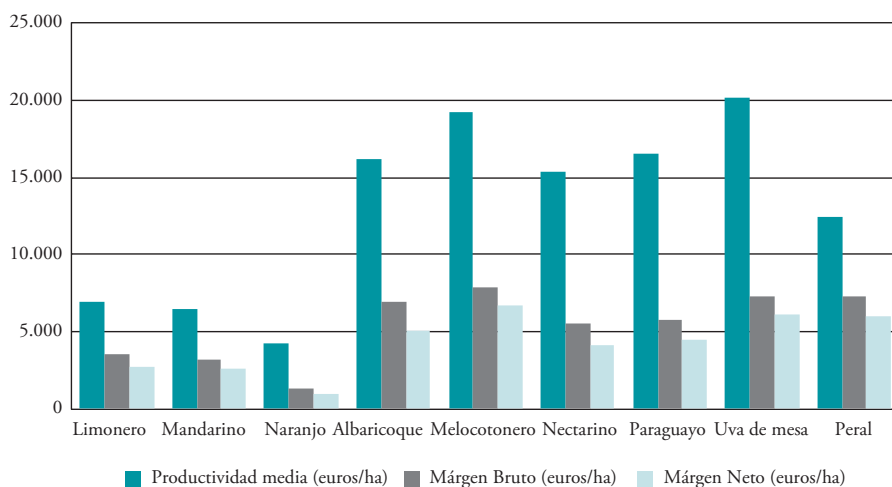
Toda la información obtenida de las entrevistas a agricultores y técnicos se ha contrastado con diversas publicaciones y estadísticas oficiales. Las labores y tratamientos de los cultivos se han verificado con Segura *et al.* (2006), Maroto Borrego y Baixauli Soria (2016) y Valera Martínez *et al.* (2016). Los rendimientos de los cultivos se han comparado con Segura *et al.* (2006), MAPAMA (2015) y Valera Martínez *et al.* (2016). Los consumos medios de agua de los cultivos se han contrastado con Segura *et al.* (2006), Villalobos *et al.* (2006), Fernández *et al.* (2012), CHS (2014) y Valera Martínez *et al.* (2016). Aunque los agricultores y técnicos encuestados proporcionaron los precios medios de venta para los últimos tres años, finalmente se han utilizado los calculados a partir de las series de precios medios anuales de venta de los cultivos, para el período 2006-2015, obtenidas del Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía (Junta de Andalucía, varios años) y del Anuario Estadístico de la Región de Murcia (CREM, varios años). A la serie histórica de precios medios anuales de cada producto se le ha eliminado la tendencia, para obtener una serie de precios estacionaria, y se ha calculado el valor medio de cada una de ellas, valor que se ha tomado como representativo del precio medio de cada producto.

#### **4.1. Productividad y rentabilidad media por hectárea**

El Gráfico 1 muestra la productividad y rentabilidad media por hectárea en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura. Se observa cómo son la uva de mesa y los frutales de hueso los que presentan ma-

yores niveles de productividad media por hectárea, con valores entre 15.000 y 20.000 euros/ha; por el contrario, los cítricos son los de menor, con valores entre 4.000 y 7.000 euros/ha. Equivalentes resultados se obtienen para los valores de margen bruto y margen neto, si bien las diferencias entre cultivos se reducen. Por ejemplo, pese a las diferencias de productividad media por hectárea, los niveles medios de rentabilidad por hectárea de melocotonero, uva de mesa y peral son similares. Esto se explica en gran medida, aunque no exclusivamente, por las diferencias en los costes relativos a la mano de obra, que están directamente relacionados con los rendimientos de los cultivos.

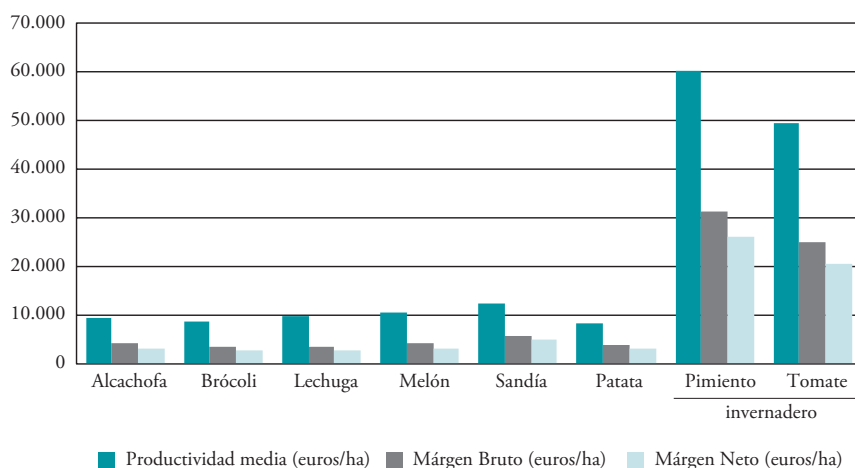
**Gráfico 1. Productividad y rentabilidad media por hectárea en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura. En euros/ha**



El Gráfico 2 muestra la productividad y rentabilidad media de la tierra en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura. Destacan, como es natural, los cultivos en invernadero, con productividades medias en torno a 60.000 y 50.000 euros/ha para pimiento y tomate, respectivamente, y márgenes netos de aproximadamente 26.000 y 20.000 euros/ha para pimiento y tomate, respectivamente. En el caso de los hortícolas al aire libre, las productividades medias oscilan entre los 8.000 euros/ha de la patata y los 12.000 euros/ha de la sandía. En cuanto a las rentabilidades por hectárea, el margen neto no supera los 5.000 euros/ha para ninguno de los cultivos. Las diferencias en los costes de producción (principalmente materias primas y

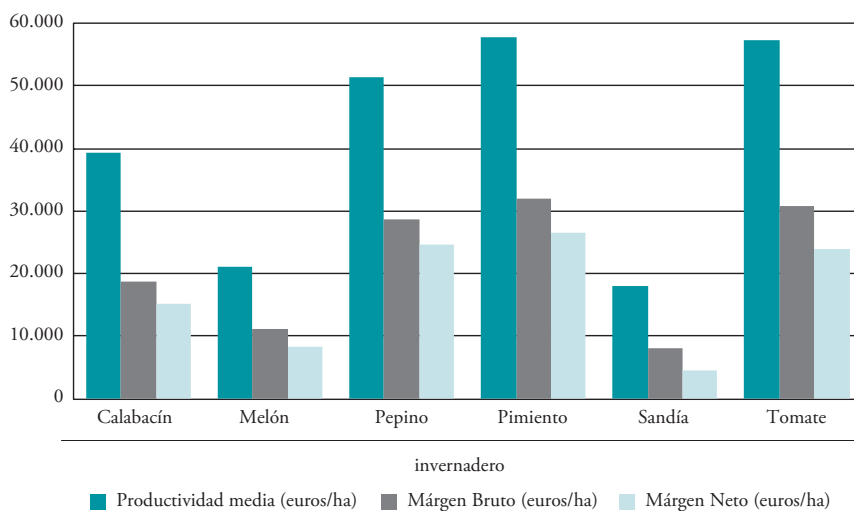
mano de obra) explican que la patata, con menor productividad por hectárea, presente valores de margen bruto y neto similares a los de cultivos más productivos, como el melón y la alcachofa. En general, los niveles de rentabilidad por hectárea para los cultivos hortícolas al aire libre en la cuenca del Segura son ligeramente inferiores a los calculados para los frutales no cítricos, pese a que estos últimos presentan productividades medias por hectárea muy superiores.

**Gráfico 2. Productividad y rentabilidad media por hectárea en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura. En euros/ha**



Por su parte, el Gráfico 3 muestra la productividad y rentabilidad media de la tierra en los principales cultivos hortícolas bajo plástico de la provincia de Almería. Las mayores productividades por hectárea corresponden a pimiento, tomate (ambos por encima de 55.000 euros/ha) y pepino (por encima de 50.000 euros/ha), mientras que la sandía y el melón presentan las menores, en torno a los 20.000 euros/ha. Hay que tener en cuenta que estos últimos se cultivan normalmente en ciclos cortos de primavera como segunda ocupación del terreno. Similares resultados se obtienen para el margen neto por hectárea, que oscila entre los 24.000 y los 26.000 euros/ha para pepino, tomate y pimiento. Los resultados para pimiento y tomate son similares a los de la Región de Murcia, aunque la productividad y la rentabilidad por hectárea calculadas, para el pimiento en Murcia son ligeramente superiores a las obtenidas para Almería, mientras que en el caso del tomate para invernadero ocurre lo contrario.

**Gráfico 3. Productividad y rentabilidad media por hectárea en los principales cultivos hortícolas protegidos de la provincia de Almería. En euros/ha**



Los resultados de productividad y rentabilidad media del factor tierra presentados muestran cómo, en general, la intensidad del gasto de cultivo por unidad de superficie determina un mayor nivel de productividad y rentabilidad por hectárea. En este tipo de sistemas de producción agraria, la productividad y la rentabilidad del factor tierra vienen determinadas principalmente por el grado de intensificación, es decir, por la intensidad en el uso de los demás factores de producción (agua, mano de obra y, principalmente, capital).

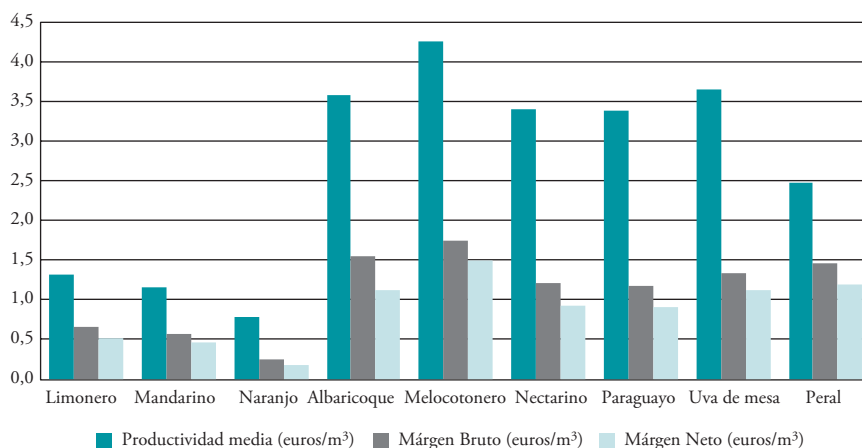
#### **4.2. Productividad y rentabilidad media del agua**

Los resultados de la productividad y rentabilidad media del agua de riego<sup>1</sup> son muy parecidos cualitativamente a los presentados para el factor tierra. Las diferencias vienen dadas por los consumos medios de agua de cada cultivo y zona. En el caso concreto de los frutales de la cuenca del Segura (Gráfico 4), los más demandantes de agua son los cítricos y la uva de mesa, seguidos por el peral. Eso causa, por ejemplo, que la productividad y el margen neto medio por m<sup>3</sup> de la uva de mesa, que es el frutal con mayor productividad por hectárea, sea simi-

<sup>1</sup> Los volúmenes de agua considerados son netos a nivel de explotación. Para obtener los valores en alta (brutos) hay que multiplicar por las eficiencias en el transporte y la distribución de agua correspondientes.

lar a la de albaricoquero, paraguayo y nectarino (alrededor de 3,25 euros/m<sup>3</sup>), e incluso inferior al melocotonero (4,25 euros/m<sup>3</sup>).

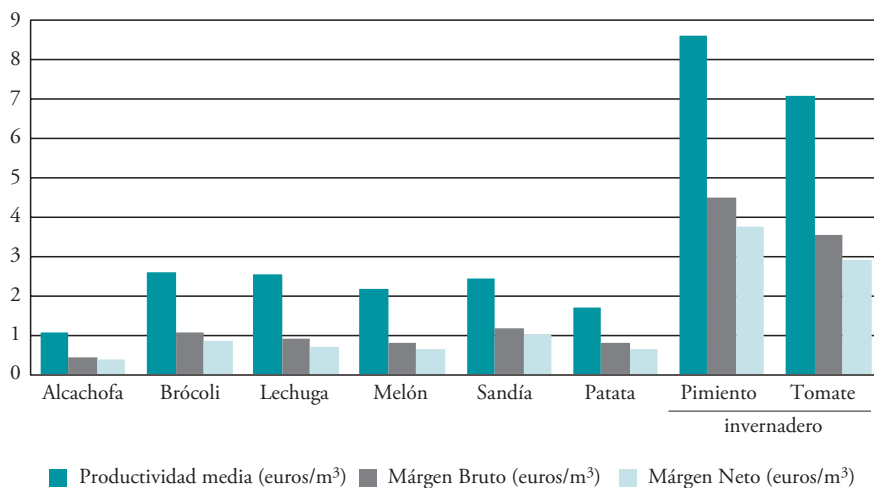
**Gráfico 4. Productividad y rentabilidad media del agua en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura. En euros/m<sup>3</sup>**



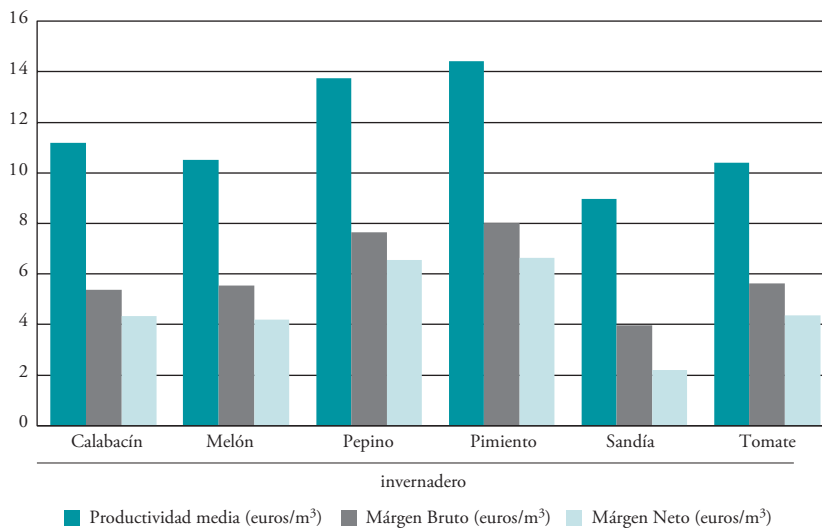
En el caso de los hortícolas al aire libre (Gráfico 5), la productividad media del agua de riego supera ampliamente los 2 euros/m<sup>3</sup>, alcanzando los 2,5 euros/m<sup>3</sup> en brócoli y lechuga, los menos demandantes de agua, con la excepción de la patata y la alcachofa, cultivo este último que tiene unas mayores necesidades hídricas y cuya productividad media del agua ronda 1 euro/m<sup>3</sup>. Sin embargo, el mayor margen neto por m<sup>3</sup> corresponde a la sandía (0,99 euros/m<sup>3</sup>), seguida del brócoli con 0,83 euros/m<sup>3</sup> y de lechuga, melón y patata con 0,66 euros/m<sup>3</sup>. Las mayores necesidades hídricas de la alcachofa reducen su margen neto medio a 0,35 euros/m<sup>3</sup>.

En los cultivos de invernadero, la productividad media del agua en la cuenca del Segura es de 7,1 y 8,6 euros/m<sup>3</sup> para el tomate y el pimiento respectivamente (Gráfico 5). En el caso de Almería, la productividad media del agua oscila entre los 9 euros/m<sup>3</sup> de la sandía y los 14,4 euros/m<sup>3</sup> del pimiento (Gráfico 6). Por su parte, el margen neto medio del agua de riego oscila entre los 2,2 euros/m<sup>3</sup> de la sandía y los 6,6 euros/m<sup>3</sup> de pimiento y pepino, situándose ligeramente por encima de 4 euros/m<sup>3</sup> para el resto de los cultivos.

**Gráfico 5. Productividad y rentabilidad media del agua en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura. En euros/m<sup>3</sup>**



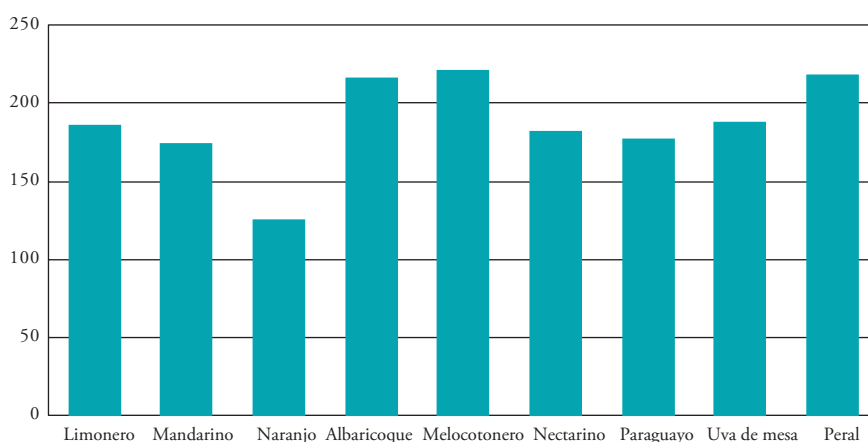
**Gráfico 6. Productividad y rentabilidad media del agua en los principales cultivos hortícolas protegidos de la provincia de Almería. En euros/m<sup>3</sup>**



### 4.3. Productividad de la mano de obra

Los gráficos 7, 8 y 9 muestran la productividad del factor trabajo. En el caso de los cultivos frutales no cítricos de la cuenca del Segura (Gráfico 7), las diferencias en la productividad de la mano de obra son mucho menores que las de la tierra y del agua. Esto se debe a que los cultivos con mayores productividades medias por hectárea, como la uva de mesa y el melocotonero, tienen también mayores necesidades de mano de obra que otros frutales, como puede ser el peral. Con la excepción del naranjo, el cultivo leñoso menos rentable de los analizados, la productividad de la mano de obra oscila entre los 180 y los 220 euros/jornal (entre 43.200 y 52.800 euros/UTA)<sup>2</sup>.

**Gráfico 7. Productividad media de la mano de obra en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura. En euros/jornal**

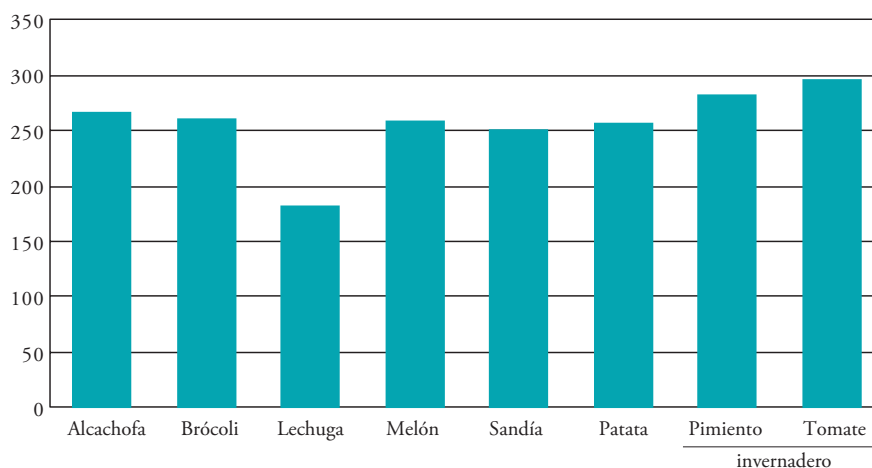


En el caso de los hortalizas al aire libre del Segura, las diferencias de productividad media de la mano de obra entre cultivos son todavía menores (Gráfico 8). Con la excepción de la lechuga, que tiene necesidades superiores a las de los demás hortalizas al aire libre, la productividad de la mano de obra es ligeramente superior a 250 euros/jornal (60.000 euros/UTA). En el caso de los cultivos en invernadero en el Segura, con requerimientos de mano de obra por hectárea mucho mayores, la productividad del factor trabajo es algo superior (alrededor de 290 euros/jornal o 69.600 euros/UTA).

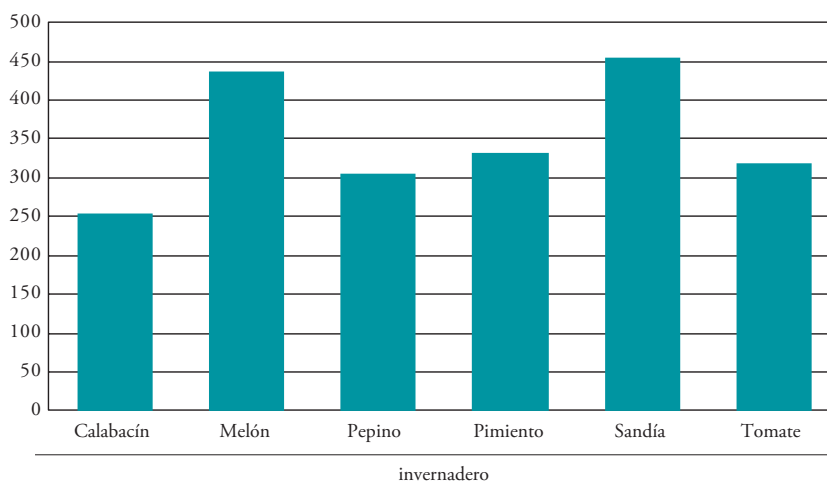
<sup>2</sup> Como referencia, Eurostat proporciona un valor medio de la productividad por hora trabajada en España para 2015 de 31,4 euros/hora, lo que equivale a 235,5 euros/día y 56.520 euros/UTA.



**Gráfico 8. Productividad media de la mano de obra en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura. En euros/jornal**



**Gráfico 9. Productividad media de la mano de obra en los principales cultivos hortícolas protegidos de la provincia de Almería. En euros/jornal**



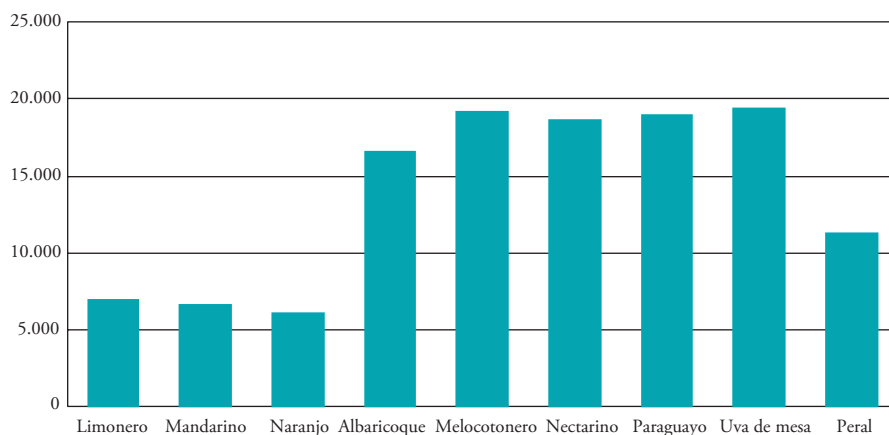
Por su parte, la productividad de la mano de obra de los cultivos hortícolas de invernadero en Almería es ligeramente superior a la del Segura en el caso del pepino, pimiento y tomate (entre 305 y 320 euros/jornal) y algo inferior en el caso del calabacín (255 euros/jornal) (Gráfico 9). Los mayores valores de productividad de la mano de obra se dan en melón y sandía de in-

vernadero (alrededor de 450 euros/jornal, equivalente a 108.000 euros/UTA), debido a las menores necesidades de mano de obra de estos dos cultivos.

#### 4.4. Mano de obra empleada por $hm^3$

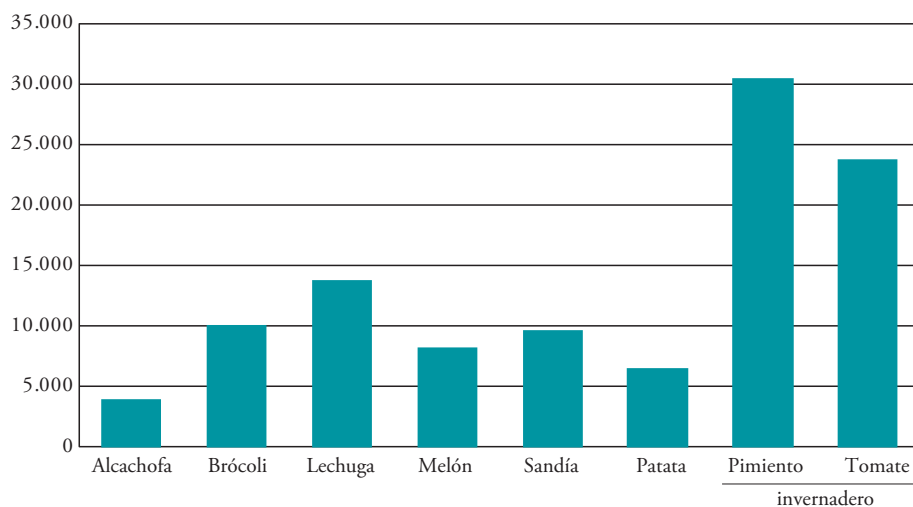
Un indicador que puede utilizarse para evaluar la rentabilidad social de los recursos hídricos empleados en la agricultura es la cantidad de mano de obra utilizada por volumen de agua de riego utilizado. En el caso de los cultivos frutales de la cuenca del Segura (Gráfico 10), los mayores valores corresponden a los frutales de hueso y a la uva de mesa, que oscilan entre 16.500 y 19.000 jornales/ $hm^3$  (entre 69 y 79 UTA/ $hm^3$ ), mientras que los cítricos presentan valores mucho menores (entre 6.000 y 7.200 jornales/ $hm^3$ ; entre 25 y 30 UTA/ $hm^3$ ).

**Gráfico 10. Mano de obra utilizada por volumen de agua de riego en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura. En jornales/ $hm^3$**

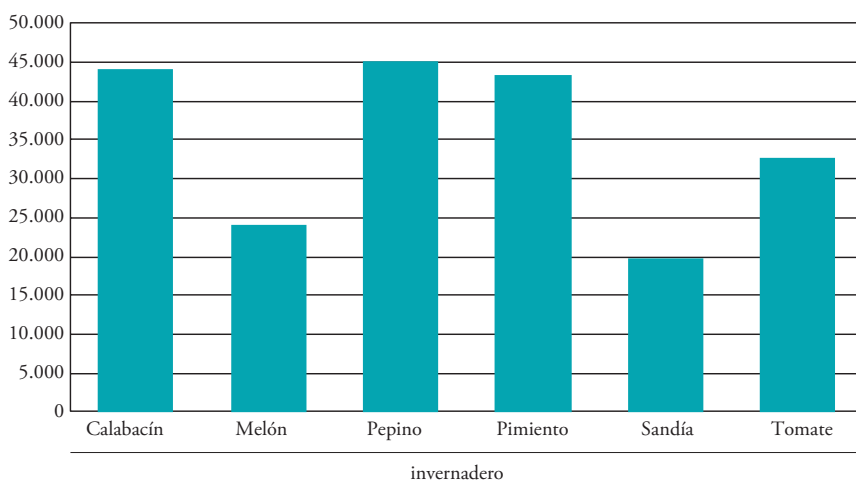


Por su parte, el uso de mano de obra por volumen de agua de riego consumido en los cultivos hortícolas al aire libre (Gráfico 11) es, en la mayoría de los casos, inferior al de los frutales no cítricos. Los cultivos hortícolas que más empleo generan por  $m^3$  de agua son la lechuga, el brócoli y la sandía, mientras que la alcachofa, que tiene mayores necesidades hídricas, se sitúa por debajo incluso de los cítricos.

**Gráfico 11. Mano de obra utilizada por volumen de agua de riego en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura. En jornales/hm<sup>3</sup>**



**Gráfico 12. Mano de obra utilizada por volumen de agua de riego en los principales cultivos hortícolas protegidos de la provincia de Almería. En jornales/hm<sup>3</sup>**



Como es de esperar, los mayores valores de empleo por volumen de agua corresponden a los cultivos en invernadero. En el caso de la cuenca del Segura (Gráfico 11), los valores de este indicador son 30.500 y 24.800 jornales/hm<sup>3</sup>

para pimiento y tomate, respectivamente (127 y 103 UTA/hm<sup>3</sup>, respectivamente). En el caso de Almería (Gráfico 12), el pepino, el pimiento y el calabacín presentan valores cercanos a 45.000 jornales/hm<sup>3</sup>, lo que supone aproximadamente 187 UTA/hm<sup>3</sup>. Los menores valores corresponden a melón y sandía que, aunque tienen menores consumos de agua que otros hortícolas bajo plástico, también sus necesidades de mano de obra son menores.

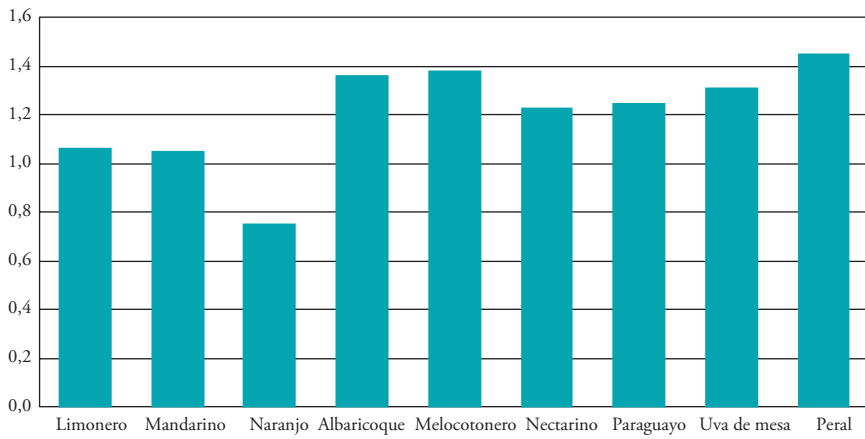
#### *4.5. Estimación de la productividad total de los factores*

Finalmente, los gráficos 13, 14 y 15 muestran la ratio entre los ingresos totales y los costes totales de producción para los cultivos analizados. El cociente entre ingresos y costes permite medir la productividad total de los factores de producción (PTF), así como la rentabilidad del capital utilizado, para los diferentes cultivos. Para los valores medios de ingresos y costes calculados para los diferentes cultivos, la ratio ingresos/costes es mayor que uno para todos los cultivos, con la excepción del naranjo. Se observa también cómo la PTF es superior a 1,20 para todos los cultivos analizados, con la excepción de los cítricos y la sandía de invernadero.

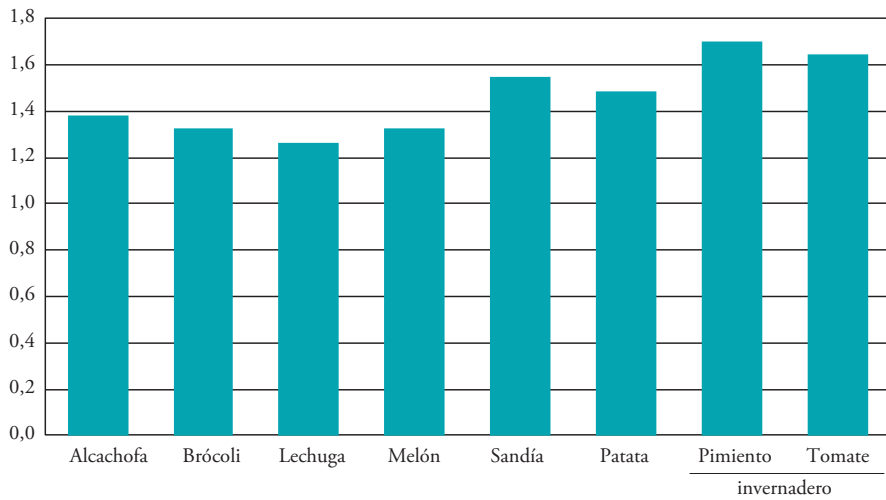
En el caso del Segura, la PTF de los frutales no cítricos (Gráfico 13) y la de los hortícolas al aire libre (Gráfico 14) presentan similares órdenes de magnitud. Es destacable como el peral o la patata tienen mayores valores de PTF que otros con similares, e incluso mayores, productividades y márgenes netos por hectárea, incluidos algunos cultivos de invernadero de la provincia de Almería.

Los mayores valores de PTF corresponden al pimiento y tomate de invernadero y a la sandía al aire libre en la cuenca del Segura, y al pepino y tomate de invernadero en la provincia de Almería, con valores superiores a 1,5. Le siguen la patata y el peral en el Segura y el tomate de invernadero en Almería con ratios entre 1,4 y 1,5. Se observa, por tanto, como la rentabilidad del capital utilizado en la producción no está directamente relacionada con la productividad y rentabilidad media de los factores tierra, agua o mano de obra.

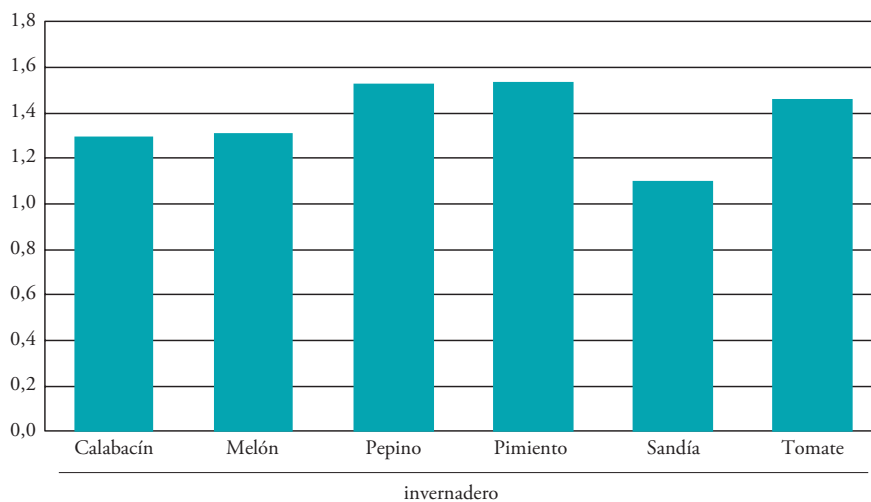
**Gráfico 13. Ratio Ingresos/Costes en los principales cultivos frutales de la cuenca del Segura**



**Gráfico 14. Ratio Ingresos/Costes en los principales cultivos hortícolas de la cuenca del Segura**



**Gráfico 15. Ratio Ingresos/Costes en los principales cultivos hortícolas protegidos de la provincia de Almería**



## 5. Conclusiones

En España, la superficie de regadío se ha multiplicado por dos en los últimos 50 años. Este incremento, unido al enorme esfuerzo de modernización de la agricultura española, en general, y del regadío, en particular, ha contribuido a una importante generación de riqueza y empleo en el medio rural. Sin embargo, al mismo tiempo, este crecimiento de la superficie de regadío ha ido acompañado de importantes presiones sobre los recursos hídricos en todo el país, generando situaciones de escasez estructural en zonas del sudeste y levante, una de las áreas del país con mayor rentabilidad del regadío. Una gestión más sostenible de los recursos hídricos en el ámbito agrario requiere previamente evaluar el impacto económico de su uso. En ese sentido, este trabajo analiza la productividad económica en los sistemas agrarios intensivos de regadío del sudeste español.

Aunque existen bastantes trabajos que evalúan económicamente el uso agrario del agua a escala local, regional e incluso de cuenca hidrográfica, existen pocos estudios de ámbito nacional. La principal dificultad para abordar este tipo de trabajos reside en la disponibilidad de estadísticas agrarias e hidrológicas compatibles a nivel espacial y/o sectorial. En trabajos de menor ámbito espacial se suele recurrir a la más costosa opción de obtener información pri-

maria de agricultores, empresas agrícolas y técnicos. La fiabilidad de las estimaciones de productividad y rentabilidad del regadío que pueden encontrarse en la literatura depende, por tanto, no solo de la metodología utilizada, sino muy especialmente de las fuentes de información empleadas.

Independientemente de los valores concretos de productividad y rentabilidad obtenidos en cada caso, los trabajos revisados en este capítulo ponen de manifiesto cómo la productividad y la rentabilidad medias de los recursos tierra y agua en los sistemas agrarios del sudeste español están muy por encima de la media nacional, siendo mayores en el caso de la provincia de Almería, seguida de la de Murcia y la de Alicante. Lo mismo ocurre si se mira a la rentabilidad social en términos de generación de empleo por hectárea y por volumen de agua consumido.

En cuanto al análisis por cultivos presentado en este capítulo, los indicadores de productividad y rentabilidad de los principales factores de producción (tierra, agua y mano de obra) para los principales cultivos de la cuenca del Segura y de la provincia de Almería muestran importantes diferencias entre estos. Dichos indicadores son superiores para los sistemas de cultivo bajo plástico, siendo los cítricos los cultivos que menores valores presentan de entre los analizados.

Un resultado destacable es el hecho de que la productividad media de la tierra y del agua es superior en los frutales no cítricos que en los hortícolas al aire libre. Este resultado contrasta con las estimaciones por cultivos realizadas por MIMAM (2007). La explicación de esta diferencia puede encontrarse en la notable mejora productiva acontecida en el sector frutícola. Pese a que el sector agrícola del sudeste español se caracteriza en su conjunto por su elevado dinamismo e impulso innovador, hay que destacar que, en el caso de los frutales, se ha producido en los últimos 15 años un especial esfuerzo, tanto en lo relativo a la reconversión varietal como en lo relativo al manejo del agua de riego, lo que ha incrementado el valor de las producciones y reducido los consumos medios de agua de riego. Sin embargo, si bien las productividades medias de los frutales no cítricos son notablemente superiores a las de los hortícolas al aire libre, las diferencias en términos de rentabilidad por hectárea y m<sup>3</sup> de agua de riego son mucho menores, debido a las diferencias existentes en los costes de producción. Por el contrario, las mayores necesidades de mano de obra de los cultivos frutales hacen que la productividad media del factor trabajo sea mayor en los hortícolas.

En cuanto a la productividad media de la mano de obra en los sistemas productivos intensivos de regadío del sudeste español, esta es superior a la media nacional. Las mayores productividades del factor trabajo corresponden a los cultivos en invernadero, seguidos de los hortícolas al aire libre, los frutales no cítricos y finalmente los cítricos. En el caso de los hortícolas, la productividad del trabajo está incluso por encima del valor medio de este indicador para el conjunto de la economía española, siendo muy superior a esta en el caso de la producción en invernadero.

En cuanto a la rentabilidad social de los recursos hídricos, que son el principal factor limitante de la actividad agraria en el sudeste, los valores calculados de uso de mano de obra por volumen de agua oscilan entre 18 UTA/hm<sup>3</sup> para la alcachofa y 187 UTA/hm<sup>3</sup> para determinados cultivos en invernadero. En todos los casos son valores muy por encima de la media nacional para el regadío. Además, hay que recordar que estos datos se refieren solamente a los empleos directos generados a nivel de explotación. A la hora de calcular el impacto real habría que considerar igualmente los empleos indirectos generados que, en el caso de la agricultura intensiva de regadío, son notables.

Finalmente, se ha presentado una estimación de la productividad total de los factores, calculada a partir de la ratio entre ingresos totales y costes totales para cada cultivo, indicador que es también una medida de la rentabilidad del capital utilizado en el proceso productivo. Los valores presentados muestran, con alguna excepción, un elevado nivel de productividad total, con valores superiores a 1,4 en muchos cultivos. Es importante señalar que las diferencias entre los valores de productividad total para la mayoría de cultivos hortícolas y frutales no cítricos son reducidas. Es más, los cultivos con mayores productividades medias de los factores tierra, agua o mano de obra no son necesariamente los que mayores productividades totales de los factores presentan. Esto se debe al hecho de que las mayores productividades medias por hectárea corresponden a los mayores niveles de gastos de cultivo por hectárea, de manera que mayores productividades medias de los factores no implican mayores rentabilidades del capital utilizado en el proceso productivo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, pese a que la rentabilidad del capital en los cultivos de invernadero no es significativamente superior a la obtenida para los cultivos hortofrutícolas al aire libre, las productividades del factor agua, que es el verdaderamente limitante en el sudeste español, de los primeros son muy superiores tanto en términos de generación de valor añadido como de empleo.



## Agradecimientos

La información utilizada en este trabajo procede, además de las fuentes citadas en el texto, de información primaria obtenida por los autores en el marco de los siguientes proyectos de investigación: MERCAGUA (AGL2013-48080-C2-2-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); LIFE+ IRRIMAN (LIFE13 ENV/ES/000539) financiado por la Unión Europea; y NATAG (RTA2010-00109-C04-03) financiado por Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Los autores agradecen a la Cátedra Cajamar-UPM de Economía y Política Agraria y al Observatorio del Agua de la Fundación Botín, así como a los coordinadores del seminario «El uso del agua en la agricultura mediterránea», Alberto Garrido Colmenero y Alejandro Pérez Pastor, su invitación a participar con este trabajo en dicho seminario.

## Referencias bibliográficas

- AGUAYO LORENZO, E.; EXPÓSITO DÍAZ, P. y RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, X. A. (2000): «Análisis de la productividad total en el sector agrario Galego (1970-95)»; *Revista Galega de Economía* 9(2); pp. 1-15.
- ALARCÓN, J. y JUANA, L. (2016): «The Water Markets as Effective Tools of Managing Water Shortages in an Irrigation District»; *Water Resources Management* 30(8); pp. 2611-2625.
- ALBIAC, J.; TAPIA, J.; MEYER, A.; HANEMANN, M.; MEMA, M.; CALATRAVA, J.; UCHE, J. y CALVO, E. (2008): «Los problemas económicos de la planificación hidrológica»; *Revista de Economía Aplicada* XVI(47); pp. 25-50.
- ALDAZ, N. y MILLÁN, J. A. (1996): «Comparación de medidas de productividad total de los factores en las agriculturas de las comunidades autónomas españolas»; *Revista Española de Economía Agraria* 178; pp. 79-119.
- 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.
- CALATRAVA, J. y MARTÍNEZ-GRANADOS, D. (2012): «El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura»; *Economía Agraria y Recursos Naturales* 12(1); pp. 5-32.

- CALATRAVA, J. y MARTÍNEZ-GRANADOS, D. (2017): «The limited success of formal water markets in the Segura River basin, Spain»; *International Journal of Water Resources Development*. DOI: 10.1080/07900627.2017.1378628.
- CHS (2014): *Borrador del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura 2015-2021*. Murcia, Confederación Hidrográfica de la Cuenca del Segura.
- COLINO SUEIRAS, J. y MARTÍNEZ-PAZ, J. M. (2007): «Productividad, disposición al pago y eficiencia técnica en el uso del agua: la horticultura intensiva de la Región de Murcia»; *Economía Agraria y Recursos Naturales* 7(14); pp. 109-125.
- CREM (VARIOS AÑOS): *Anuario Estadístico de la Región de Murcia*. Murcia, Centro Regional de Estadística de Murcia.
- DE STEFANO, L.; MARTÍNEZ-CORTINA, L. y CHICO, D. (2013): «An overview of groundwater resources in Spain»; en DE STEFANO, L. y LLAMAS, M. R., eds.: *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* The Netherlands, Leiden, CRC Press/Balkema, Taylor and Francis Group; pp. 87-104.
- ESTEVE, P.; VARELA-ORTEGA, C.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I. y DOWNING, T. E. (2015): «A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture»; *Ecological Economics* (120); pp. 49-58.
- EXPÓSITO, A. y BERBEL, J. (2017): «Agricultural Irrigation Water Use in a Closed Basin and the Impacts on Water Productivity: The Case of the Guadalquivir River Basin (Southern Spain)»; *Water* 9; pp. 136.
- FERNÁNDEZ, M. C. y HERRUZO, A. C. (1996): «La productividad total de los factores en la agricultura y la ganadería españolas: un análisis regional»; *Investigación Agraria: Economía* 11(1); pp. 71-97.
- FERNÁNDEZ, M. D.; THOMPSON, R. B.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M. y GRANADOS, M. R. (2012): «Uso del agua de riego en los cultivos en invernadero»; *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios* 3; pp. 115-138.
- GIL, M.; GARRIDO, A. y GÓMEZ RAMOS, A. (2009): «Análisis de la productividad de la tierra y del agua en el regadío español»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A.; CALATRAVA, J.; GARRIDO, A.; SÁEZ, F. J. y XABADIA, A., eds.: *La economía del agua de riego en España*. Almería, Fundación Cajamar; pp. 95-114.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2008): «El regadío en España»; *Papeles de Economía Española* 117; pp. 86-109.

- INE (2014): *Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario 2014*. Madrid, Instituto Nacional de Estadística.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2014): *Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras 2014*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2016): *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (VARIOS AÑOS): *Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- KAHIL, M. T.; DINAR, A. y ALBIAC, J. (2015): «Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions»; *Journal of Hydrology* 522; pp. 95-109.
- MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTÍNEZ-GRANADOS, D.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V. y CALATRAVA, J. (2013): «Socio-economic impact of evaporation losses from reservoirs under past, current and future water availability scenarios in the semi-arid Segura basin»; *Water Resources Management* 27(5); pp. 1411-1426.
- MAPA (1981): *Anuario de Estadística Agraria 1981*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MAPAMA (2015): *Anuario de Estadística 2015*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA (2016a). *Encuesta de cánones de arrendamiento rústico (Año 2015)*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA (2016b): «Análisis y prospectiva. Serie Indicadores»; *Informe Anual de Indicadores: Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2015*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAROTO BORREGO, J. V. y BAIXAULI SORIA, C., coords. (2016): *Cultivos hortícolas al aire libre*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- MARTÍNEZ-GRANADOS, D. y CALATRAVA, J. (2014): «The role of desalination to address aquifer overdraft in SE Spain»; *Journal of Environmental Management* 144; pp. 247-257.

- MARTÍNEZ-GRANADOS, D. y CALATRAVA, J. (2017): «Combining economic policy instruments with desalination to reduce overdraft in the Spanish Alto Guadalentín aquifer»; *Water Policy* 19(2); pp. 341-357.
- 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.
- MMA (2001): *Plan Hidrológico Nacional*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.
- MONTILLA-LÓPEZ, N. M.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. y GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2017): «Impacto de la tarificación del agua de riego en el Bajo Guadalquivir»; *ITEA* 113(1); pp. 90-111.
- PÉREZ-BLANCO, C. D. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2017): «Buy me a river: Use of multi-attribute non-linear utility functions to address overcompensation in agricultural water buyback»; *Agricultural Water Management* 190; pp. 6-20.
- REIG, E. y PICAZO, A. (2002): *La agricultura española: Crecimiento y productividad*. Alicante, Caja de Ahorros del Mediterráneo (CAM); pp. 407.
- REY, D.; GARRIDO, A. y CALATRAVA, J. (2016): «An Innovative Option Contract for Allocating Water in Inter-Basin Transfers: the Case of the Tagus-Segura Transfer in Spain»; *Water Resources Management* 30(3); pp. 1165-1182.
- SAN JUAN, C. (1990): *Eficacia y rentabilidad de la agricultura española. 2º Ed. Ampliada*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- SEGURA, P.; GARCÍA, A. y COSTANTINI, B. (2006): *Estudio técnico-económico de los procesos de producción agrícola y de transformación (manipulación y confección) de las principales orientaciones hortofrutícolas de la Región de Murcia*. Murcia, Asociación Murciana de Organizaciones de Productores Agrarios (AMOPA).
- VALERA MARTÍNEZ, D. L.; BELMONTE UREÑA, L. J.; MOLINA AIZ, F. D. y LÓPEZ MARTÍNEZ, A. (2016): «Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno-economic analysis»; *Serie Economía* (27). Almería, Cajamar Caja Rural.
- VILLALOBOS, F. J.; ORGAZ, F. y FERERES, E. (2006): *Estudio sobre necesidades de agua de riego de los cultivos en la zona del trasvase Tajo-Segura*. Córdoba, Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC) y Universidad de Córdoba.

# Uso de la energía en el regadío

## Medidas de ahorro energético y energía solar fotovoltaica para el suministro de riego

*Juan Antonio Rodríguez Díaz*

Universidad de Córdoba

### 1. Introducción

La agricultura de regadío desempeña un papel esencial para asegurar la demanda de alimentos de una población mundial creciente. De hecho, se estima que la superficie actual regada en el mundo es de aproximadamente 300 millones de hectáreas (Mha), casi el doble que la existente en 1960, y usa el 70 % del agua dulce (Alexandratos y Bruinsma, 2012). No obstante, esa extensión representa únicamente el 20 % de la superficie total cultivada, aunque obtiene el 40 % de la producción total de alimentos.

La cuenca mediterránea es un claro ejemplo de la importancia del regadío. Si en Europa, por término medio, la agricultura usa el 33 % de los recursos hídricos, en los países de la Europa mediterránea, este porcentaje asciende hasta el 80 % en algunos casos (European Environment Agency, 2012) debido a las peculiaridades climáticas, con ausencia de precipitaciones en los meses centrales del año y altas tasas de evapotranspiración.

Dada la importancia del regadío para la producción de alimentos, pero al mismo tiempo su gran dependencia de los cada vez más escasos recursos hídricos, en los últimos años se han acometido grandes obras de modernización, encaminadas a mejorar la eficiencia en el uso de agua. Así, en España, de las casi 3,5 Mha regadas, aproximadamente 1 Mha han experimentado procesos de modernización (MARM, 2010). Gracias a esto, la superficie de riego por gravedad ha descendido hasta el 30 %, mientras que los sistemas de riego a presión han pasado de representar el 41 % hace 20 años, al 70 % en la actualidad. Para Tarjuelo *et al.* (2015), las grandes ventajas de los sistemas modernizados a sistemas a presión son las siguientes:

- Reducción del agua aplicada a los cultivos, lo que implica también una disminución del agua de drenaje, la cual puede llevar disueltos una importante cantidad de agroquímicos.
- Aumento de la productividad por unidad de agua y, en ocasiones, por unidad de superficie.
- Posibilidad de migrar a nuevas rotaciones de cultivos, de mayor valor económico.
- Automatización del sistema. Mayores posibilidades de emplear sistemas de telecontrol y teledirigida que facilitan la gestión del riego.
- Mejora de la calidad de vida del regante y facilita la incorporación de jóvenes al sector. Esto contribuye a evitar el abandono de tierras y desertificación en zonas rurales.

No obstante, esa clara apuesta por la modernización ha motivado un notable aumento en la eficiencia en el uso del agua pero, como contrapartida, ha significado una mayor dependencia energética del regadío. De hecho, Corominas (2010) estimó que, mientras que el uso del agua por unidad de superficie había descendido en un 21 % a escala nacional entre 1950 y 2007, la demanda de energía se había incrementado en un 657 %.

## 2. Uso del agua y la energía en el regadío

Todo lo anterior muestra como la demanda de energía para riego se ha incrementado tras los procesos de modernización. Rodríguez Díaz *et al.* (2011a) mostraron como en comunidades de regantes (CCRR) andaluzas recientemente modernizadas, usuarias de aguas superficiales, el consumo medio de energía era de 1.000 kW h/ha mientras que la demanda de potencia ascendía a 1,56 kW/ha. Estos valores son aún mayores en CCRR con aguas subterráneas o provenientes de fuentes no convencionales del agua. Lógicamente, todo esto ha repercutido en unos mayores costes que deben soportar los regantes.

Fernández García *et al.* (2014a) analizaron el efecto de la modernización en cinco CCRR andaluzas: Bembézar Margen Izquierda (BMI), Bembézar Margen Derecha (BMD), Sector BXII (BXII), Genil Margen Derecha (GMD) y Guadalquivir (GU). En la actualidad, estas comunidades suman una superficie de riego de 38.285 ha, lo que supone el 11 % de la superficie modernizada en Andalucía (López-Gunn *et al.*, 2012). En cuatro de ellas, las

redes de riego basadas en sistemas mediante canales abiertos evolucionaron hacia redes a presión en los últimos años, mientras que en BXII la modernización consistió en una mejora en la red de distribución a presión y elementos de control. En dicho estudio usaron diversos indicadores de gestión para comparar el período que va de 1996 a 2002 (premodernización) con el de 2010 a 2012 (posmodernización).

En la Tabla 1 se muestra el efecto de la modernización en las distintas partidas del coste del agua: coste total por unidad de área regada ( $C_{TA}$ ), coste relativo al mantenimiento por unidad de área regada ( $C_M$ ), coste energético por unidad de volumen de agua suministrada ( $C_E$ ) y porcentaje que representa el coste de la energía sobre los costes totales asociados al agua, ( $C_E/C_{TA}$ ). En relación al coste de la energía, este se ha elevado considerablemente tras la modernización como consecuencia, por un lado, del aumento de las necesidades energéticas de los sistemas a presión y, por otro, del crecimiento del precio unitario del recurso. De media, el coste de la energía se ha incrementado un 149 %. La fuerte subida del mismo se traduce en un aumento de los costes totales del riego, con un encarecimiento en torno al 52 % tras la modernización. Como consecuencia, si el coste de la energía representaba generalmente menos del 10 % del coste total del agua, en la actualidad este valor se aproxima al 50 % en algunos casos. Además, se da el agravante de que, desde la liberalización del mercado energético en 2008, los costes unitarios de la energía se han duplicado en los últimos años (Tarjuelo *et al.*, 2015)

**Tabla 1. Costes del agua antes y después de la modernización en cinco CCRR andaluzas. Bembézar Margen Izquierda (BMI), Bembézar Margen Derecha (BMD), Sector BXII (BXII), Genil Margen Derecha (GMD) y Guadalquivir (GU)**

	BMI		BMD		BXII		GMD		GU	
	pre	pos	pre	pos	pre	pos	pre	pos	pre	pos
$C_{TA}$ (euros ha <sup>-1</sup> )	93,9	271,3	123,6	283,5	271,9	332,2	107,4	162,3	182,4	222,2
$C_M$ (euros ha <sup>-1</sup> )	43,9	77,0	70,5	76,5	69,0	95,6	42,9	96,1	80,1	106,4
$C_E$ (euros ha <sup>-1</sup> )	0,0	124,3	2,9	140	115,4	147,6	*	*	14,1	48,9
$C_E/C_{TW}$ (%)	0	46	2	49	42	45			8	22

\* No disponible. Coste total por unidad de área regada ( $C_{TA}$ ); Coste relativo al mantenimiento por unidad de área regada ( $C_M$ ); Coste energético por unidad de volumen de agua suministrada ( $C_E$ ).

Fuente: Fernández García *et al.* (2014a).



Por el contrario, tras la modernización, el volumen de riego suministrado por unidad de superficie se ha reducido en todas las comunidades de regantes, con un valor medio de  $1.693 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (23 %). Por CCRR, la reducción ha sido de  $2.823 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (37 %) en BMI,  $1.705 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (22 %) en BMD,  $1.465 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (20 %) en BXII,  $2.094 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (33 %) en GMD y  $1.242 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (16 %) en GU. La disminución de este indicador se debe principalmente al aumento de la eficiencia, dado que en las redes a presión, las pérdidas durante la distribución del agua son despreciables, además de la instalación de sistemas de riego localizado que mejoran la eficiencia de aplicación en parcela.

### 3. Huella de carbono del regadío

El aumento en la eficiencia en el uso del agua se ha hecho a costa de un mayor consumo de energía, lo que muestra que existe una estrecha relación entre el uso de ambos. Por tanto, se hace necesario no hablar de ambos recursos independientemente sino de un nexo agua-energía, que implique la optimización de su uso simultáneamente (Rodríguez Díaz *et al.*, 2011b).

Hasta ahora, los impactos de la modernización de regadíos se han evaluado según los ahorros de agua. No obstante, queda manifiesto que también es necesario considerar la mayor demanda de energía, tanto en coste que afecta directamente a los regantes como a través del impacto ambiental derivado de las mayores emisiones de  $\text{CO}_2$ . De hecho, se estima que el sector agrícola es responsable de la quinta parte de las emisiones de  $\text{CO}_2$ , habiéndose incrementado en los últimos años. Únicamente entre 2001 y 2011, las emisiones anuales debidas a la agricultura se incrementaron en un 14 %, de 4.684 a 5.335  $\text{MtCO}_2\text{e}$  (Tubiello *et al.*, 2014). Esto es especialmente importante, dado que la agricultura será uno de los sectores más perjudicados por los efectos del cambio climático, en forma de temperaturas más altas y mayor frecuencia de eventos extremos, tales como sequías e inundaciones (Nelson *et al.*, 2009). En el caso particular del regadío, las mayores tasas de evapotranspiración, junto con los cambios en la distribución de las precipitaciones, podrían llevar a incrementos en la demanda de riego en los cultivos típicos de la cuenca del 20 % para 2050, lo que conllevará mayores necesidades de recursos hídricos y también en energía para su suministro (Rodríguez Díaz *et al.*, 2007).

Daccache *et al.* (2014) estimaron, usando datos de FAO, las emisiones de  $\text{CO}_2$  derivadas de los bombeos de agua para riego en todos los países que



conforman la cuenca mediterránea. Mostraron como España, país con mayor superficie de riego a presión, es con diferencia el territorio con más emisiones, pese a no ser el de mayor superficie de regadío. Así mismo, mostró como en el hipotético caso de que toda la superficie en riego se modernizase hacia sistemas a presión, las emisiones aumentarían considerablemente (en hasta un 135 %). En la Tabla 2 se muestran las emisiones de los siete principales países emisores para ambos escenarios, junto con las totales en la cuenca.

**Tabla 2. Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>e) debidas al bombeo de agua para riego en los países mediterráneos, para la situación actual y una situación hipotética en la que todo el riego fuera a presión**

País	Actual		Todo a presión	
	t CO <sub>2</sub> e	t CO <sub>2</sub> e / Mm <sup>3</sup>	t CO <sub>2</sub> e	t CO <sub>2</sub> e / Mm <sup>3</sup>
España	321.584	41	429.843	55
Turquía	236.805	21	627.080	56
Siria	220.096	20	766.469	69
Libia	174.095	125	288.800	208
Francia	156.223	71	135.148	61
Marruecos	140.437	33	432.266	102
Italia	92.276	31	188.205	64
<b>Total</b>	<b>1.780.170</b>	<b>29</b>	<b>4.199.412</b>	<b>68</b>

Fuente: Daccache *et al.* (2014).

## 4. Ahorro de energía en el regadío

Tanto por motivos económicos, los cuales afectan a la renta del agricultor, como ambientales, asociados a las emisiones y su contribución al cambio climático, se hace necesario reducir la demanda de energía del regadío. Dicha energía puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\gamma V H}{\eta} \quad [1]$$

Siendo  $\gamma$  el peso específico del agua,  $V$  el volumen de agua suministrado para riego,  $H$  la altura manométrica y  $\eta$  el rendimiento del bombeo.

Por tanto, si se pretende reducir la demanda de energía, habría que actuar sobre las variables que componen la ecuación [1], bien sea disminuyendo el numerador o aumentando el denominador:

- *Reducción del volumen destinado para riego ( $V$ )*. Sistemas de riego de precisión, con alta eficiencia y pocas pérdidas, implican una reducción de dicho volumen. También, es necesario una adecuada programación del riego, en el que se aplique a la planta la cantidad justa de agua en el momento en el que es necesaria.
- *Reducción de la altura manométrica ( $H$ )*. La altura manométrica depende de factores sobre los que es difícil actuar, tales como la diferencia de cota entre el origen y el punto de consumo del agua, pero también de otros como los requerimientos de presión del sistema de riego. Generalmente es posible reducir dicha altura mediante cambios en la gestión de la red de distribución y la migración a sistemas de riego de baja presión.
- *Rendimiento del bombeo ( $\eta$ )*. Puede mejorarse mediante la instalación de bombas de velocidad variable y de alto rendimiento.

De acuerdo a esto, IDAE (2008a) propuso una serie de medidas para la reducción del consumo y el coste energético en el regadío. Básicamente consistían en la realización de auditorías energéticas en CCRR, optimización de la gestión de la red de distribución de agua, estrategias para mejorar el rendimiento de la estación de bombeo y adecuada contratación de las tarifas eléctricas. A partir de esas líneas de actuación, diversos grupos de investigación han desarrollado metodologías para la aplicación de estas medidas de la forma más eficiente posible. A continuación, se muestran algunas de ellas.

#### *4.1. Auditorías energéticas*

Las auditorías energéticas constituyen una herramienta de diagnóstico para la identificación de las debilidades y de los aspectos a mejorar en la gestión de la energía en las CCRR. Básicamente, consiste en la evaluación de las infraestructuras y de la gestión mediante una serie de indicadores y, tras el análisis de los mismos, detectar los distintos elementos a mejorar (IDAE, 2008b).

Una auditoría de gestión consta de varias fases:

- *Obtención de datos*, para lo cual son necesarios datos proporcionados por los gestores y técnicos de las CCRR, pero también de medidas directas en campo.
- *Cálculo de indicadores descriptivos*, de rendimiento o eficiencia y de funcionamiento.
- *Clasificación energética de las CCRR* de acuerdo, principalmente, a la eficiencia en los equipos de bombeo y a la gestión de la red de distribución. Gracias a esto es posible identificar las deficiencias y los aspectos a mejorar.
- *Propuesta de mejoras*, que es generalmente la fase más compleja e implica el uso de modelos hidráulicos que permitan detectar las medidas más adecuadas para cada caso.

Abadía *et al.* (2010) realizaron auditorías energéticas en 22 CCRR en las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha, Valencia y Murcia, logrando ahorros del 14 % en el consumo energético y del 21 % del coste tras la adopción de las medidas correctoras. Similares resultados fueron obtenidos por Carrillo Cobo *et al.* (2010) en Andalucía.

#### 4.2. Sectorización de la red de distribución

La sectorización consiste en la organización de los regantes en turnos de riego, que se establecen de acuerdo a la demanda energética de cada hidrante. No obstante, la sectorización adecuada de las redes de distribución es bastante compleja dado que intervienen numerosos factores, tales como la topografía, la topología de la red, los requerimientos de presión de los sistemas de riego o las necesidades de riego de los cultivos. Por todo esto, es necesario recurrir a técnicas de modelización hidráulica, junto con métodos de optimización heurísticos, que evalúen las diversas situaciones de demanda de agua en la red, tratando siempre de determinar la agrupación óptima de los regantes que minimiza tanto las necesidades de potencia como de energía. De esta forma, diversos autores han desarrollado metodologías para la sectorización adecuada en redes ramificadas (Rodríguez Díaz *et al.*, 2009; Jiménez Bello *et*

*al.*, 2010, Moreno *et al.*, 2010) y malladas (Fernández García *et al.*, 2013), o incluso adaptando los sectores a los requerimientos mensuales de los distintos cultivos de la zona regable (Carrillo Cobo *et al.*, 2011). Gracias a la adecuada sectorización de las redes es posible conseguir ahorros energéticos en torno al 20-30 %. Como contrapartida, los regantes no disponen de agua a demanda y vuelven a un sistema de organización del riego preorganizado en el que solo pueden aplicar el riego durante ciertas horas al día.

Esta medida es especialmente interesante en CCRR con monocultivo en donde la gestión del riego puede hacerse de forma centralizada. Este es el caso de la Dehesa Portillo Albardinales (Jaén), con 1.600 ha de olivar y una elevación de agua de más de 500 m en algunos hidrantes, el cual fue analizado por Navarro Navajas *et al.* (2012) usando el algoritmo de optimización WEBSO. Estos autores concluyeron que la sectorización había permitido reducir en un 30 % el consumo energético y aumentado la renta de los agricultores en un 13 %.

### 4.3. Control de puntos críticos

Un punto crítico es un hidrante con requerimientos energéticos superiores al resto de hidrantes que componen la red de distribución de agua. Esto puede ser debido a varios factores tales como la diferencia de cota con respecto a la estación de bombeo, la configuración de la red en la que ciertas tuberías pueden estar infradimensionadas, distancia a la estación de bombeo o requerimientos de presión del sistema de riego en parcela.

Rodríguez Díaz *et al.* (2009) mostraron como en la CR de Fuente Palmera (Córdoba) únicamente 5 hidrantes de los 85 existentes en la red de distribución eran responsables de una elevación del agua de 10 m, del total del 80 m que suministra la estación de bombeo. Mediante la instalación de estaciones de bombeo sectoriales sería posible reducir en 10 m la altura manométrica en el bombeo principal, implicando ahorros de 3.000 kWh/día en el período punto de demanda.

La corrección del impacto de los puntos críticos en la demanda de energía de la red implica acciones, tales como la instalación de rebombes o reemplazar tuberías infradimensionadas. No obstante, dado el gran número de factores a considerar para determinar las medidas más adecuadas en estos casos, son necesarios modelos de optimización para maximizar el ahorro energético. Así, el modelo COPAM –*Combined Optimization and Performance Analysis*

*Model-* (Lamaddalena y Sagardoy, 2000), ya incluía un módulo para evaluar el rendimiento de los distintos hidrantes, considerando diferentes situaciones de carga de la red obtenidas mediante simulaciones MonteCarlo. Rodríguez Díaz *et al.* (2012) desarrollaron el modelo WECP, para detectar las medidas óptimas para la corrección del impacto de los puntos críticos en redes ramificadas, basado en coordenadas adimensionales. Posteriormente, Fernández García *et al.* (2014b) adaptaron esta metodología a redes malladas. Un paso más se dio en Fernández García *et al.* (2016), desarrollando un algoritmo de optimización multiobjetivo, que por un lado detectaba los puntos críticos de la red y por otro ofrecía automáticamente las medidas correctoras, minimizando el coste de las obras de mejora y el energético de operación de la red. Al contrario de la sectorización, el control de puntos críticos no requiere la organización de los regantes en turnos, permitiendo la gestión de la red a la demanda.

#### 4.4. Optimización de la estación de bombeo

Rodríguez Díaz *et al.* (2011a) analizaron el comportamiento de la estación de bombeo en 10 CCRR andaluzas, mostrando que, aunque por término medio el rendimiento era del 58 %, existían casos en los que bajaba hasta el 30 %.

Uno de los grandes problemas en la gestión del bombeo es que, generalmente, las bombas son elegidas para satisfacer la demanda del período punta de consumo. Por tanto, tienden a ser grandes equipos de elevada potencia y con un rendimiento bastante pobre en momentos de menor demanda de agua, en meses iniciales y finales de la campaña. Para solucionar esto, Moreno *et al.* (2009) recomiendan la instalación de variadores de frecuencia en varias bombas y la instalación de bombas en paralelo de menor potencia y mayor rendimiento en caudales bajos.

Para la aplicación de las medidas centradas en cambios en la gestión de la red, sectorización y puntos críticos se hace especialmente necesaria la adaptación del bombeo, para conseguir que funcione con un rendimiento adecuado bajo diferentes condiciones de caudal y altura manométrica. Fernández García *et al.* (2014c) combinaron la sectorización con la gestión eficiente del bombeo mediante la instalación de 2 y 3 variadores de frecuencia en la Comunidad de Regantes Bembézar Margen Izquierda. Gracias a la aplicación conjunta de ambas medidas se lograron ahorros en el consumo energético del 26 %.

## 5. Uso de la energía solar fotovoltaica para el suministro de riego

El precio de la energía eléctrica y del combustible fósil ha seguido una marcada tendencia creciente en los últimos años, lo que ha derivado en una situación en la que gran parte de los costes del agua se dedican a satisfacer el consumo energético. Al mismo tiempo, a las cuestiones económicas se suman la creciente preocupación ambiental, ligada a la contaminación atmosférica, y el calentamiento global, demandando con urgencia la búsqueda de fuentes de energía alternativas y sostenibles que garanticen el suministro y la rentabilidad de las explotaciones, manteniendo los niveles de producción actuales. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se presenta como una opción con gran potencial para la cuenca mediterránea, donde los niveles de irradiancia a lo largo del año son elevados.

### 5.1. Potencial de la energía solar en riego

La energía solar fotovoltaica presenta grandes ventajas respecto a otras renovables para su uso en el suministro de agua de riego. Por un lado, la radiación solar y la evapotranspiración de los cultivos siguen curvas paralelas. Dicho de otro modo, la solar es una fuente de energía idónea para riego, dado que va a estar disponible justo cuando la planta necesita del agua. Por otro lado, la importante reducción del coste de los paneles solares en las últimas décadas, en la actualidad en torno a 0,6 euros/W, hacen que su coste sea muy competitivo con respecto a otras fuentes de energía.

No obstante, el principal inconveniente derivado de la fotovoltaica radica en su alta dependencia de las variables climáticas. Esto no solo genera una gran variabilidad en la disponibilidad de potencia a lo largo de los distintos meses del año, sino que entraña además una gran dificultad para su gestión a lo largo de un mismo día. Así, en un día despejado, la irradiancia diaria sigue una curva normal. Sin embargo, en uno con presencia de intervalos nubosos, la curva de irradiancia a lo largo del día experimenta importantes oscilaciones. Esta naturaleza discontinua de la potencia generada dificulta el manejo de las instalaciones de riego, por lo que se requieren nuevas técnicas y metodologías para su gestión.

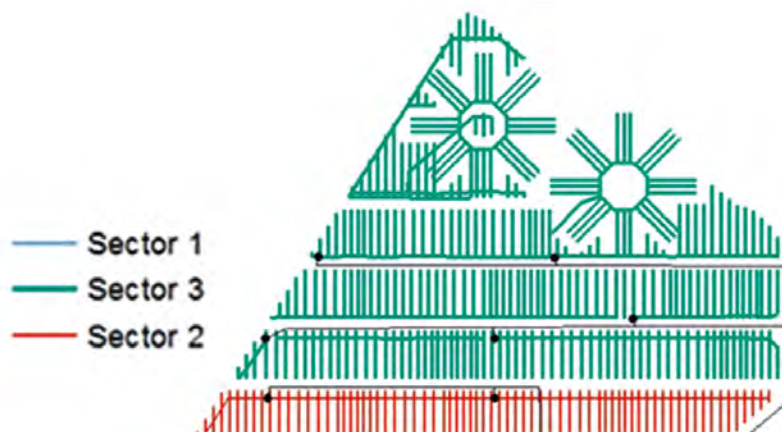
Diversos autores han trabajado en la integración de la energía solar, como fuente de suministro energético en redes de riego. Hamidat *et al.* (2003)

emplearon la energía fotovoltaica como fuente de suministro en pequeñas parcelas de la región del Sahara. Carrillo Cobo *et al.* (2014) combinaron la sectorización de redes de distribución de agua de riego con la energía solar como fuente parcial de suministro, estimando un 72 % de ahorro potencial en el coste energético. Yahyaoui *et al.* (2016) desarrollaron un modelo para la gestión del suministro energético mediante energía fotovoltaica y el apoyo con baterías para el llenado del embalse que alimenta a la red de riego. Sin embargo, ninguna de estas metodologías profundiza en la gestión para la inyección directa del agua bombeada en la red de riego, sincronizando, en tiempo real y de forma simultánea, la demanda de agua y energía con la producción fotovoltaica.

## 5.2. Riego solar inteligente

El riego solar inteligente (RSI) permite gestionar el riego automáticamente mediante la sincronización en tiempo real de la producción solar fotovoltaica instantánea, como única fuente de suministro energético, con la demanda de potencia de los distintos sectores que componen la red y las necesidades de riego de los cultivos (Mérida García *et al.*, 2018). En la Figura 1 se muestra un diagrama del sistema RSI.

Figura 1. Esquema del sistema del sistema de RSI



Fuente: Mérida García *et al.* (2018).

Básicamente, se compone de los 3 módulos siguientes:

- *Análisis hidráulico de la red.* Para ello se recurre a técnicas de modelización hidráulica, llegando incluso a nivel de emisor, con el objetivo de determinar con precisión las necesidades de potencia en el bombeo necesarias para suministrar la presión mínima de trabajo en cada uno de los sectores de riego de la parcela.
- *Necesidades de riego y balance de agua en el suelo.* A partir de los datos diarios de evapotranspiración potencial, registrados por la estación agroclimática más cercana, el modelo determina la evapotranspiración del cultivo y establece una estimación del tiempo de riego requerido para cada uno de los sectores. Además, esto se complementa con un balance de agua en el suelo a escala diaria.
- *Potencia fotovoltaica disponible.* A partir de los valores de irradiancia, medidos en tiempo real por un piranómetro instalado en la parcela, el modelo estima la potencia solar fotovoltaica disponible en cada momento (López-Luque *et al.*, 2015).

Con toda la información generada, el sistema RSI es capaz de gestionar automáticamente el riego, aplicando las necesidades hídricas del cultivo, considerando la configuración hidráulica del sistema y de acuerdo a la radiación solar disponible.

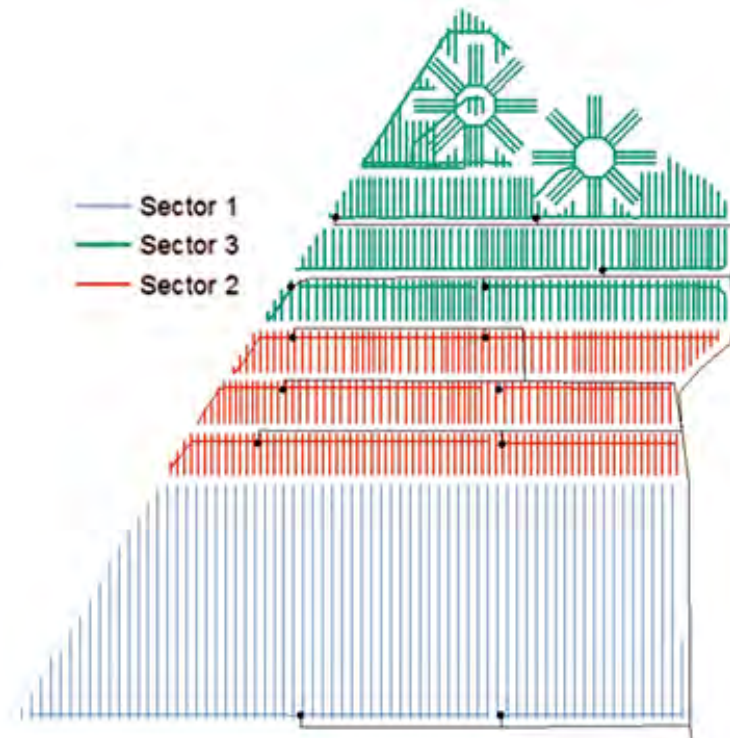
Un prototipo del sistema se ha instalado en la parcela de olivar experimental del Campus de Rabanales (Universidad de Córdoba), que cuenta con una extensión total de olivar de 13,4 ha. Esta parcela incluye diversos tipos de ensayos de olivar intensivo, por lo que los marcos de plantación, caudal nominal de goteros y variedades es alterable entre ensayos. La zona está dividida en tres sectores de riego (Figura 2), donde cada uno de ellos cuenta con una electroválvula, mediante la cual es posible activar desde un programador de riego instalado en la estación de bombeo. El sistema utilizado es riego por goteo, empleando goteros autocompensantes. El agua de riego se almacena en una balsa de la que se abastece la red de riego por medio de una bomba sumergida de 13 kW de potencia, situada a 1 km de distancia de la parcela.

La instalación fotovoltaica se encuentra situada en la cubierta de una nave agrícola cercana y cuenta con una superficie de 168 m<sup>2</sup>, con un valor de potencia pico instalada de 15,4 kW. Los niveles de radiación instantánea se con-



trolan mediante un piranómetro instalado en la planta solar, que se comunica directamente al programador del riego, que está configurado para usar esta información para la activación y desactivación de los sectores de riego.

**Figura 2. Modelo hidráulico de la parcela experimental en el Campus de Rabanales**

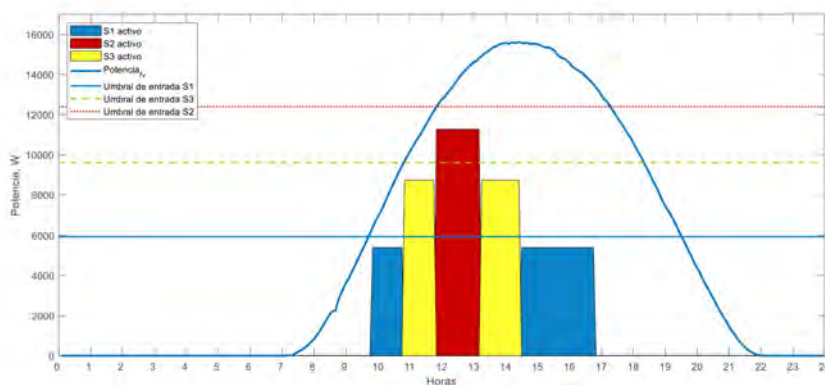


Una vez conocida la potencia demandada por cada sector y determinado el tiempo de riego necesario, el sistema establece una serie de normas de prioridad para la activación/desactivación de los diferentes sectores de riego en función de la potencia instantánea generada. De esta forma, se establecen unos umbrales mínimos de potencia para la entrada en funcionamiento de cada uno de los sectores, dando prioridad a aquellos con mayores requerimientos de potencia en las horas del día con mayor irradiación. El sistema continúa operando hasta completar el tiempo de riego o hasta que la potencia generada sea inferior a la demandada por los sectores y por ello no permite la activación de ninguno de ellos.

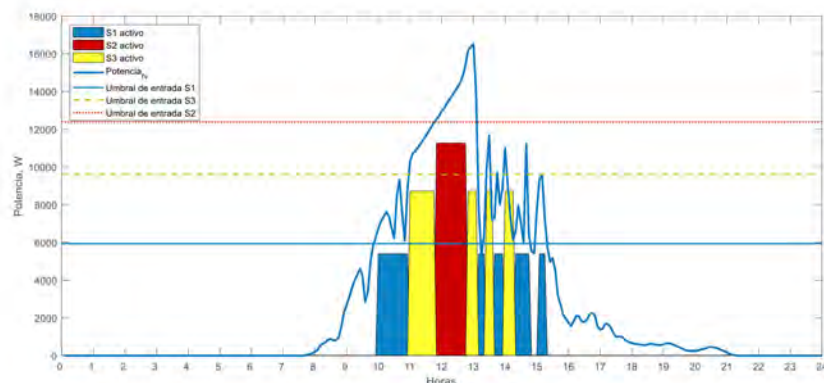
La capacidad del sistema RSI se probó durante la campaña de riegos de 2013. En días claros, sin presencia de nubes, la producción fotovoltaica siguió una distribución normal, con los valores más altos de potencia solar disponible localizados en las horas centrales del día. Así, el sistema aplicó la lámina de riego, de acuerdo a los niveles de irradiancia y a las necesidades de potencia de cada sector. En el Gráfico 1 se muestra el comportamiento en un día despejado (Gráfico 1a) y un día nublado (Gráfico 1b), donde el sistema activa secuencialmente los distintos sectores dependiendo de las oscilaciones en la potencia disponible.

**Gráfico 1. Sincronización de la producción solar y el riego de los sectores 1, 2 y 3 de la red de riego de la parcela experimental de Rabanales en a) y b)**

a) 30 de junio de 2013 (soleado)



b) 21 de mayo de 2013 (nublado)



De los tres sectores, S1 es el que requiere menos potencia para su funcionamiento y S3 es el de mayores requerimientos, estando S2 en una situación intermedia. El sistema da prioridad al riego del sector con mayor demanda de potencia que pueda ser regado con la radiación solar disponible. Cuando el sector más limitante aplica todas sus horas de riego, el sistema de RSI cierra la electroválvula de dicho sector y activa el siguiente, con menores requerimientos de potencia.

Al final de la campaña de riego, todos los sectores recibieron la dotación hídrica programada al inicio de esta. Además, en términos de emisiones de gases efecto invernadero, la sustitución de la red eléctrica como medio de suministro por energía fotovoltaica permitió evitar la emisión de 1,32 t CO<sub>2</sub> eq durante la campaña de riego de 2013, equivalente a 603 horas de riego. Otro aspecto positivo reside en el coste dado que, por lo general, en los períodos de amortización oscilan entre los tres y los seis años.

## 6. Conclusiones

En el regadío actual, altamente tecnificado y con cada vez mayor predominio de los sistemas a presión, la eficiencia en el uso de la energía juega un papel tan importante como el buen uso del agua. La energía representa generalmente la mayor partida dentro de los costes del agua, lo cual tiene una repercusión directa en la renta del agricultor. Además, es necesario considerar el impacto ambiental de las emisiones de CO<sub>2</sub>, especialmente en el contexto de cambio climático actual. Por tanto, se hace necesario optimizar conjuntamente el binomio agua-energía, usando la cantidad de agua necesaria para el adecuado crecimiento de los cultivos, pero con el menor consumo energético posible.

Existen diversas estrategias para reducir la dependencia energética en las CCRR que, por término medio, pueden llevar a ahorros de entre el 20 y el 30 % en el consumo de energía. Algunas de esas medidas implican cambios en la gestión de la red y otras pueden ocasionar inversiones en mejora de las instalaciones. En este trabajo se han mostrado algunas de esas medidas, tales como la sectorización, el control de puntos críticos y la adaptación del bombeo. No obstante, el uso óptimo de esas medidas no es fácil y requiere usar métodos de optimización que consideren el gran número de variables, que intervienen en el proceso.

La energía solar fotovoltaica constituye una alternativa viable para el suministro de riego. Sin embargo, es necesario adaptar la gestión del riego a la

disponibilidad de radiación solar, por lo que implica cambios en la gestión habitual por parte del regante. En este sentido, el sistema SRI, desarrollado en la Universidad de Córdoba, permite gestionar automáticamente el riego de acuerdo a la disponibilidad de potencia en cada momento. La aplicación del mismo en la finca experimental del Campus de Rabanales mostró que es posible suministrar toda la dotación de riego de la campaña sin necesidad de recurrir a ninguna fuente de energía convencional.

## Referencias bibliográficas

- ABADIA, R.; ROCAMORA, M. C.; CORCOLES, J. I.; RUIZ-CANALES, A.; MARTINEZ-ROMERO, A. y MORENO, M. A. (2010): «Comparative analysis of energy efficiency in water users associations»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(supl. 2); pp. 134-S142.
- ALEXANDRATOS, N. y BRUINSMA, J. (2012): *World agriculture towards 2030/2050* 13(3).
- CARRILLO-COBO, M. T.; RODRIGUEZ-DÍAZ, J. A. y CAMACHO-POYATO, E. (2010): «The role of energy audits in irrigated areas. The case of 'fuente palmera' irrigation district (Spain)»; *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(supl. 2); pp. S152-S161.
- CARRILLO-COBO, M. T.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; MONTESINOS, P.; LUQUE, R. L. y CAMACHO POYATO, E. (2011): «Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks»; *Irrigation Science* 29(2); pp. 157-169.
- CARRILLO COBO, M. T.; CAMACHO POYATO, E.; MONTESINOS, P. y RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. (2014): «New model for sustainable management of pressurized irrigation networks. Application to Bembézar MD irrigation district (Spain)»; *Sci. Total Environ.*; pp. 473-474 y 1-8.
- COROMINAS, J. (2010): «Agua y Energía en el riego en la época de la sostenibilidad»; *Ing. del Agua* 17.
- DACCACHE, A.; CIURANA, J. S.; RODRIGUEZ DIAZ, J. A. y KNOX, J. W. (2014): «Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region»; *Environmental Research Letters* 9(12).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2012): *Towards efficient use of water resources in Europe*. Doi:10.2800/95096.

- FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2013): «Optimal operation of pressurized irrigation networks with several supply sources»; *Water Resources Management* 27(8); pp. 2855-2869.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E.; MONTESINOS, P. y BERBEL, J. (2014a): «Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts»; *Agricultural Systems* 131; pp. 56-63.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; MONTESINOS, P.; CAMACHO POYATO, E. y RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. (2014b): «Methodology for detecting critical points in pressurized irrigation networks with multiple water supply points»; *Water Resources Management* 28(4); pp. 1095-1109.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; MORENO, M. A. y RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. (2014c). «Optimum pumping station management for irrigation networks sectoring: Case of Bembezar MI (Spain)»; *Agricultural Water Management* 144; pp. 150-158.
- HAMIDAT, A.; BENYOUCEF, B. y HARTANI, T. (2003): «Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions»; *Renew. Energy* 28; pp. 1081-1096.
- IDAE (2008a): «Ahorro y eficiencia energética en Comunidades de Regantes»; Madrid, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- IDAE (2008b): «Protocolo de auditoría energética en Comunidades de Regantes»; Madrid, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; MARTÍNEZ ALZAMORA, F.; BOU SOLER, V. y AYALA, H. J. B. (2010): «Methodology for grouping intakes of pressurised irrigation networks into sectors to minimise energy consumption»; *Biosyst. Eng.* 105; pp. 429-438.
- LAMADDALENA, N. y SAGAREDOY, J. A. (2000): «Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems»; *FAO Irrigation and Drainage Paper* 59. Roma.
- LÓPEZ-GUNN, E.; ZORRILLA, P.; PRIETO, F. y LLAMAS, M. R. (2012): «Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture»; *Agriculture Water Management* 108; pp. 83-95.

- LÓPEZ-LUQUE, R.; RECA, J. y MARTÍNEZ, J. (2015): «Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards»; *Appl. Energy* 149; pp. 13-23.
- 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*.
- MÉRIDA GARCÍA, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, I.; CAMACHO POYATO, E.; MONTESINOS BARRIOS, P. y RODRIGUEZ DÍAZ, J. A. (2017): «Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a Smart irrigation management system»; *Journal of Cleaner Production* 175; pp. 670-682.
- MORENO, M. A.; PLANELLS, P.; CÓRCOLES, J. L.; TARJUELO, J. M. y CARRIÓN, P. A. (2009): «Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total costs at pumping stations»; *Biosyst Eng.* 102; pp. 95-105.
- MORENO, M. A.; CÓRCOLES, J. L.; TARJUELO, J. M. y ORTEGA, F. J. (2010): «Energy efficiency of pressurized irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule»; *Biosyst Eng.* 107(4); pp. 349-363.
- NAVARRO NAVAJAS, J. M.; MONTESINOS, P.; POYATO, E. C. y RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. (2012): «Impacts of irrigation network sectoring as an energy saving measure on olive grove production»; *Journal of Environmental Management* 111; pp. 1-9.
- NELSON, G. C.; ROSEGRANT, M. W.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T.; ZHU, T.; RINGLER, C.; MSANGI, S.; PALAZZO, A.; BATKA, M.; MAGALHAES, M.; VALMONTE-SANTOS, R.; EWING, M. y LEE, D. (2009): *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, Instituto Internacional de Investigación sobre políticas Alimentarias.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W. y CAMACHO, E. (2007): «Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain»; *Regional Environmental Change* 7; pp. 149-159.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; LÓPEZ LUQUE, R.; CARRILLO COBO, M. T.; MONTESINOS, P. y CAMACHO POYATO, E. (2009): «Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks»; *Biosystems Engineering* 104; pp. 552-561.

- RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E. y BLANCO PÉREZ, M. (2011a): «Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Southern Spain»; *J. Irrig. Drain. Eng.* 137; pp. 644-650.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; CAMACHO-POYATO, E. y MONTESINOS, P. (2011b): «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.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; MONTESINOS, P. y CAMACHO POYATO, E. (2012): «Detecting Critical Points in On-Demand Irrigation Pressurized Networks - A New Methodology»; *Water Resour. Manag.* 26; pp. 1693-1713.
- TARJUELO, J. M.; RODRIGUEZ-DIAZ, J. A.; ABADÍA, R.; CAMACHO, E.; ROCAMORA, C. y MORENO, M. A. (2015): «Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from spanish case studies»; *Agricultural Water Management* 162; pp. 67-77.
- TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; CÓNDROR-GOLEC, R. D.; FERRACA, A.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; FEDERICI, S.; JACOBS, H. y FLAMMINI, A. (2014): *Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks*. FAO, Climate, Energy and Tenure Division.
- YAHYAOU, I.; TADEO, F. y SEGATTO, M. V. (2016): «Energy and water management for drip-irrigation of tomatoes in a semi-arid district»; *Agric. Water Manag.* 183; pp. 4-15.





# Sostenibilidad de los sistemas agrarios mediterráneos

*Assumpció Antón*

IRTA

## 1. Introducción

Garantizar la sostenibilidad de la actividad agraria implica la selección de las mejores opciones de actuación considerando conjuntamente los aspectos económicos, sociales y ambientales de la actividad. Mientras que los aspectos beneficiosos económicos son claramente identificables, así como la teoría de los sociales, aunque en la práctica podrían presentar ciertos matices, existe todavía una gran confusión en cómo evaluar la práctica ambiental. La complejidad del tema junto con la existencia de diversos métodos científicos y teorías, más o menos influenciadas por intereses políticos y comerciales confrontados, pueden conducir a conclusiones equívocas. Por ello, cuando hablamos de una optimización ambiental, resulta imprescindible analizar dos conceptos: consenso y perspectiva global. Lograr un consenso en protocolos, metodologías a aplicar y datos a utilizar en los cálculos de evaluación ambiental, conllevará la objetividad y transparencia necesaria en este tipo de evaluaciones. Y perspectiva global, es decir de la cadena completa de producción, pues no es pertinente enfocarse únicamente en una parte de la cadena. Una mirada puntual puede llevar a trasladar los problemas ambientales a otros puntos aguas arriba o abajo del proceso analizado; siendo un ejemplo claro asumir que la práctica agrícola conlleva una fijación de CO<sub>2</sub> en el proceso de fotosíntesis si después no se tiene en cuenta la gestión del material vegetal generado. Una perspectiva global implica, también, no enfocarse simplemente en un problema ambiental concreto, cálculo de una huella de carbono o huella de agua, sino que pretende abordar la globalidad de problemas ambientales, evitando de esta manera el traslado de problemas de una categoría de impacto a otra. En este sentido la perspectiva ambiental ofrecida por la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) ha sido propuesta y aceptada en las políticas, actuaciones y cuantificaciones ambientales. Por ello, se pretende en este artículo presentar cómo afectan al territorio español dos metodologías, tales como pérdida de biodiversidad e indicador de agua disponible remanente, recientemente

consensuadas en el marco de la iniciativa de Ciclo de Vida del programa ambiental de las naciones unidas (UNEP-SETAC, *United Nations Environment Programme* y *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) y que afectan a los recursos suelo y agua, recursos de los cuales depende y a los cuales principalmente afecta la actividad agraria. Finalmente, se dedica una sección para mencionar los retos todavía pendientes que nos permitirán una transparente y objetiva evaluación ambiental.

## 2. Impacto ambiental

### 2.1. *Uso del suelo y pérdida biodiversidad*

Entre las iniciativas llevadas a cabo para consensuar indicadores ambientales, cabe señalar la llevada a cabo por «Life Cycle Initiative» de UNEP-SETAC, (Frischknecht *et al.*, 2016). Esta iniciativa tiene como objetivo proporcionar consenso entre los indicadores ambientales a utilizar. No existiendo un indicador consensuado para evaluar el uso del suelo (Antón *et al.*, 2016), una de las prioridades de dicha iniciativa ha sido acordar una metodología para el cálculo de la pérdida de biodiversidad debida a la ocupación del territorio para la realización de las diferentes actividades humanas. Para el caso particular del uso de suelo y su relación con la pérdida de biodiversidad, la iniciativa, después de un trabajo exhaustivo de revisión de métodos y consulta a diferentes expertos académicos y sectoriales, recomienda provisionalmente el indicador denominado *pérdida potencial de especies*, PSL (siglas en inglés de *potential species loss*). El indicador basado en la metodología desarrollada por Chadhaury *et al.* (2016) pasará a ser recomendado en el momento que haya sido validado con suficientes casos de estudio.

### 2.2. *Pérdida potencial de especies (siglas en inglés, PSL)*

#### Metodología

PSL es un indicador que representa la pérdida de especies debida a la ocupación del suelo por una determinada actividad en relación a lo que representaría un estado natural. Dicho indicador puede ser aplicado a escala regional ( $PSL_{reg}$ ), que dará idea de cómo afecta la actividad a los cambios en abundancia de especies a nivel de la región, o bien como indicador global ( $PSL_{glo}$ ), el cual también refleja el nivel de amenaza sobre especies en extinción,

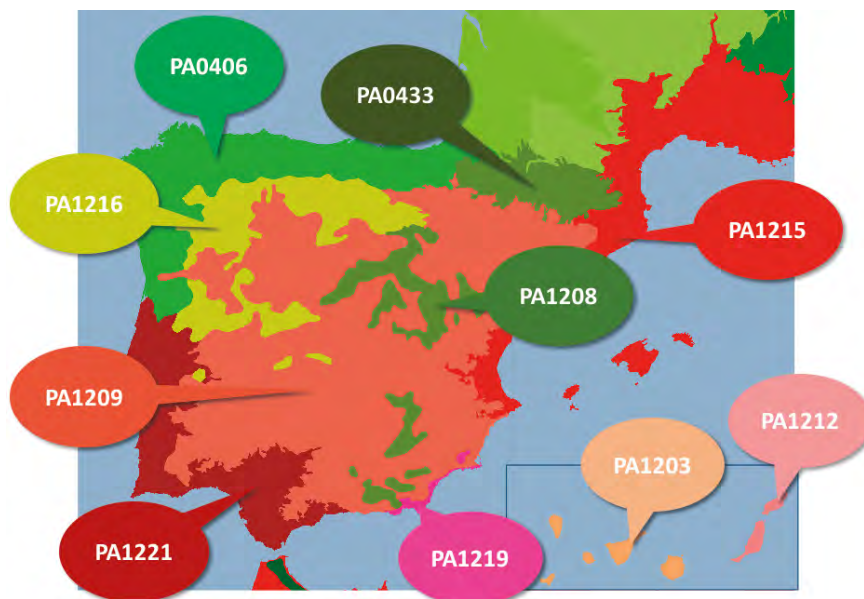
adquiriendo por tanto un nivel de preocupación a escala global o planetaria. El indicador cubre cinco grupos taxonómicos: pájaros, mamíferos, reptiles, anfibios y plantas vasculares. Los grupos taxonómicos pueden ser analizados individualmente o bien agregarse para representar esta pérdida de biodiversidad como la fracción potencial de desaparición de especies (PDF). El método ha sido desarrollado para diferentes usos del suelo: forestal intensivo y extensivo, cultivos anuales, cultivos permanentes, pastos y actividad urbana. El estado de referencia, respecto al cual se comparan los diferentes usos, es el estado natural hipotético que existiría en caso de una actividad humana nula. Desde la perspectiva geográfica los indicadores se han calculado para 804 ecoregiones terrestres basadas en la clasificación de Olson *et al* (2001), así mismo se tienen valores promediados por países y un valor a escala planetaria por defecto.

### Aplicación a España

La Figura 1 muestra las ecoregiones incluidas en la geografía española (WWF, 2006) y en las tablas 1 y 2 se proporcionan los valores para los indicadores  $PSL_{reg}$  y  $PSL_{glo}$ , respectivamente, y que corresponden a los seis tipos de uso de suelo en cada una de dichas ecoregiones. Así mismo, también se presentan los valores promediados para proporcionar un valor por defecto para España. Dichos indicadores están expresados como potencial de pérdida de especies por  $m^2$ , pudiéndose conocer el impacto que una actividad representa relacionándola con los diferentes usos del suelo mencionados: forestal intensivo y extensivo, cultivos anuales, cultivos permanentes, pastos y actividad urbana, tanto a nivel regional o global, al multiplicarlo por la superficie ocupada por la actividad en cuestión.

El Gráfico 1 muestra los valores alcanzados por el indicador  $PSL_{reg}$  referida a la actividad agrícola (cultivos anuales), para las diferentes ecoregiones de la geografía española. En ella se observa un valor muy elevado de este indicador en la ecoregión PA1219 con respecto a otras ecoregiones, denotándose una pérdida importante de biodiversidad en esta área. Aunque como ya se ha comentado, para evaluar el término sostenibilidad, se deben de analizar no solo aspectos ambientales, sino también económicos y sociales; debiéndose tener en cuenta que la reducción del indicador no pasa por la eliminación de la actividad, pero sí de su mejora, estando por tanto claro que urge tomar medidas que puedan garantizar una mejor práctica, potenciar áreas naturales, proyectos de compensación de especies, franjas «verdes», etc.

**Figura 1. Ecoregiones correspondientes al territorio español**



Fuente: WWF (2006).

**Tabla 1. Indicador expresado en PDF (*potential dissapeared fraction*) por m<sup>2</sup> para el cálculo de pérdida potencial de especies regional (PSL<sub>reg</sub>) para diferentes tipos de uso del suelo y las diferentes ecoregiones y en el conjunto de España**

Ecorregión	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	Pastos	Urbano	Forestal extensivo	Forestal intensivo
PA0406	3,5E-14	2,9E-14	1,4E-14	5,4E-14	1,0E-14	1,8E-14
PA0433	7,5E-14	6,3E-14	4,3E-14	1,4E-13	2,1E-14	3,5E-14
PA1203	2,0E-13	1,8E-13	1,2E-13	3,0E-13	2,7E-14	9,2E-14
PA1208	6,3E-14	5,1E-14	2,7E-14	8,3E-14	9,3E-15	2,5E-14
PA1209	9,0E-15	7,6E-15	3,7E-15	1,2E-14	1,3E-15	3,8E-15
PA1212	2,3E-14	1,7E-14	1,5E-14	3,5E-14	2,7E-15	8,2E-15
PA1215	3,2E-14	2,6E-14	1,3E-14	4,4E-14	6,3E-15	1,5E-14
PA1216	3,2E-14	2,8E-14	1,4E-14	4,8E-14	5,8E-15	1,5E-14
PA1219	5,6E-13	5,4E-13	3,0E-13	9,4E-13	9,2E-14	2,9E-13
PA1221	3,2E-14	2,7E-14	1,5E-14	4,6E-14	5,2E-15	1,5E-14
<b>España</b>	<b>2,6E-14</b>	<b>2,2E-14</b>	<b>1,1E-14</b>	<b>3,8E-14</b>	<b>4,9E-15</b>	<b>1,2E-14</b>

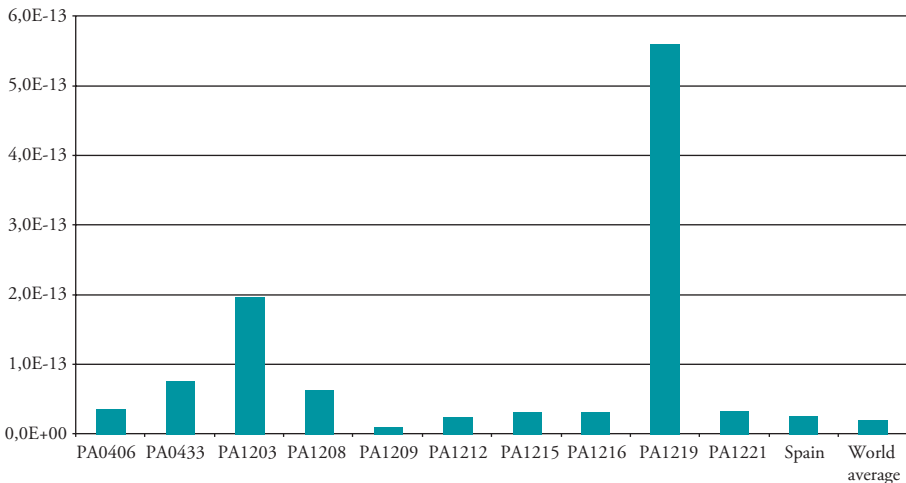
Fuente: UNEP-SETAC (2017).

**Tabla 2. Indicador expresado en PDF (*potential dissapered fraction*) por m<sup>2</sup> para el cálculo de pérdida potencial de especies global (PSL<sub>glob</sub>) para diferentes tipos de uso del suelo y las diferentes ecoregiones y en el conjunto de España**

Ecoregión	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	Pastos	Urbano	Forestal extensivo	Forestal intensivo
PA0406	9,9E-16	6,2E-16	2,8E-16	1,2E-15	2,5E-16	2,6E-16
PA0433	2,8E-15	1,8E-15	8,7E-16	3,3E-15	3,7E-16	6,0E-16
PA1203	6,7E-14	4,0E-14	2,5E-14	6,2E-14	6,9E-15	1,8E-14
PA1208	6,0E-15	3,6E-15	1,5E-15	4,4E-15	8,2E-16	1,4E-15
PA1209	6,7E-15	4,4E-15	1,7E-15	5,1E-15	8,2E-16	1,7E-15
PA1212	2,2E-15	1,1E-15	9,8E-16	2,1E-15	1,9E-16	5,0E-16
PA1215	6,4E-15	3,6E-15	1,4E-15	4,7E-15	8,9E-16	1,5E-15
PA1216	6,0E-15	3,4E-15	1,3E-15	4,4E-15	8,4E-16	1,4E-15
PA1219	6,4E-15	4,1E-15	1,8E-15	4,9E-15	7,4E-16	1,7E-15
PA1221	6,0E-15	3,6E-15	1,6E-15	4,6E-15	7,7E-16	1,5E-15
España	5,7E-15	3,6E-15	1,4E-15	4,4E-15	7,3E-16	1,4E-15

Fuente: UNEP-SETAC (2017).

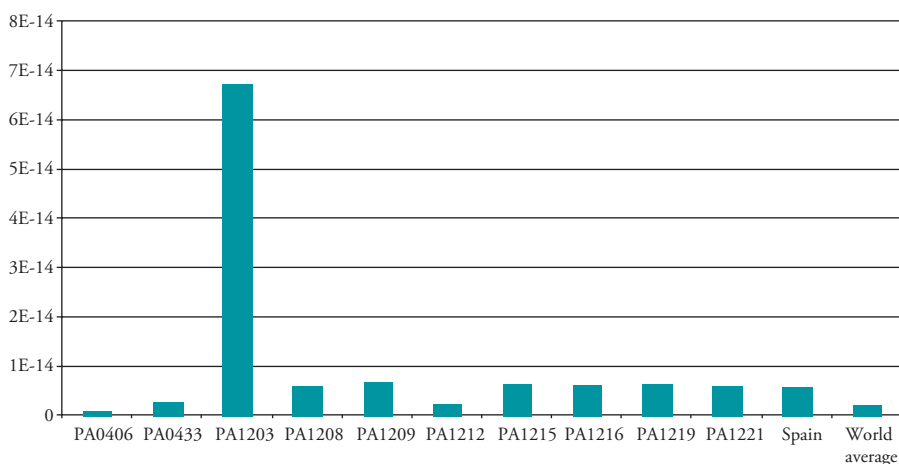
**Gráfico 1. Representación gráfica de los valores del Indicador de PSL<sub>reg</sub> correspondiente a la actividad agraria de cultivo anuales para cada uno de las ecoregiones españolas**



Fuente: UNEP-SETAC (2017) .

Por otro lado, y atendiendo al Gráfico 2, se puede observar que a nivel planetario adquiere una gran importancia la preservación de especies en la ecorregión PA1203, aspecto que coincide con los resultados presentados en el proyecto European BEST-Initiative realizado por la Comisión Europea donde se destaca esta región como uno de las áreas críticas en aspectos de mantenimiento de biodiversidad (FRCT, 2016).

**Gráfico 2. Representación gráfica de los valores del indicador de PSL<sub>glo</sub> correspondiente a cada uno de las ecorregiones españolas y uso de suelo agrícola para cultivos anuales**



Fuente: UNEP-SETAC (2017).

### 3. Consumo de agua

Las características del clima de la península ibérica y especialmente de la principal zona productiva hortofrutícola conllevan que el tema ambiental relacionado con el del uso del agua adquiriera una gran trascendencia. El concepto de huella hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011; Aldaya *et al.*, 2012) ha remarcado la importancia del consumo de agua de los cultivos propios de zonas áridas/semiáridas y especialmente de regadío. A ello cabe añadir los intentos por parte de la comunidad científica del ACV (Pfister *et al.*, 2011, Nuñez *et al.*, 2013; Boulay *et al.*, 2017) de establecer una equivalencia o valor ambiental al volumen de agua consumido. Para estos autores tendrá más valor un litro de agua consumido en una zona árida que un litro de agua consumido en una zona donde el agua no es un recurso escaso. Otro aspecto diferencial entre la

metodología propuesta por la huella hídrica y la de ACV es la aproximación a la contaminación producida en relación al uso de agua; en la primera corresponde al cálculo teórico del agua gris, es decir, el agua teórica necesaria para disolver los contaminantes a niveles legales, en la segunda metodología y mientras no se desarrollen metodologías más específicas, se considera que estos impactos están cubiertos con los métodos propios de cálculo de eutrofización o ecotoxicidad (EU-JRC, 2011). La norma internacional de huella hídrica, ISO 14046 (2014) ha sido un primer paso hacia el acercamiento de ambas metodologías. Dicha norma presenta los principios, requisitos y directrices para el cálculo de la huella hídrica basada en el análisis de ciclo de vida (ISO 14044, 2006), requiriendo la identificación de los impactos ambientales relacionados con la cantidad (cuánta agua se consume) y con la calidad (cuánta agua se contamina).

### 3.1. Disponibilidad de agua restante (Aware)

#### Metodología

También en el marco de la «Life Cycle Initiative» de la UNEP-SETAC, y después del correspondiente trabajo de revisión de métodos y consenso entre los diferentes sectores implicados, se ha llegado a un acuerdo para recomendar un indicador para el cálculo del impacto ambiental del uso del agua. En este caso, el indicador recomendado es el método AWARE (del inglés *available water remaining*, disponibilidad de agua restante) (Boulay *et al.*, 2017).

Este indicador se basa en la asunción: «cuanta menos agua disponible queda en un área, menos probabilidades de uso existen para otra demanda». Se expresa como la inversa de la disponibilidad de agua menos la demanda existente en una región, incluyendo como demanda el consumo humano (agraria, urbana, industrial) y la requerida para mantener el funcionamiento de los ecosistemas existentes en la región (ecuación [1]):

$$\text{AWARE} = \frac{1}{\text{Disponibilidad} - \text{Demanda}} = \frac{1}{\text{Disponibilidad} - \text{Demanda Humana} - \text{Demanda Ecosistemas}} \quad [1]$$

Este indicador es entonces normalizado respecto a un valor de escasez de agua promedio mundial, estimado en 0,0136, para expresar los resultados en m<sup>3</sup> equivalentes mundiales de agua/por m<sup>3</sup> de agua de la región. El indicador toma valores desde 0,1 (zona sin estrés hídrico) a 100 (muy alto estrés hídrico)

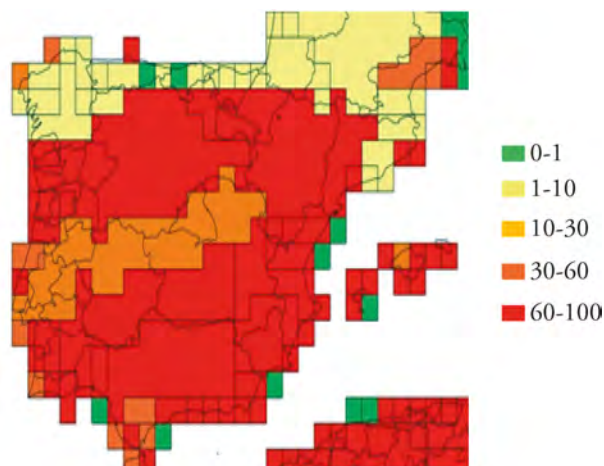
(Boulay *et al.*, 2017). Si se multiplica dicho indicador por el consumo de agua (agua azul en términos de huella hídrica) para una determinada actividad en una determinada región, tendremos el impacto juzgado en función de la disponibilidad y la demanda correspondiente al área donde la actividad tiene lugar, es decir, el equivalente de superficie y tiempo que sería necesario para reponer el agua que se consume.

Los indicadores han sido calculados mensualmente para unas 11.000 cuencas hidrográficas mundiales, diferenciando entre uso agrícola y otros usos del agua. El hecho de un cálculo mensual es especialmente importante cuando se aplica en usos agrícolas por la diferencia de consumo de agua de acuerdo a la época del año (Boulay *et al.*, 2017; WULCA, 2017).

### Aplicación a España

La Figura 2 proporciona una imagen general de la situación actual en España donde se puede ver que, para la mayoría de las cuencas hidrográficas, la situación es alarmante, puesto que estamos en valores de entre 60 y 100 m<sup>3</sup> de agua equivalentes por m<sup>3</sup> de agua utilizada, lo que significa que existe un desajuste importante entre la disponibilidad y la demanda. El valor promedio en España es de 79,1 m<sup>3</sup> agua equivalentes por m<sup>3</sup> de agua utilizada.

**Figura 2. Indicador AWARE mensual y anual para uso agrícola para las diferentes cuencas hidrográficas españolas**



Fuente: WULCA (2017).



Siempre que sea posible y para un mejor ajuste de cálculo se recomendaría utilizar los valores de consumo mensual a nivel de cuenca hidrográfica. Como se puede observar, los resultados presentan una elevada variabilidad, lo que hace no recomendable el uso de un valor medio en el conjunto de España. La tabla 3 proporciona un valor mensual y anual para cada cuenca, considerando la actividad agraria (WULCA, 2017).

**Tabla 3. Valores de indicadores de escasez de agua mensual y anual de acuerdo al método AWARE para contabilizar uso agrícola en las diferentes cuencas españolas. Las unidades equivalen a m<sup>3</sup> equivalentes planetarios por m<sup>3</sup> de agua empleada en riego**

Region	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Andalucía Mediterráneo	13,9	3,8	6,1	38,5	84,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	54,3	21,2	<b>95,3</b>
Barbate	0,3	0,4	0,6	1,6	7,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1,5	0,3	<b>78,6</b>
Cantábrico este	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	1,3	2,2	2,1	2,4	0,8	0,4	0,3	<b>2,0</b>
Cantábrico oeste	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	1,2	2,7	3,0	2,2	0,8	0,4	0,3	<b>2,4</b>
Cataluña, cuencas internas	1,0	1,0	1,2	2,5	26,4	28,0	56,4	54,8	38,1	2,6	1,4	1,1	<b>46,0</b>
Castellón-Maestrazgo	1,6	1,4	2,0	2,5	4,0	100,0	100,0	100,0	100,0	11,1	5,0	2,2	<b>88,7</b>
Costa Galicia	0,7	0,9	1,1	1,3	2,1	5,3	12,1	22,1	14,7	3,5	1,2	0,8	<b>13,6</b>
Duero	0,7	0,9	1,1	1,4	2,0	6,9	100,0	100,0	73,6	3,7	1,5	0,8	<b>72,2</b>
Ebro	1,1	1,4	1,4	1,4	2,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	2,5	1,3	<b>90,0</b>
Guadalete	2,1	2,7	4,2	5,1	6,4	10,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>46,8</b>
Guadiana	3,0	3,3	5,6	8,0	14,7	51,0	100,0	64,3	10,5	6,0	3,0	2,4	<b>62,8</b>
Guadalquivir	2,0	2,2	3,7	12,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	2,8	<b>96,7</b>
Miño-Sil	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	1,5	3,2	3,6	2,0	0,5	0,2	0,2	<b>2,7</b>
Turia	2,2	2,6	5,3	21,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	36,5	3,2	<b>97,2</b>
Júcar-Serpis	11,7	6,0	8,7	35,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>98,4</b>
Tajo	1,0	1,0	1,4	1,9	2,5	5,6	18,6	10,3	4,2	2,7	1,6	1,1	<b>10,7</b>
Marina Alta	4,1	3,7	5,2	10,9	26,6	100,0	100,0	100,0	100,0	40,0	9,7	8,8	<b>89,2</b>
Segura	52,3	7,4	7,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>99,7</b>
Vinapóló	46,8	26,4	60,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>99,4</b>
Tinto-Odiel-Piedras	0,3	0,4	0,8	1,2	2,7	100,0	100,0	100,0	100,0	8,0	0,8	0,3	<b>85,4</b>
<b>España</b>	<b>23,4</b>	<b>29,8</b>	<b>21,4</b>	<b>31,3</b>	<b>54,8</b>	<b>71,9</b>	<b>92,6</b>	<b>86,1</b>	<b>73,6</b>	<b>50,7</b>	<b>100,0</b>	<b>7,7</b>	<b>79,1</b>

Fuente: WULCA (2017).

## 4. Retos pendientes

### *4.1. Eficiencia, un primer paso hacia la sostenibilidad ambiental*

Quizás la manera más obvia de avanzar en sostenibilidad ambiental es mejorar la eficiencia productiva. Este documento presenta diversos trabajos que ilustran cómo mejorar la eficiencia productiva, entre ellos destacaríamos mejor ajuste de la fertilización y sistemas de riego, así como la optimización de la gestión climática de los invernaderos. Hoy en día existen suficientes recursos tecnológicos, sensores, tecnologías digitales, sistemas de información geográfica y un potencial de energías renovables que permitirían una clara innovación en los sistemas de producción, por otra parte necesaria para alcanzar esta eficiencia, y de esta forma incrementar la sostenibilidad ambiental.

### *4.2. Incorporar el concepto ambiental como un aspecto más de la producción*

Afortunadamente, algo está cambiando y el concepto ambiental, bien sea por la presión de los consumidores o por la propia concienciación de la sociedad en general, está entrando a formar parte de la planificación productiva empresarial. Y es que si hay un sector que claramente destaca por su dependencia directa de los recursos naturales es el sector agrario, de ahí que es o debería ser el primero en sentirse involucrado en un buen hacer ambiental, aunque sea simplemente por el mantenimiento de sus medios de producción.

### *4.3. Comunicación: ecoetiquetaje*

Una vez asumido que las cosas se hacen bien surge un nuevo y trascendental reto, todavía no bien resuelto, que se refiere a la manera de comunicar al consumidor la buena gestión ambiental. Aparece el ecoetiquetaje como una opción que permitiría abordar este aspecto comunicativo; sin embargo, la profusión de «ecoetiquetas», organismos y criterios parecen, en este momento, sembrar más dudas que aclaraciones. Queda por tanto un largo camino por recorrer para poder hacer partícipe al consumidor de la buena gestión ambiental. Cabe destacar en este sentido la iniciativa de la Comisión Europea para consensuar, simplificar y potenciar el uso de un indicador común (PEF,

del inglés *product environmental footprint*). La idea es consensuar la metodología de cálculo de los indicadores ambientales, así como la forma de comunicar los resultados. En estos momentos, esta iniciativa se encuentra en fase piloto, incluyendo algunos productos del sector agroalimentario, vino, aceite y lácteos entre otros (PEF, 2017).

#### 4.4. Comparaciones

Si por un lado hemos comentado los beneficios de la perspectiva holística en cuanto a cadena de producción completa y estudio de los diferentes impactos ambientales, no podemos olvidar la complejidad inherente al tratamiento de tanta información diversa, y el alto grado de incertidumbre en los métodos de cálculo y variabilidad inherente a la actividad agraria. Por tanto, una de las consecuencias más importantes se puede dar en el momento de hacer comparaciones entre procesos o productos, cabe estar seguros que se están siguiendo los mismos criterios y que estamos incluyendo la incertidumbre asociada al estudio realizado. La misma normativa ISO 14044 (2006) nos recuerda la necesidad de incluir análisis de sensibilidad e incertidumbre en la comparación, siendo, sin embargo, no pocos los estudios comparativos que todavía hoy se presentan sin estos resultados. Ayudaría también el poder disponer de una buena base de datos contrastada que permitiera y asegurara cálculos objetivos.

#### 4.5. Oportunidades de mejora

El cálculo del impacto ambiental conlleva un mejor conocimiento, por la necesidad de datos, de nuestro sistema productivo, y este conocimiento es el primer paso para buscar soluciones. Por un lado, medidas preventivas replanteando la actividad: ¿es realmente necesario tanto abono? Y por el otro, medidas correctivas para la situación actual, si nuestra actividad ha afectado la biodiversidad se podría pensar en acciones/políticas compensatorias para preservar y/o recuperar esta biodiversidad perdida.

Otro aspecto importante a considerar es que pequeñas correcciones ambientales a nivel individual pueden tener una gran importancia cuando se multiplican por las hectáreas de cultivo, no olvidemos que muchos de los compromisos ambientales que se alcanzan son a nivel estatal.

## 5. Conclusiones

El sector agroalimentario se enfrenta al importante reto de mostrar su sostenibilidad ambiental. La utilización de indicadores más o menos precisos pero consensuados puede ayudar a contemplar las prioridades ambientales. España en particular y el Mediterráneo en general presentan aspectos climáticos altamente positivos para una producción de calidad. Ahora bien, se enfrenta a unos retos muy destacables, principalmente relacionados con el uso del agua y el suelo. Sin duda, el poder disponer de un más alto conocimiento del comportamiento ambiental de nuestro sistema productivo agrícola es el primer paso para encarar las pertinentes oportunidades de mejora.

## Referencias bibliográficas

- ALDAYA, M. M.; CABRERA, E.; CUSTODIO, E.; DE STEFANO, L.; GARRIDO, A.; LÓPEZ-GUNN, E.; LLAMAS, M. R.; VILLARROYA, F. y WILLAARTS, B.A. (2012): *El agua en España: Bases para un pacto de futuro*. Santander, Fundación Botín; pp. 89. Disponible en <https://www.fundacionbotin.org/observatorio-contenidos/monografias-genericas.html>.
- ANTÓN, A.; DE SOUZA, D. M.; TEILLARD, F. y MILÀ I CANALS, L. L. (2016): «Chapter 7. Addressing biodiversity and ecosystem services in Life cycle assessment»; *Handbook on Biodiversity and Ecosystems Services impact assessment*. D. G. (Ed).
- BOULAY, A. M.; BARE, J.; BENINI, L.; BERGE, M.; LATHUILLIERE, M.; MANZARDO, A.; MARGNI, M.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; OKI, T.; PASTOR, A.; RIDOUTT, B.; WORBE, S. y PFISTER, S. (2017): «The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on Available WATER REMaining (AWARE)»; *Int. J. Life Cycle Assess.* DOI 10.1007/s11367-017-1333-8.
- CHAUDHARY, A. *et al.* (2015): «Quantifying Land Use Impacts on Biodiversity: Combining Species - Area Models and Vulnerability Indicators»; *Environmental Science & Technology* 49; pp. 9987-9995.
- EU-JRC (2012): «International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context»; *JRC Reference Reports*. Luxemburgo, Comisión Europea, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Publications Office of the European Union.

- FRCT (2016): «Fundo Regional para a Ciência e Tecnologia (Açores). European overseas. Regional ecosystem Profile. Macaronesira. Measures towards Sustaining the BEST Preparatory Action to promote the conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services in EU Outermost Regions and Overseas Countries and Territories'. European Comission.
- FRISCHKNECHT, R.; FANTKE, P.; TSCHÜMPERLIN, L.; NIERO, M.; ANTÓN, A.; BARE, J.; BOULAY, A. M., CHERUBINI, F.; HAUSCHILD, M. Z.; HENDERSON, A.; LEVASSEUR, A.; MCKONE, T. E.; MICHELSEN, O.; MILÀ I CANALS, L.; PFISTER, S.; RIDOUTT, B.; ROSENBAUM, R. K.; VERONES, F.; VIGON, B. y JOLLIET, O. (2016): «Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: progress and case study»; *Int. J. Life Cycle Assess* 21(3); pp. 429-442.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M. y MEKONNEN, M. M. (2011): *The Water Footprint assessment manual*. Ed. Earthscan; en <http://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>.
- ISO (2006): ISO 14044: 2006. *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. Geneva.
- ISO (2014): ISO 14046:2014, *Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines*. Geneva.
- OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E. D.; BURGESS, N. D.; POWELL, G. V. N.; UNDERWOOD, E. C.; D'AMICO, J. A.; ITOUA, I.; STRAND, H. E.; MORRISON, J. C.; LOUCKS, C. J.; ALLNUTT, T. F.; RICKETTS, T. H.; KURA, Y.; LAMOREUX, J. F.; WETTENGEL, W. W.; HEDAO, P. y KASSEM, K. R. (2001): «Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth»; *Bioscience* 51(11); pp. 933-938.
- PEF (2017): *Product Environmental Footprint*. European Comission. Environment; en [http://ec.europa.eu/environment/eusd/smgp/policy\\_footprint.htm](http://ec.europa.eu/environment/eusd/smgp/policy_footprint.htm) (acceso: agosto de 2017).
- PFISTER, S.; KOEHLER, A. y HELLWEG, S. (2009): «Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA»; *Environ. Sci. Technol.* 43(11); pp. 4098-4104.

NÚÑEZ, M.; PFISTER, S.; ROUX, P. y ANTÓN, A. (2013): «Estimating water consumption of potential natural vegetation on global dry lands: building an LCA framework for green water flows»; *Environ Sci Technol* (47); pp. 12258-12265.

UNEP-SETAC (2017): *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators 1*; en <http://www.lifecycleinitiative.org/applying-lca/lcia-cf/>.

WWF (2006): *WildFinder: Online database of species distributions, ver. Jan-06*. en [www.worldwildlife.org/science/WildFindere](http://www.worldwildlife.org/science/WildFindere) (acceso: junio de 2017).

WULCA (2017): <http://www.wulca-waterlca.org> (acceso: agosto de 2017).

# Uso intensivo del agua en la agricultura de las cuencas mediterráneas

## Aspectos económicos e hidrológicos

*Carles Sanchis-Ibor<sup>a</sup>, Manuel Pulido-Velazquez<sup>b</sup>, Hector Macián-Sorribes<sup>b</sup>, Patricia Marcos-García<sup>b</sup>, Marta García-Mollá<sup>a</sup> y Martín Ruiz-Rodríguez<sup>b</sup>,*

<sup>a</sup>Centro Valenciano de Estudios del Riego

<sup>b</sup>Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente,  
Universitat Politècnica de València

### 1. Introducción

Las condiciones de aridez o semiaridez del cuadrante sureste de la península ibérica han hecho históricamente imprescindible el uso del riego para el mantenimiento de la agricultura. Como ha recordado Mateu (2011), diversos viajeros extranjeros, desde Jaubert de Passà a Jean Bruhnes, reconocieron en estas tierras «el país clásico del regadío». A lo largo del siglo XX, la persistente aplicación de políticas de promoción pública de los recursos e infraestructuras de regadío ha consolidado un modelo territorial que refuerza esta expresión. Estos espacios regados son el sustento de una agricultura comercial de vocación exportadora y la base de un importante sector agroindustrial. Presentan un uso intensivo de mano de obra –clave para las economías regionales– y recientemente comienzan a ser valorados por algunas funciones ambientales, como su potencial como sumidero de carbono.

El agua es utilizada de forma intensiva en estos espacios, con una alta productividad (Garrido *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2009), pero también en volúmenes muy elevados, sobre todo en comparación a otros usos y sectores económicos. Buena parte de las unidades de demanda agraria de estas demarcaciones hidrográficas (Tabla 1) se hallan en cuencas que la planificación hidrográfica vigente considera deficitarias (CHJ, 2015; CHS, 2015). El desequilibrio entre recursos y demandas, en un sector de un considerable peso económico (y político) en las tres demarcaciones (Júcar, Segura y antigua Sur), ha sido la causa de intensas discusiones técnicas y de un acalorado debate público.

Las previsiones de cambio climático complican esta situación, pues incrementan la incertidumbre sobre los recursos disponibles. De acuerdo con

las estimaciones recogidas por el planeamiento vigente, en la Demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas se considera una hipótesis de reducción de los recursos hídricos disponibles del 8 % para el horizonte 2027, acorde con la estimación de la Instrucción de Planificación Hidrológica para la Demarcación del Guadalquivir (CAPMA, 2015). Por otro lado, en la cuenca del Segura se espera un factor de reducción del 5 % para el horizonte 2033 (CHS, 2015), a partir de los datos del CEDEX-DGA (2011). Finalmente, la Demarcación del Júcar cuantifica la incidencia del cambio climático aplicando una disminución del 12 % a los valores medios mensuales de la serie corta (1980/81-2011/12) (CHJ, 2015).

**Tabla 1. Demandas agrarias en hm<sup>3</sup>/año para el ciclo de planificación de 1998, 2015-2021 y el escenario 2027-2030, con indicación del déficit de cada sistema de explotación, según los respectivos planes hidrológicos de cuenca**

Sistema de explotación	1998	2015-2021	2027-2033	Déficit
Cenia-Maestrazgo	114,4	104,0	104,0	
Mijares-Plana de Castellón	241,0	216,7	216,0	
Palancia-Los Valles	85,4	67,2	66,8	
Turia	465,6	338,9	338,2	
Júcar	1.038,6	1.317,4	1.282,2	<b>195,0</b>
Serpis	91,3	85,6	82,0	
Marina Alta	61,6	64,9	64,3	
Marina Baja	31,2	29,9	29,6	
Vinalopó-Alacantí	155,2	147,3	147,3	<b>70,0</b>
Segura	1.661,6	1.487,1	1.490,9	<b>400,0</b>
Serranía de Ronda	356,3	243,6	220,1	<b>63,9</b>
Sierra Tejeda-Almijara	65,8	77,7	80,2	<b>3,9</b>
Sierra Nevada	281,0	371,0	380,0	<b>7,5</b>
Sierra Gádor-Filabres	68,3	99,6	98,2	<b>13,4</b>
Sierra Filabres-Estancias	79,7	130,4	128,2	<b>21,8</b>
<b>Total</b>	<b>4.797,0</b>	<b>4.781,2</b>	<b>4.728,0</b>	<b>775,5</b>

\* Los datos de los sistemas de explotación de 1998 de la antigua Confederación Hidrográfica del Sur corresponden a usos del regadío.

Otros trabajos recientes perfilan escenarios similares o de mayor exigencia. De acuerdo con Senent-Aparicio *et al.* (2017), a largo plazo la reducción de recursos en la cabecera del Segura podría variar entre el 2 % y el 54 %. Para



la misma zona, García Galiano *et al.* (2015) han calculado una disminución de la esorrentía superior a un 13 % en 2050. En el caso del Júcar, Chirivella Osma *et al.* (2015) han señalado que el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos mostraba también un alto grado de dispersión (de -13,45 % a 18,1 %, con un valor medio de -2,13 %). Asimismo, Marcos-García y Pulido-Velázquez (2017), usando los últimos escenarios del IPCC disponibles (RCPs del AR5) han estimado una reducción de las aportaciones en la cuenca del Júcar de alrededor del 20-21 % a corto plazo y del 29-36 % a medio plazo, respecto a la aportación media anual de la serie larga (1940/41-2008/09).

Este es, sin duda, el principal reto que debe asumir la planificación hidrológica en la actualidad. Exigirá la implementación de medidas adaptativas e impondrá cambios en determinadas prácticas, dirigidos a la mitigación del cambio climático. Pero además, la planificación hidrológica debe moverse forzosamente en direcciones distintas a las tomadas en el siglo XX, debido a que el marco jurídico del agua ha cambiado sustancialmente desde la trasposición de la Directiva Marco del Agua (DMA). La preeminencia de las consideraciones ambientales sobre las productivistas, la obligatoria recuperación de costes y la necesaria transparencia en la gestión estrechan significativamente el amplio margen de maniobra que el planeamiento y la promoción del regadío disfrutaron durante el pasado siglo. La legislación europea establece restricciones económicas y ambientales, que en cierta manera responden a las demandas de buena parte de la sociedad, pero que introducen nuevos retos en la actividad agraria.

En este contexto ambiental y legal, la administración pública del agua se enfrenta al desafío de garantizar el cumplimiento de las exigencias cuantitativas y cualitativas de control del recurso, un objetivo tensionado por las demandas y derechos históricos del sector agrario y por el riesgo de estrangular la actividad económica de algunas comarcas. En los sistemas agrarios que nos ocupan, la administración y los usuarios han esquivado algunas de las dificultades derivadas de estos retos mediante la promoción de tecnologías de ahorro, fundamentalmente merced a la introducción de los sistemas de riego presurizado. Su difusión ha sido impresionante en términos de superficie transformada, sin embargo, la generalización de estas técnicas comporta algunas incertidumbres e impactos cuyo análisis ha motivado el desarrollo reciente de numerosas investigaciones, buena parte de las cuales se sintetizan en un volumen anterior de esta colección (Berbel y Gutiérrez-Marín, 2017). Por otra parte, en el cuadrante sureste peninsular, la administración y el sector agrario

han buscado otras vías para superar las situaciones de déficit. En este sentido, la disponibilidad de recursos no convencionales –procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas o de la desalación–, ha abierto la puerta a la prolongación de las políticas de oferta en nuestro país, pero también ha permitido la creación de cesiones de agua que posibilitan una asignación más eficiente del recurso entre usuarios urbanos y agrarios en determinados territorios.

## 2. La aplicación de tecnologías de ahorro

La crisis financiera de la última década ha establecido, probablemente, un punto de inflexión en la expansión de las tecnologías de ahorro en las cuencas mediterráneas peninsulares. La carencia de recursos públicos para financiar nuevas instalaciones (o concluir las proyectadas) y la emergencia de un discurso crítico sobre los efectos de estas tecnologías han permitido abrir un proceso de reflexión en torno a su promoción pública y a las consecuencias de esta rápida expansión. Sin duda alguna, como han apuntado algunos autores (Corominas y Cuevas-Navas, 2017), estamos ante un cambio de paradigma sobre el uso de estas tecnologías, que fueron generosamente subvencionadas en las décadas del cambio de siglo y sobre las que hoy existe una cierta cautela, numerosas críticas y algunas ideas para su mejora.

### 2.1. *Del goteo para todos al efecto rebote*

Resulta difícil encontrar voces críticas a la promoción pública del riego localizado en las cuencas mediterráneas con anterioridad al cambio de siglo. Pese a ello, cabe recordar que autores como Montalvo (1989), en fechas muy tempranas –con anterioridad a la aprobación de los primeros programas públicos de promoción–, ya denunciaron que el riego por goteo se estaba introduciendo en numerosas explotaciones sin un adecuado análisis de las características y demandas locales.

Frente a las escasas críticas, la promoción pública del riego localizado contó con amplio apoyo por parte de las administraciones, los usuarios y la industria asociada. El riego por goteo fue la herramienta más destacada de unos planes de modernización que basaron su promoción en la contribución de esta técnica de riego «a la mejora de la eficiencia, a la menor contaminación de los acuíferos, así como al confort de los regantes» (DOGV, 1995). En el sudeste peninsular, se hizo además un uso político de esta herramienta,

al entenderse la modernización de regadíos como «la parte más compleja del Trasvase del Ebro»<sup>1</sup>, ante la necesidad de justificar un uso eficiente de los recursos locales como premisa para obtener nuevas transferencias. En términos de superficie transformada, la materialización de estas políticas es un éxito indudable. El 68 % de las tierras regadas de la Comunidad Valenciana, un 82 % de la Región de Murcia y el 72 % de las situadas en Almería, Granada y Málaga han incorporado el riego localizado en las tres últimas décadas. Sin embargo, existe una acusada desproporción entre la considerable magnitud del área transformada con recursos públicos y la escasa información –quizás con la excepción de Andalucía– recabada por la administración sobre sus efectos, singularmente en términos de ahorros netos, y particularmente sobre la eficacia de las inversiones ejecutadas. Ni hubo, como apuntaron López-Gunn *et al.* (2012), una evaluación previa suficientemente rigurosa de las inversiones realizadas, ni existen hoy día programas de seguimiento o evaluación –que cabría esperar de una inversión pública de tal envergadura–, de los efectos hidrológicos, ambientales y económicos de las transformaciones realizadas.

En la Tabla 2 se muestra de forma aproximada la eficacia del esfuerzo público, al menos en términos de ahorros brutos obtenidos en diferentes entidades de riego valencianas. Las importantes diferencias en el aporte público por volumen ahorrado en cada entidad pueden deberse a las diferentes necesidades de infraestructuras, a los porcentajes de la inversión que asume el sector público y a los distintos volúmenes ahorrados. Como se observa en la tabla, las entidades que tienen menores ahorros, ambas situadas en zonas muy deficitarias y por tanto con bajos aportes antes de la modernización, presentan mayores subvenciones por volumen. En estos casos, la inversión pública estaría justificada por la mejora en la garantía de suministro. Aunque entendemos que no siempre deberían priorizarse las inversiones públicas siguiendo el criterio de coste-eficacia que establece la DMA, los criterios por los cuales se financian determinadas inversiones y los porcentajes que se subvencionan deberían ser claros.

En términos de ahorros brutos, los trabajos elaborados hasta el momento presentan resultados positivos, con descensos en torno a un 24 % del recurso si los comparamos con las entidades no modernizadas en el mismo periodo en la Comunidad Valenciana (Sanchis-Ibor *et al.*, 2017), similar al 25 % estimado a escala regional en Andalucía (Corominas y Cuevas-Navas, 2017;

<sup>1</sup> El Mundo, Levante-EMV, Información y La Verdad del 25 de febrero de 2011. Declaraciones del presidente autonómico Francisco Camps.

Borrego y Berbel, 2017), y al 21 % observado en el regadío murciano de Mula (Gómez-Espín *et al.*, 2007). Las únicas estimaciones elaboradas sobre los ahorros netos derivados de estas transformaciones, en Andalucía y en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, arrojan valores sensiblemente inferiores, de un 12 % en el primer caso (Corominas y Cuevas, 2017) y alrededor de un 25 % del ahorro bruto en el segundo (Estrela, 2017).

**Tabla 2. Eficacia de las inversiones públicas en implantación de riego localizado en entidades de la Comunidad Valenciana**

	Ahorro (%)	Subvención/ahorro bruto estimado (céntimos de euro/m <sup>3</sup> )	Inversión subvencionada (%)	Precios del riego por goteo* (céntimos de euro/m <sup>3</sup> )
Agrup. de Regantes Pinella	49	1	60	15
C. R. Canal Cota 220	51	3	24	28
Cooperativa V. L. R. Pla Pinar	50	3	40	27
C. R. Castellón	59	1	24	33
S. R. de Sagunto	56	5	33	28
C. R. Bétera	50	3	70	6
Canal Júcar Turia- Sector X	48	3	55	7
C. R. Riu Alcoi	52	10	70	26
C. R. Pedreguer	60	4	75	15
C. R. La Pila y Cap Negret	59	7	28	7
SAT Virgen de Las Nieves	33	17	68	33
C. R. Riegos de Levante M. I.	37	14	49	29

\* Incluyen los costes de fertirrigación en aquellas entidades que prestan el servicio.

*Nota: El porcentaje de ahorro se ha calculado a partir de datos de aportes obtenidos en entrevistas realizadas antes y después de la implantación de riego por goteo. Para calcular la subvención por volumen ahorrado se ha supuesto que el periodo de amortización para todas las inversiones es de 25 años.*

La cuantificación de estos ahorros netos, en las cuencas en las que se han efectuado masivas transformaciones de riego por goteo, es uno de los principales retos de la investigación actual. No obstante no será fácil de superar, habida cuenta de la dificultad de obtener determinados datos hidrológicos anteriores y posteriores a la modernización, y de aislar estos procesos a escala de cuenca o subcuenca respecto de otros. Hasta ahora, la revisión de los trabajos efectuados en Andalucía y en la Comunidad Valenciana parece apuntar a que

donde simplemente se ha operado transformando el sistema hidráulico, sin intensificar cultivos ni ampliar la superficie, pueden haberse generado ahorros netos, a falta de evaluar los impactos sobre los ecosistemas adyacentes.

Sin embargo, no puede decirse lo mismo de aquellas zonas donde se han producido ampliaciones del riego. Pese a que los planes de modernización, como los desarrollados en la Comunidad Valenciana, no contemplaban la expansión del regadío «sino la consolidación del actual y en todo caso tan solo la sustitución de superficies regables en aquellas áreas en que la expansión urbana o industrial vayan ocupando suelo agrícola» (DOGV, 1995), la realidad es que en las comarcas de interior de la Comunidad Valenciana y de Murcia esta tecnología se ha utilizado también en la creación de nuevas zonas regadas. Así, Sese-Mínguez *et al.* (2017) han descrito como el riego por goteo ha sido el instrumento que ha permitido la ampliación de las superficies citrícolas mediante aguas subterráneas en el valle del Canyoles (Valencia). En otras comarcas, como en la zona vitivinícola de Requena y Utiel, esta tecnología ha sido masivamente utilizada para crear riegos de apoyo para el viñedo, obviamente con la única finalidad de incrementar la producción agrícola. Cerca de 10.000 hectáreas han sido puestas en riego en las últimas dos décadas en este altiplano, provocando una significativa caída de los recursos del río Magro (tributario del Júcar y alimentado por el acuífero explotado para dar riego a los viñedos).

En este sentido, la introducción del riego localizado parece haber servido a un doble propósito en relación con la gestión de los recursos hídricos. Por un lado, ha sido ampliamente utilizado para modernizar explotaciones agrícolas y sistemas de riego comunitario, con objeto de reducir el uso del recurso, mejorar la garantía de suministro –y la respuesta a las sequías–, el confort de los regantes, e incrementar la producción y productividad de las explotaciones (Sanchis-Ibor *et al.*, 2016; Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2017). Pero por otra parte, ha sido el vector que ha permitido la expansión del uso de aguas subterráneas para desarrollar riegos de apoyo para cultivos de secano o para crear nuevos regadíos. En estos casos, más que una medida de gestión de la demanda, el riego por goteo ha sido el instrumento para perpetuar políticas de expansión de los regadíos propias de los modelos de gestión de la oferta.

La constatación del limitado efecto de esta tecnología en la generación de ahorros netos y de la aparición de casos de efecto rebote (Ward y Pulido-Velazquez, 2008; Berbel *et al.*, 2015; Perry y Steduto, 2017) ha provocado el cuestionamiento de diversos proyectos en marcha y la revisión de algunos

pendientes de ejecución, toda vez que algunos usuarios se muestran reticentes a financiar este tipo de inversiones, ante las incertidumbres, costes y riesgos que puede plantear la modernización en determinados ámbitos, singularmente en los regadíos tradicionales. Buena parte de la resistencia a la ejecución de estas modernizaciones de primera generación procede de las organizaciones ambientalistas y del sector de la agricultura ecológica. La reciente polémica en torno al informe de la WWF (2015), desarrollado sobre una correcta base teórica pero fundamentado en casos y datos poco representativos (Del Campo, 2017; Berbel, 2017), es un ejemplo al que han seguido diversos debates en reuniones y jornadas.

Asimismo, en los últimos meses ha aflorado en la Comunidad Valenciana la oposición de los representantes de la agricultura ecológica a los sistemas comunitarios de fertirrigación centralizada. Numerosas entidades de riego apostaron por esta técnica para reducir las dosis y costes de la fertilización, pero esto impide la práctica de la agricultura ecológica, ante la imposibilidad de servir agua sin fertilizantes a las parcelas que no los requieren. La pujanza de esta agricultura, cada vez más frecuente en las entidades de riego mediterráneas, hace necesaria la instalación de redes separativas o la concentración de estas parcelas en determinados sectores de las áreas regables. Obviamente, estas prácticas comportan costes adicionales a los regantes y dificultan la gestión del riego. La problemática ha alcanzado tal relevancia, que el último decreto autonómico de ayudas a la modernización de regadíos (DOGV, 2017), en el que se definen los tipos de inversiones subvencionables en el marco del programa de desarrollo rural de la Comunidad Valenciana, estipula que la inclusión de inversiones en fertirrigación comunitaria solo se considerará si esta no compromete la práctica de la producción ecológica de aquellos agricultores que la apliquen.

En este contexto, no han faltado casos en los que algunas entidades de riego se hayan replanteado el desarrollo de estos proyectos, o los hayan paralizado hasta poder evaluar bien sus consecuencias e implicaciones para todos los usuarios. Esto ha sucedido particularmente en algunos regadíos tradicionales, donde por razones diversas, existen proyectos paralizados y prácticamente olvidados, como el de la Real Acequia de Moncada (Valencia), o infraestructuras construidas y nunca utilizadas, como sucede en la Vega Baja del Segura. Otras entidades, como la Real Acequia de Carcaixent (Valencia), tienen en fase de revisión estos proyectos, ante la falta de transparencia que hubo en el desarrollo de sus etapas iniciales y las dudas sobre sus repercusiones.

## 2.2. Las grandes huertas históricas: ¿la modernización pendiente?

Si hay un espacio que hasta el momento ha permanecido relativamente ajeno a las políticas de promoción del riego localizado, es el que se circunscribe a las grandes huertas de origen islámico. Tanto la Vega del Segura, como la Vega de Granada o la Huerta de Valencia, conservan todavía buena parte de sus acequias a cielo abierto y mantienen en marcha inveteradas prácticas de riego por gravedad. Estos y otros regadíos tradicionales del arco mediterráneo reúnen una serie de valores culturales y naturales que han mantenido alejados los proyectos de implantación del riego localizado, ante la cautela de la administración, el escaso interés de los usuarios y la presión de colectivos de defensa del patrimonio y el medio natural. De hecho, estos espacios han sido recientemente objeto de intensos debates sobre su conservación, ante las presiones urbanísticas, y han merecido diversas figuras jurídicas de protección, que en ocasiones afectan a sus infraestructuras de riego por gravedad.

Estas zonas no están exentas de problemas. Así por ejemplo, en la Huerta de Valencia, debido a la expansión urbana, las áreas regables han quedado muy alejadas de los azudes de derivación fluvial y en consecuencia, los canales de riego han perdido su proporción respecto a las zonas regables. Mantienen secciones excesivamente amplias y recorridos kilométricos bajo las áreas urbanas, hecho que genera una eficiencia muy baja de las conducciones principales. Esto lastra la eficiencia global del sistema, como se viene argumentando desde hace varios años (Marco *et al.*, 1994). Además, la situación se agrava porque parte de los sobrantes de riego caen sobre la red de saneamiento urbana y son innecesariamente depurados en la EDAR de Pinedo, cuando no salen directamente al mar. En esta área periurbana hay, por tanto, margen para obtener importantes ahorros netos preservando el riego por gravedad, dado que puede actuarse presurizando los tramos urbanos de la red, o sustituyendo caudales fluviales por agua subterránea (de un acuífero detrítico excedentario) en algunos sectores pequeños, aislados y alejados del río. El principal obstáculo para desarrollar estas actuaciones es el montante de los costes de ejecución y mantenimiento, que muchos usuarios son remisos a aceptar, dado que hoy día disponen de agua a muy bajo coste.

En otras comarcas, como en la Vega Baja del Segura, la peculiar configuración del sistema de riego hace muy difícil la obtención de ahorros netos por la vía de la introducción del riego localizado. Las acequias de sus huertas dependen, una detrás de otra, de la reutilización de los sobrantes de la anterior,



por lo que la reducción de los sobrantes de riego haría necesaria su reposición aguas abajo para no desabastecer las unidades de riego de cola (Marco *et al.*, 1994). Existen además trabajos recientes, mediante el desarrollo de modelos hidrológicos y de salinidad, que demuestran que una presurización del sistema de riego que comportara un descenso de la dotación generaría un aumento creciente de la salinidad en la secuencia de reutilización (Visconti y De Paz, 2017).

En este contexto, es necesario efectuar una adaptación del paradigma de eficiencia y, como proponen Masseroni *et al.* (2017), avanzar en la consolidación de un nexo regadío-energía-ecosistemas-paisaje-patrimonio. Este nexo se fundamenta en que existen procedimientos técnicos para mejorar los sistemas tradicionales de riego por gravedad, que pueden reportar mayores beneficios eco-sociales y que son preferibles al recurso de presurizar las redes de distribución y aplicación, ya que proporcionan «eficiencias» en otros ámbitos más allá de los meramente hidráulicos.

En definitiva, en este conjunto de huertas históricas resulta poco conveniente ejecutar proyectos de modernización de regadíos guiados por los mismos criterios que en zonas regables desarrolladas más recientemente. La búsqueda de la eficiencia del riego, la productividad del agua y la rentabilidad de las explotaciones, deben compatibilizarse con la preservación de la multifuncionalidad de estos espacios y de sus valores naturales y culturales. En este sentido, se echa de menos una atención específica de la política agraria común (PAC) sobre estos espacios. Actualmente, se da la paradoja que estos regadíos, que son unos de los que probablemente mejor atesoran la multifuncionalidad y los valores agroambientales que pregona la PAC posproductivista, reciben ayudas directas muy inferiores a otros (frecuentemente nuevos) espacios regados. Este hecho lastra la preservación de estos paisajes culturales y facilita el desarrollo de proyectos y acciones con una orientación netamente productivista, poco coherente con el espíritu de la PAC.

### **3. Gestionar la oferta en un nuevo contexto**

Las exigentes demandas hídricas de la agricultura intensiva y el déficit de buena parte de los sistemas de explotación han motivado que la movilización de recursos hídricos siga siendo una opción fundamental en estas regiones, si bien las exigencias de la DMA y la complejidad del escenario sociopolítico limitan su desarrollo. En este contexto, la única opción que suscita un apoyo



unánime es la reutilización de aguas residuales depuradas. El uso de aguas residuales depuradas para el riego es una clara opción ganar-ganar. La administración europea aboga por un mayor uso de este recurso (Comisión Europea, 2012a y b) y ha destacado el papel que puede jugar en la lucha contra el cambio climático (IPCC, 2014). La administración central del Estado ha regulado y promovido su uso mediante el Real Decreto 1620/2007 (MARM, 2010a) y el Plan Nacional de Reutilización de Aguas (MARM 2010b). Usuarios, técnicos y expertos también defienden su movilización, pese a lo cual existe un uso muy desigual en el conjunto del Estado. Es precisamente en las agriculturas intensivas del Mediterráneo en las que se hace un uso más abundante de este recurso (MARM, 2010b; Melgarejo, 2009). En la Región de Murcia, el porcentaje de agua reutilizada de forma directa alcanzó un 46 % en 2015 y en la Comunidad Valenciana se estima un volumen del 34,7 % (Rico *et al.*, 2015), muy por encima del 11 % de la media estatal de reutilización total. Por el contrario, en Andalucía existe todavía un amplio margen de mejora, pues el volumen reutilizado no alcanza los 30 hm<sup>3</sup>/año (MARM 2010b; CAPMA, 2015).

Los principales obstáculos para el empleo de agua reutilizada, citados de forma recurrente, son la calidad del recurso y, especialmente, los precios de elevación hasta los puntos de toma de las comunidades de regantes (Rico Amorós, 1996; Rico Amorós *et al.*, 2015; MARM, 2010b). Allí donde las entidades de riego han podido disponer de agua depurada sin necesidad de utilizar o costear bombeos, este recurso ha sido incorporado sin dificultad por los usuarios, generalmente con la prevención de mezclarlo con otras aguas para mejorar su calidad, particularmente su salinidad. Además, en aquellas comarcas donde existe una agricultura muy competitiva y una importante escasez estructural, las entidades de riego no han tenido problema en asumir los costes de las elevaciones. En algunas zonas costeras, como sucedió en Torrevieja, los regantes se adelantaron incluso a las administraciones y acordaron cesiones informales para aprovechar el crecimiento de este recurso, cuyo uso solo fue regularizado con posterioridad mediante concesiones administrativas (Sanchis-Ibor *et al.*, 2013).

Sin embargo, en otros lugares, los costes de elevación han sido insalvables, ante la disponibilidad de recursos concesionales más baratos. Este es el caso de la cuenca del Belcaire (Castellón), en la que el organismo de cuenca y la administración autonómica promovieron una impulsión de 30 km distancia y 100 m de desnivel para reemplazar el uso de agua de un acuífero afectado por la

intrusión marina por el effluente de la EDAR de Castellón, con un coste final que no podía ser asumido por los regantes. El mismo problema se plantea en el Área Metropolitana de Valencia, donde ya se utilizan 41,8 hm<sup>3</sup> anuales para el riego del arrozal de l'Albufera, pero cerca de 80 hm<sup>3</sup> se envían anualmente al mar. Las entidades de riegos tradicionales de la zona no quieren incorporar un recurso de peor calidad y mayor coste que las aguas fluviales, y en estos momentos se está estudiando su elevación a otras zonas regables próximas, algunas de ellas con necesidades muy acusadas –como los regadíos de aguas subterráneas de la zona Turís-Montserrat.

Para solventar estas situaciones y aprovechar todo el potencial del agua regenerada es conveniente diseñar estrategias integrales, con la implicación del resto de usuarios del sistema (singularmente los urbanos). El caso del Consorcio de la Marina Baixa (CAMB) (Gil Olcina, 2010; Torregrosa, 2009) es un ejemplo excepcional de acuerdo entre usuarios urbanos y agrícolas, mediante el cual las áreas urbanas de fuerte demanda hídrica de tipo turístico asumen los costes de sustitución del recurso en las zonas de agricultura intensiva. De este modo, el usuario urbano obtiene un agua de calidad a un coste asumible para su disposición de pago, y el regante recibe de forma gratuita agua óptima para uso agrícola y disponible independientemente del estado hidrológico de la cuenca. La exportación y adaptación de este modelo a otros territorios, aunque deseable, no es una tarea sencilla, pues requiere tanto el desarrollo de infraestructuras de conexión, como la consecución de acuerdos entre usuarios, administraciones y empresas, que son difíciles de alcanzar.

Las restricciones que el coste del agua impone a una mayor integración de la gestión de los recursos hídricos se hacen particularmente evidentes en la infrautilización de las aguas desaladas en los regadíos mediterráneos. Según los planes hidrológicos, la capacidad de generación de agua desalada en el litoral mediterráneo es de 583 hm<sup>3</sup>/año, contabilizando las desaladoras existentes o en ejecución, mientras que el uso se estima en 209 hm<sup>3</sup>/año, un 36 % del total y muy por debajo de las previsiones (CHJ, 2015; CHS, 2015; CAPMA, 2015). La mayoría de las desaladoras del plan AGUA se construyeron sin acuerdo con los usuarios sobre el precio del agua y sin estudios técnicos que cuantificaran adecuadamente los costes (Morote *et al.*, 2017). Aproximaciones hechas a posteriori arrojan costes de producción entre 0,45 y 0,69 euros/m<sup>3</sup> (Lechuga, 2007; Martínez, 2009), sin incluir los costes de transporte, lo que en muchos regadíos hace inviable económicamente el empleo de agua desalada.

La disparidad entre el potencial de generación y su uso en unas cuencas deficitarias ha motivado un giro en las políticas de la administración central del Estado, que ha puesto freno a las cesiones de agua y ha apostado por medidas excepcionales para poner en marcha las desalinizadoras del Programa AGUA. En este sentido, en la Marina Baixa, en 2015 se descartaron las cesiones de recursos desde el Júcar, ejecutadas en 1999, 2000 y 2001 con un coste de 0,024 euros/m<sup>3</sup> (García-Mollá *et al.*, 2016), y se empleó la desalinizadora de Mutxamel para suministrar 5 hm<sup>3</sup> al CAMB a un precio cercano a 0,70 euros/m<sup>3</sup> (Morote *et al.*, 2017).

Asimismo, en el marco del último decreto de sequía (Real Decreto 356/2015, de 8 de mayo), el gobierno aprobó un *precio social* para subvencionar el uso agrícola de estos recursos, poniendo a disposición de los regantes 50 hm<sup>3</sup> de agua desalinizada de las plantas de Mazarrón (20 hm<sup>3</sup>) y Torrevieja (30 hm<sup>3</sup>) a un precio de 0,30 euros/m<sup>3</sup> (Morote *et al.*, 2017). Obviamente, el mantenimiento de esta subvención más allá de las condiciones excepcionales de un decreto de sequía queda imposibilitado por el principio de recuperación de costes emanado de la DMA, de obligado cumplimiento para la administración española.

Sea por la vía de la subvención temporal en periodos de sequía, por la vía del bloqueo de otras opciones, por la necesidad imperiosa de justificar ante la Unión Europea las inversiones efectuadas, o por el potencial de la incorporación de energías renovables (fundamentalmente fotovoltaicas), el agua desalada parece una opción inevitable para los usuarios agrícolas del Mediterráneo. Una prueba de las buenas perspectivas que puede ofrecer este recurso es el reciente proyecto de construcción, mediante una completa financiación privada, de una planta desaladora en Escombreras abastecida por energía fotovoltaica<sup>2</sup>, hecho que constituiría un hito novedoso en la gestión del agua en estas regiones.

Sin ánimo de caer en comparaciones que afortunadamente parecen ya superadas, el potencial de la desalación parece tener mayor recorrido de futuro que las transferencias de recursos. La compleja gestión sociopolítica de los trasvases ha postergado esta opción en los últimos años. Sin embargo, asociaciones de agricultores, organizaciones de usuarios, algunos expertos y otros actores políticos de las provincias de Alicante, Murcia y Almería, mantienen la presión sobre las administraciones públicas para maximizar el potencial de las infraestructuras existentes y demandar nuevos trasvases. El crispado debate

<sup>2</sup> *La Verdad*, 27 septiembre 2017.

sobre la vigencia del Trasvase Tajo-Segura o la reivindicación de las aguas del Ebro son un elemento recurrente en la prensa regional, donde el pasado mes de junio, se solicitó incluso la construcción de una conducción para efectuar la transferencia de recursos del Júcar hacia la cuenca del Segura<sup>3</sup>.

Esta tensión se percibe también en la gestión del Trasvase Júcar-Vinalopó, cuya explotación plantea todavía numerosos problemas. Dejando de lado la problemática de los abastecimientos urbanos de los valles del Vinalopó, el aprovechamiento agrícola de esta transferencia presenta hoy dos limitaciones importantes. La primera, la inconclusión y los defectos constructivos de las infraestructuras. Hoy día queda pendiente la ejecución de las infraestructuras postrasvase de la margen izquierda, y la reparación de la Balsa de San Diego, destinada a almacenar en cabecera el agua transferida, pero inutilizada por las numerosas filtraciones. En segundo lugar, el precio real del recurso es más elevado para muchos usuarios agrícolas que las extracciones del acuífero, por lo que la administración ha debido recurrir a acuerdos para establecer vías de apoyo financiero. Así, en 2017 se ha aprobado una transferencia de 15 hm<sup>3</sup> a un precio de 0,18 euros/m<sup>3</sup>. Pese a la rebaja, este coste todavía resulta excesivamente alto para los usuarios del Alto Vinalopó, por lo que finalmente solo se han transferido 8,7 hm<sup>3</sup>.

Este caso contrasta con el éxito de la Conexión Negratín-Almanzora. La construcción de esta conducción fue aprobada en 1998, bajo la premisa de que cualquier transferencia estaría sujeta a la existencia de más de un 30 % de reservas en el sistema de explotación y un embalse mínimo de 210 hm<sup>3</sup> en el Negratín (Gil Meseguer, 2015). La diferencia de cota entre el punto de toma y el área receptora permitió la construcción de dos centrales hidroeléctricas, que recuperan el 80 % de la energía consumida en las elevaciones y reducen los costes del recurso. Gracias a ello, la empresa gestora *Aguas del Almanzora*, distribuye a las comunidades de regantes agua a 0,28 euros/m<sup>3</sup>, de los cuales 0,10 euros/m<sup>3</sup> son costes de amortización y el resto de operación y mantenimiento. Estos recursos son combinados por algunas entidades de riego con los procedentes del Trasvase Tajo-Segura (0,10-0,12 euros/m<sup>3</sup>), con aguas subterráneas (entre 0,80 y 0,30 euros/m<sup>3</sup>) y en algunos casos, con recursos de la desalobrador de Cuevas de Almanzora (0,45 euros/m<sup>3</sup>) o la desaladora de Águilas (0,42 euros/m<sup>3</sup>) (Gil Meseguer y Gómez Espín, 2017).

La infraestructura ha servido también para vehicular cesiones de aguas dentro de la propia cuenca del río Almanzora, y entre esta y la del Guadal-

<sup>3</sup> Información, 11 y 27 de julio de 2017; *La Verdad*, 17 de julio de 2017.

quivir. Los usuarios del río almeriense adquirieron varias fincas arroceras en las marismas del Guadalquivir y en los años 2006, 2007 y 2008 bombearon 23 hm<sup>3</sup> de aguas del Negratín con cargo a los derechos de aguas de estas explotaciones. Además, en 2007, 2008, 2015 y 2016 la Conexión Negratín-Almanzora transportó 52 hm<sup>3</sup> obtenidos mediante contratos de cesión con otras entidades del Guadalquivir (Bembézar, Genil-Cabra y Guadalmellato) hacia el Levante almeriense (Vallverdú, 2013), y desde hace una década se viene transfiriendo aguas subterráneas de entidades de riego del Alto Almanzora mediante contratos de cesión, con un volumen total de 11,8 hm<sup>3</sup> entre 2006 y 2016 (Gil Meseguer y Gómez Espín, 2017). Estas últimas transferencias han causado las protestas de las organizaciones ecologistas, por su afección sobre los manantiales y los cauces de cabecera de la cuenca<sup>4</sup>.

#### 4. Conclusiones

La gestión de recursos para el riego en la agricultura intensiva del Mediterráneo parece reflejar lentamente un cambio de orientación. Las políticas de modernización de regadíos, caracterizadas por las generosas subvenciones y un parco seguimiento, son objeto de revisión en la actualidad. Poco a poco va cristalizando la idea de impulsar una modernización de segunda generación, que requiere auditar las instalaciones existentes e incorporar tecnologías de ahorro que reparen las disfunciones, hidráulicas y energéticas, a fin de maximizar el potencial de buena parte de los sistemas instalados. Cabe en paralelo, abordar la modernización de los regadíos tradicionales, donde existe un significativo margen de ahorro, pero donde, por sus valores naturales y culturales, la modernización no debe ser sinónimo de goteo, y debe desarrollarse mediante otro tipo de mejoras en los sistemas de distribución.

También se observa un creciente interés, y un cierto cambio de perspectiva, en la incorporación de recursos no convencionales y en el manejo de las transferencias de recursos. En los últimos años, al consenso sobre la reutilización de aguas residuales depuradas parece añadirse un cierto acuerdo sobre la necesidad de movilizar el potencial del agua desalada. En ambos casos, el coste del recurso es la principal limitación para su integración en los sistemas de gestión. Así pues, ¿truco o trato? Como planteaba recientemente un titular informativo (iAGUA, 2015). ¿Debe continuarse subvencionando puntualmente la incorporación de estos recursos o debe trabajarse para obtener

<sup>4</sup> *La Voz de Almería*, 25 de febrero de 2015 y 16 de mayo de 2015.

acuerdos que permitan añadir estos recursos a sistemas integrados de gestión? Parece más deseable el trato, puesto que, pese a las dificultades que presenta lograr los acuerdos entre usuarios y redistribuir los costes del recurso entre aprovechamientos con distintas capacidades de pago, esta vía no contraviene la legislación europea y resulta más sostenible en el tiempo.

## Referencias bibliográficas

- ALCÓN, F.; ARCAS, N.; DE MIGUEL, M. D. y FERNÁNDEZ-ZAMUNDIO, M. A. (2009): «Adopción de tecnologías ahorradoras de agua en agricultura»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A. *et al.*, eds.: *La economía de agua de riego en España. Una perspectiva regional*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- BERBEL, J.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2017): «Modernización de regadíos y ahorro de agua»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2017): *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- 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; en <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>.
- BORREGO-MARÍN, M. M. y BERBEL, J. (2017): «Impacto de la modernización de regadíos sobre el uso del agua y otras variables socioeconómicas en comunidades de regantes de Andalucía Occidental»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- CAMPO, A. DEL (2017): «La modernización del regadío español desde el punto de vista social»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- CAPMA (2015): *Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021*. Sevilla, Junta de Andalucía.
- COMISIÓN EUROPEA (2012a): «Report on the Review of the European Water Scarcity and Droughts Policy»; COM (2012)672 final. Bruselas.

- COMISIÓN EUROPEA (2012b): «A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources»; COM (2012)673 final. Bruselas.
- CEDEX-DGA (2011): *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. Madrid, Centro de Estudios Experimentales, Dirección General del Agua.
- CHJ (2015): *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021*. Valencia, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHS (2015): *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021*. Murcia, Confederación Hidrográfica del Segura.
- CHIRIVELLA-OSMA, V.; CAPILLA-ROMÁ, J. E. y PÉREZ-MARTÍN, M. A. (2015): «Modelling regional impacts of climate change on water resources: the Júcar basin (Spain)». *Hydrological Sciences Journal* 60(1); pp. 30-49; doi: 10.1080/02626667.2013.866711.
- COROMINAS, J. y CUEVAS-NAVAS, R. (2017): «Análisis crítico de la modernización de regadíos. Pensando el futuro: ¿cómo será el nuevo paradigma?»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- DOGV (2015): «Anexo normativo del Decreto 13/1995, de 10 de enero, del Gobierno valenciano, Plan Director de Modernización del Regadío de la Comunidad Valenciana»; publicado al *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* 2436, de 26 de enero de 1995 y al *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* 2445, de 8 de febrero de 1995.
- DOGV (2017): «Orden 11/2017, de 21 de marzo, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, por la que se regula el proceso de selección de inversiones propuestas por las comunidades de regantes de la Comunitat Valenciana interesadas en la financiación de operaciones de modernización de regadíos en el marco del Programa de Desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana 2014-2020»; *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 7 de abril de 2017.
- ESTRELA, T. (2017): «La modernización de regadíos en la planificación hidrológica: el caso de la Demarcación Hidrográfica del Júcar»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.



- GARCÍA GALIANO, S. G.; OLMOS GIMÉNEZ, P.; MARTÍNEZ PÉREZ, J. A. y GIRALDO OSORIO, J. D. (2015): «Improving evaluation of climate change impacts on the water cycle by remote sensing ET-retrieval». *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources* (IAHS Publ. 368). doi:10.5194/piahs-368-239-2015.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; MACIÁN-SORRIBES, H.; AVELLÀ REUS, L. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2016): «Los mercados de agua en la demarcación hidrográfica del Júcar»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y CALATRAVA, J., eds.: *Los mercados de agua en España. Presente y perspectivas*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C. y AVELLÀ, L. (2017): «La modernización de regadíos en las entidades de riego valencianas. Efectos en el uso y costes del agua»; en BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., eds.: *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- GARRIDO, A.; GIL, M. y GÓMEZ-RAMOS, A. (2008): «Análisis de la productividad de la tierra y del agua en el regadío español». *VI Congreso Ibérico Nueva Cultura del Agua*. Vitoria-Gasteiz.
- GIL, M.; GARRIDO, A. y GÓMEZ-RAMOS, A. (2009): «Análisis de la productividad de la tierra y del agua en el regadío español»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A. et al., eds.: *La economía de agua de riego en España. Una perspectiva regional*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- GIL MESEGUER, E. (2015): «La lucha por el agua en el sector occidental de la región del Sureste de España: El Tránsito Negratín-Almanzora, Norba»; *Revista de Geografía* 12; pp. 49-72.
- GIL MESEGUER, E. y GÓMEZ ESPÍN, J.M. (2017): «El Tránsito de aguas del embalse del Negratín (Granada) al embalse de Cuevas de Almanzora (Almería). La Conexión Negratín-Almanzora (CN-A)»; *Usos del agua en el territorio* (7). Murcia, Universidad de Murcia.
- GIL OLCINA, A. (2010): «Optimización de recursos hídricos y armonización de sus usos: El consorcio de aguas de la Marina baja»; *Investigaciones Geográficas* 51; pp. 165-183.
- GÓMEZ ESPÍN, J.M.; GIL MESEGUER, E. y GARCÍA MARÍN, R. (2007): *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 Región de Murcia.



- IAGUA (2015): *¿Trato o truco? Sombras en la gestión del tratamiento del agua en España*; en <http://www.iagua.es/noticias/espana/rafael-barrera-morcillo/14/12/03/trato-o-truco-sombras-gestion-tratamiento-agua> (acceso: septiembre de 2017).
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra, IPCC.
- LECHUGA, J.; RODRÍGUEZ, M. y LLOVERAS, J. (2007): «Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica»; *Ingeniería. Revista Académica de la FIUADY* 11(3); pp. 5-14. México, Universidad Autónoma de Yucatán.
- LÓPEZ-GUNN, E.; MAYOR, B. y DUMONT, A. (2012): «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.
- MARCO, J. B.; MATEU, J. y ROMERO, J. (1994): *Regadíos Históricos Valencianos: propuestas de rehabilitación*. València, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura i Pesca.
- MARCOS-GARCÍA, P. y PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2017): «Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?»; *Ingeniería del agua [S.I.]* 21(1); pp. 35-52. ISSN 1886-4996.
- MARM (2010a): *Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- MARM (2010b): *Plan Nacional de Reutilización de Aguas: versión preliminar del Plan*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- MARTÍNEZ VICENTE, D. (2009): «Coste del agua del mar desalada por ósmosis inversa»; en Ibáñez, J. A., coord.: *Desalación de aguas. Aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos*. Murcia, Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua; pp. 521-550.
- MASSERONI, D.; RICART, S.; RAMIREZ DE CARTAGENA, F.; MONSERRAT, J.; GONÇALVES, J. M.; DE LIMA, I.; FACCHI, A.; SALI, G. y GANDOLFI, C. (2017): «Prospects for Improving Gravity-Fed Surface Irrigation Systems in Mediterranean European Contexts»; *Water* 9(20); doi:10.3390/w9010020.

- MATEU BELLÉS, J. F. (2011): «Confederación Hidrográfica del Júcar: los primeros tiempos en la Ribera», en *Id.: Memoria del 75 aniversario. Confederación Hidrográfica del Júcar*. Valencia, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- MELGAREJO, J. (2009): «Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España»; *CLM Economía* (15); pp. 245-270.
- MONTALVO, T. (1989): «Situación de los riegos localizados. Vías de actuación»; en CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A., eds.: *El Agua en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana.
- MOROTE, A. F.; RICO AMORÓS, A. M. y MOLTÓ, E. (2017): «La producción de agua desalinizada en las regiones de Murcia y Valencia. Balance de un recurso alternativo con luces y sombras»; *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 63(2); pp. 473-502.
- PERRY, C. y STEDUTO, P. (2017): «Does Improved Irrigation Technology Save Water? A review of the evidence»; *Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa*. Roma, Food and Agriculture Organization; en <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35540.81280>.
- DOGV (1995): «Plan Director de Modernización del Regadío de la Comunidad Valenciana»; *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* (2436), de 26 de enero de 1995.
- RICO AMORÓS, A. (1996): «Depuración y reutilización de aguas residuales en el litoral alicantino»; *Papeles de Geografía* (23-24); pp. 245-261.
- RICO AMORÓS, A.; ARAHUETES HIDALGO, A. y MOROTE SEGUIDO, A. F. (2015): *Depuración y Reutilización de Aguas Residuales Regeneradas en las Regiones de Murcia y Valencia. Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía*. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil. Alicante. Instituto Interuniversitario de Geografía.
- RUIZ-RODRÍGUEZ, M.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; MANZANO, J.; SANCHIS-IBOR, C.; LOPEZ-NICOLAS, A. y GARCÍA-MOLLÁ, M. (2017): *Comparativa agroeconómica de parcelas de cítricos modernizadas y no modernizadas en la Acequia Real del Júcar (Valencia)*. Comunicación presentada en el XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Elche-Orihuela, Universidad Miguel Hernández.

- SANCHIS-IBOR, C., GARCÍA-MOLLÁ, M. y CARLES, J. (2013): *Mercados informales y cesiones de aguas en la Comunidad Valenciana*. Comunicación presentada en el Seminario Nacional sobre Mercados Informales de Agua. Madrid, Observatorio del Agua de la Fundación Botín.
- SANCHIS-IBOR, C.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y AVELLÀ, L. (2016): «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; en <https://doi.org/10.21138/bage.2330>.
- SANCHIS-IBOR, C.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y AVELLÀ, L. (2017): «Effects of drip irrigation promotion policies on water use and irrigation costs in Valencia, Spain». *Water Policy* 19; pp. 165-180. DOI: 10.2166/wp.2016.025.
- SESE-MINGUEZ, S.; BOESVELD, H.; ASINS-VELIS, S.; VAN DER KOOIJ, S. y MAROULIS, J. (2017): «Transformations accompanying a shift from surface to drip irrigation in the Canyoles Watershed, Valencia, Spain»; *Water Alternatives* 10(1); pp. 81-99.
- SENET-APARICIO, J.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; CARRILLO-GARCÍA, J. y SOTO, J. (2017): «Using SWAT and Fuzzy TOPSIS to assess the impact of climate change in the headwaters of the Segura river basin (SE Spain)»; *Water* 9(2); pp. 1-14.
- TORREGROSA, T. (2009): *La gestión del agua en la Marina Baja (Alicante)*. Valencia, Corts Valencianes.
- VALLVERDÚ, A. (2013): *Intercambios de aguas en la cuenca del Almanzora, Almería*. Comunicación presentada en el XI Seminario Nacional Los mercados informales de agua en España: una primera aproximación; Madrid, Fundación Botín.
- VISCONTI, F.; PAZ, J. M. DE (2017): *Escenarios de salinidad del suelo por cambio del Sistema de riego en la zona de regadío tradicional de la Vega Baja del Segura (Alicante)*. Comunicación presentada en el XXXV Congreso Nacional de Riegos; Tarragona, AERYD. <http://dx.doi.org/10.25028/CNRiegos.2017.A22>.
- WARD, F. A. y PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2008): «Water conservation in irrigation can increase water use»; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(47); pp. 18215-18220.
- WWF ESPAÑA (2015): *Modernización de Regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*. Madrid, WWF España.



# Innovación y cambio tecnológico en los sistemas agrarios intensivos mediterráneos

*Pedro Gavilán, Natividad Ruiz y David Lozano*

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.  
Centro IFAPA 'Alameda del Obispo'. Córdoba

## 1. Introducción

El riego es imprescindible para asegurar la producción y calidad de las cosechas en las zonas de clima mediterráneo (Cahn y Johnson, 2017). La presión social sobre el uso del agua en la agricultura de regadío no ha parado de subir en los últimos años, especialmente en las zonas dedicadas a la horticultura intensiva. El aumento de esta presión se debe, en gran medida, a la percepción general, por parte de la población, de que el uso del agua en la agricultura es poco eficiente (Hsiao *et al.*, 2007). A esta idea han contribuido la mala imagen de los riegos por superficie, las pérdidas en los sistemas de distribución, principalmente canales y acequias, así como la idea de que un bajo precio del agua conlleva un desinterés por el incremento de la eficiencia en su uso. Está demostrado que la introducción de innovaciones tecnológicas supone ventajas económicas y mejoras en la eficiencia del uso de los recursos hídricos, energéticos y productivos (Levidow *et al.*, 2014). La implantación de nuevas infraestructuras de riego en las redes de distribución y en el riego en parcela ha tenido una notable repercusión en la mejora potencial del uso del agua de riego. Sin embargo, las tecnologías y metodologías asociadas a la gestión del riego no han tenido el nivel de aceptación que cabría esperar en función de los beneficios que aportan. De hecho, la falta de una gestión racional del riego apoyada en la monitorización del sistema suelo-planta-atmósfera, así como en metodologías de balance de agua en el suelo, puede provocar que sistemas de riego con una alta capacidad potencial de ahorro del agua se gestionen de manera ineficiente (Hanson *et al.*, 1995).

La rentabilidad económica de la horticultura intensiva en regiones mediterráneas va unida al uso de sistemas intensivos de producción, fundamentalmente invernaderos, riego localizado y fertirrigación. Estos sistemas tienen unos altos costes de inversión en infraestructuras (invernaderos y sistemas de riego localizado), insumos (fertilizantes y energía) y mano de obra. Por

tanto, son sistemas productivos donde el alto valor añadido de la producción se consigue a partir de una alta inversión. Por este motivo, los agricultores tienen tendencia a sobrerregar los cultivos hortícolas intensivos, incluso cuando usan sistemas de riego localizado potencialmente muy eficientes (Lozano *et al.*, 2016). El objetivo del agricultor en los sistemas agrarios intensivos suele ser maximizar el margen neto y no la productividad del agua (Levidow *et al.*, 2014). Para ello, el agricultor, en términos generales, utiliza su experiencia previa, la observación de las condiciones meteorológicas presentes e indicadores visuales de suelo y planta. La monitorización de medidas del contenido de agua en el suelo o el uso de calendarios de riego basados en un balance de agua en el suelo resultan poco frecuentes, a pesar que la metodología FAO basada en el uso de la evapotranspiración de referencia y los coeficientes de cultivo tiene ya más de 40 años (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998).

Las causas de la baja implantación en campo de las nuevas tecnologías de gestión del riego son variadas. Entre las más destacadas encontramos: 1) la baja formación de los agricultores en estas metodologías; 2) el alto coste de los sensores que monitorizan suelos y cultivos y la compleja interpretación de la información suministrada por ellos, que requiere habitualmente la interpretación de un especialista; 3) la falta de garantía de los servicios de recomendación de riego suministrados por empresas privadas o servicios de extensión; 4) el bajo coste relativo del agua respecto a otros factores de producción. Sin embargo, a pesar de todas estas dificultades, está demostrado que el uso de las tecnologías de gestión del riego provoca un incremento de la eficiencia del uso del agua. Por ejemplo, el método de balance de agua en el suelo para la programación de los riegos puede suponer ahorros de agua del 44 % respecto a un riego tradicional, y su combinación con la medida del contenido de agua en el suelo puede ahorrar hasta un 53 % (De Pascale *et al.*, 2011).

## 2. Avances metodológicos para la mejora del riego

Los avances metodológicos y conceptuales más significativos en relación con la mejora de la gestión del riego que se han producido desde principios del siglo pasado hasta épocas recientes vienen resumidos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Avances metodológicos y conceptuales relacionados con el manejo del riego**

Periodo	Avances metodológicos	Avances conceptuales
Hasta 1950	Lisimetría	Eficiencia en el uso del agua
1950-1975	Bomba de presión, porometría, potencial hídrico en hoja, radiometría, tensiómetros y bloques de yeso, modelos de balance de agua	Ecuación de combinación, relaciones suelo-agua-planta
1975-2000	Sistemas de adquisición de datos, modelos de cultivos, sensores remotos, termometría infrarroja, dendrometría, sensores TDR y FDR, ordenadores personales, tecnologías SIG e Internet	<i>Crop water stress index</i> (CWSI)
Siglo XXI	Pronóstico meteorológico	

Fuente: adaptada de Stenier y Hatfield (2008) y Fereres y Goldhamer (2000).

Fereres y Goldhamer (2000) hacen una amplia revisión de los avances ocurridos en las técnicas de programación de riegos. A finales de los años 50 del siglo pasado empezaron a usarse los primeros tensiómetros y bloques de yeso. Durante los años setenta se propuso el uso de la relación entre el estado hídrico de las plantas y las contracciones del tallo y se presentaron los primeros trabajos que proponían el uso de la temperatura de la cubierta como indicador del estado hídrico de los cultivos. Su combinación con el déficit de presión de vapor permitiría el cálculo de un índice de estrés hídrico como era el *crop water stress index* (CWSI). Durante los años 80 comenzaron a usarse los sensores TDR, que fueron desplazados por otros basados en la medida de la capacitancia del suelo. Finalmente, en los años ochenta se publicaron los primeros umbrales de potencial hídrico en la hoja medidos con cámara de presión. Sin embargo, estos autores concluyen que, después de décadas y esfuerzos destinados a la investigación y difusión, la adopción de estas tecnologías ha sido muy limitada en la mayoría de los regadíos. Agricultores y técnicos se han cuestionado hasta épocas muy recientes la necesidad de disponer de estos medios técnicos.

De Pascale *et al.* (2011) establecieron las relaciones entre el aumento relativo de la eficiencia y la reducción del volumen de riego usando diferentes estrategias de riego en comparación con un riego tradicional (Tabla 2). El aumento relativo de la eficiencia usando la metodología basada en el balance de agua en el suelo puede llegar hasta el 70 %, lo que resulta muy significativo.

**Tabla 2. Aumento relativo de la eficiencia del riego y reducción del volumen aplicado para diferentes estrategias de programación de riegos**

Estrategia	Aumento relativo de la eficiencia	Disminución del volumen aplicado (%)
Riego tradicional	100	0
Datos meteorológicos históricos	130	23
Medida de la humedad del suelo	140-150	29-33
Datos meteorológicos reales	160	38
Balance de agua en el suelo	170	41
Cámara de presión	175	43
Balance de agua y medida de la humedad del suelo	215	53

Fuente: adaptada de De Pascale *et al.* (2011).

En España, uno de los mayores avances relacionados con la mejora en la gestión del riego, ha sido la implantación por parte del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR)<sup>1</sup>. La red SIAR, con más de 450 estaciones meteorológicas automáticas, proporciona diariamente datos de evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) y precipitación, factores claves para la correcta programación de los riegos.

### 3. La eficiencia del riego en sistemas agrarios intensivos: dos casos reales en la agricultura mediterránea

Los dos grandes ejemplos de agricultura intensiva en España los tenemos en las costas de Almería y Huelva. Ambos sistemas presentan características diferentes debido a su desarrollo temporal.

#### 3.1. El caso de Almería

En un estudio realizado por Caja Rural de Almería (1997), se analizaron las producciones y el consumo de agua de los cultivos más relevantes en 35 explotaciones del poniente almeriense durante tres campañas (entre 1993/94 y 1995/96). El estudio mostraba que para cultivos como el melón se obtenían las máximas producciones con valores de riego aplicado que variaban entre 1.500 y 2.500 m<sup>3</sup>/ha. Para pepino y pimiento, riegos entre

<sup>1</sup> <http://portal.mapama.gob.es/websiar/Inicio.aspx>.



2.000 y 5.000 m<sup>3</sup>/ha proporcionaban producciones similares. El estudio no presentaba valores de eficiencia del riego (definida esta como el cociente entre el volumen de agua requerido y el aplicado con el riego). La situación mejoró notablemente en pocos años. Así, diez años más tarde Fernández *et al.* (2012) presentan para 200 explotaciones de tres comunidades de regantes analizadas valores medios del suministro relativo de riego (cociente entre la cantidad de agua suministrada al cultivo y los requerimientos de riego) cercanos a uno para cultivos de pimiento, pepino, judía, melón y sandía. Los aportes de riego variaban entre 1.600 y 3.600 m<sup>3</sup>/ha, mientras que la eficiencia en el uso del agua de riego y la productividad económica del agua de riego alcanzaba valores máximos de 35,6 kg/m<sup>3</sup> y 15,9 euros/m<sup>3</sup>, respectivamente. El papel realizado por diferentes instituciones públicas y privadas y, sobre todo, por la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ ha sido decisivo para la mejora de la eficiencia del riego en el litoral de Almería.

### *3.2. El caso de la fresa en la provincia de Huelva*

El cultivo de la fresa y de otros frutos rojos ha transformado la agricultura de la provincia de Huelva, convirtiéndola en una próspera zona de Andalucía. La implantación de los frutos rojos en la provincia de Huelva es de desarrollo posterior al de la agricultura bajo plástico en la costa de Almería. La fresa ha liderado el proceso, aunque en los últimos años cultivos como la frambuesa y el arándano han incrementado extraordinariamente su superficie. Actualmente la superficie cultivada se sitúa en 6.355 ha de fresa, 2.363 ha de frambuesa y 2.349 ha de arándano, el cultivo que más ha crecido en los últimos años (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, 2017). Desde los años 90 ha existido un debate sobre la armonización del sector turístico y la producción agrícola con la preservación del entorno (Ojeda y Del Moral, 2004). Esto se debe a que el 75 % de la producción de fresa se sitúa en el entorno del Parque Nacional de Doñana, un espacio natural de altísimo valor ecológico catalogado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. La principal fuente de abastecimiento de agua para la agricultura, el turismo y el Parque Nacional de Doñana es el acuífero Almonte-Marismas. En los últimos 30 años los niveles piezométricos de este acuífero han descendido y una parte del mismo ha sido declarado por el organismo de cuenca en mal estado (CHG, 2016). Ante esta situación, la sostenibilidad de este complejo sistema ecológico, productivo y social debería estar basada en el uso racional de los recursos hídricos.

El primer trabajo sobre indicadores de producción y eficiencia del riego del cultivo de la fresa fue realizado por Bohórquez *et al.* (2008b). La información utilizada se obtuvo a partir de 75 encuestas realizadas a técnicos y agricultores de empresas y cooperativas de la comarca del Condado Occidental de Huelva. Los resultados de este trabajo indicaron que el volumen de riego aplicado mediante fertirriego variaba entre 4.300 y 10.800 m<sup>3</sup>/ha, por lo que los valores de suministro relativo de riego oscilaban entre 1,02 y 2,57, con un valor medio de 1,31. Rodríguez y Stefano (2012) obtuvieron valores de riego aplicado entre 5.200 y 7.500 m<sup>3</sup>/ha, según encuestas a agricultores. Posteriormente, García-Morillo *et al.* (2015), utilizando datos de dos campañas de riego, encontraron valores medios del suministro relativo de riego de 1,2-1,3, con valores máximos cercanos a 3. Los valores medios de riego se situaron en 7.200 m<sup>3</sup>/ha. A la luz de estos datos, parecían obtenerse producciones máximas con un amplio rango de volúmenes de riego aplicado, como en el caso citado de los invernaderos del poniente almeriense en los años noventa. Además, la mayoría de agricultores decían regar incluso por encima de la dotación de 4.500 m<sup>3</sup>/ha establecida en los planes hidrológicos de las cuencas del Guadalquivir y Tinto-Odiel-Piedras, reivindicando cantidades en el entorno de los 7.000 m<sup>3</sup>/ha. Ante este escenario de escasez de recursos hídricos y de incertidumbre sobre las necesidades reales de riego de los frutos rojos, el IFAPA puso en marcha un proyecto de experimentación, formación y transferencia a medio plazo.

## **4. Proyecto de mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Nacional de Doñana promovido por el IFAPA**

### **4.1. Metodología del proceso de mejora**

El IFAPA planteó un proyecto de mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Nacional de Doñana en el que la agricultura debía ser parte de la solución al problema de la escasez de recursos hídricos y no el problema en sí mismo. Su objetivo fue facilitar la transición desde el riego tradicional basado en la experiencia, hacia una agricultura intensiva sostenible basada en criterios racionales de uso del agua. Para ello, se implicó a todos los agentes que intervienen en el sistema productivo (Administración, empresas y agricultores). El primer paso fue captar el interés de los agricultores. Un principio básico de la metodología del proyecto fue la experimentación en los

propios campos de los agricultores. Los agricultores tienen más confianza en los resultados de experimentación obtenidos en sus propias fincas. Esto facilitaría la posterior transferencia a escala comercial.

Entre los años 2012 y 2017 se realizaron ensayos de campo y aplicación de riegos de demostración en 57 parcelas situadas en fincas comerciales. Entre los años 2012 y 2015 se ejecutaron 12 ensayos en fincas comerciales de Almonte y en la finca del IFAPA «El Cebollar» (Moguer). A partir la campaña 2015/16 se desarrollaron experiencias de aplicación del riego eficiente a escala comercial, en fincas de Almonte, Rociana del Condado y Lepe. Además, en esas mismas comarcas se hicieron más de 100 evaluaciones de sistemas de riego en cultivos de fresa, frambuesa y arándano.

#### 4.2. *Materiales y métodos*

La programación de los riegos se realizó mediante el método de balance de agua en el suelo (Allen *et al.*, 1998), utilizando los valores de  $ET_0$  en invernadero propuestos por Fernández *et al.* (2010). Durante las dos primeras campañas se utilizaron los coeficientes de cultivo propuestos por Hanson y Bendixen (2004), modificados en función de la cobertura del cultivo. Posteriormente, fueron utilizados los propuestos por Lozano *et al.* (2016). La predicción semanal de la  $ET_0$  se realizó usando el pronóstico meteorológico de la Agencia Española de Meteorología (AEMET). Durante las dos primeras campañas las estimaciones se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por Gavilán *et al.* (2015). En las dos últimas se introdujo una variante en el pronóstico de la radiación solar de acuerdo con lo propuesto por Cai *et al.* (2007) que recomienda el uso de factores decrecientes para la estimación de la radiación solar en función de la nubosidad prevista. En los ensayos se instalaron dos estaciones meteorológicas automáticas dentro de invernadero, integradas dentro de la Red SIAR, capaces de medir la temperatura y humedad relativa del aire (sonda HMP 45C, Vaisala) y radiación solar (piranómetro CM3, Kipp and Zonen), controladas por un datalogger CR10X (Campbell Scientific). Esto permitió estimar la  $ET_0$  a partir de los datos medidos y compararla con la estimada a partir del pronóstico. La monitorización del estado hídrico del suelo se realizó con sondas de humedad FDR y la del desarrollo del cultivo mediante mediciones de porcentaje de cobertura utilizando técnicas de fotografía digital (Tabla 3). Se midieron las producciones de cada tratamiento utilizando el peso obtenido tras la recolección (a pie de parcela). Los

sistemas de riego estaban compuestos por laterales de riego por goteo con un espaciamiento entre emisores de 0,20 m, capaces de aplicar 5, 3,8 y 2,5 l/h·m a una presión de trabajo entre 0,55 y 1 bar. Para medir la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se instalaron lisímetros de drenaje, realizados en poliéster reforzado con fibra de vidrio de 1,40 x 0,60 x 0,60 m en cada tratamiento. En los lomos donde se situaban los lisímetros, se instalaron contadores para medir la cantidad de agua aplicada a los mismos y, a partir de ese dato, calcular la cantidad que se suministraba al lisímetro. Se realizaron ensayos con tres o cuatro tratamientos, con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un túnel completo. El tratamiento testigo (T4) se regó de manera tradicional según el criterio del agricultor, basado solo en su experiencia previa. Los datos de cosecha fueron analizados estadísticamente usando técnicas de análisis de la varianza. El test LSD fue usado para identificar tratamientos que fueran estadísticamente diferentes en producción. En todas las parcelas, tanto comerciales como de experimentación, se midió el volumen aplicado mediante caudalímetros.

Para evaluar la uniformidad de distribución se utilizó la UD del cuarto menor (Merriam y Keller, 1978) y se calcularon sus componentes debidas a las diferencias de presión y otros factores (Burt, 2004).

**Tabla 3. Ensayos de fresa realizados por el IFAPA durante el proyecto de mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Nacional de Doñana (Huelva) entre las campañas 2012/13 y 2014/15**

Campaña	Variedad	Municipio	Objetivo	Datos meteorológicos	Medida de la ETc	Monitorización de la humedad del suelo				
						T1	T2	T3		
2012/13	Sabrina	Almonte	Cálculo de las necesidades de agua del cultivo y del coeficiente de cultivo (Lozano <i>et al.</i> , 2016)	EMA de Almonte bajo plástico Red SIAR	Lisímetros de drenaje	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O y EasyAG)	100 ETc	1,25 T1	1,5 T1	
	Sabrina	Almonte								
	Antilla	Almonte							100 ETc	1,25 T1
2013/14	Sabrina	Almonte	Efecto de la duración del pulso de riego sobre la eficiencia del riego y la producción (Gavilán y Ruiz, 2015; Domínguez, 2014)	EMA de Almonte bajo plástico Red SIAR y datos AEMET	Lisímetros de drenaje	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O y EasyAG)	5 minutos	10 minutos	15 min.	
	Sabrina	Moguer								
				EMA de Moguer bajo plástico Red SIAR	No	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O)	10 minutos	20 minutos	30 min.	
	Antilla	Almonte	Efecto del uso de cintas de diferente caudal sobre la eficiencia del riego y la producción (Lozano <i>et al.</i> , 2014; Miranda, 2014)	EMA de Almonte bajo plástico Red SIAR y datos AEMET	Lisímetros de drenaje	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O y EasyAG)	2,5 l/h/m	3,8 l/h/m	5 l/h/m	
	Sabrina	Moguer								
			EMA de Moguer bajo plástico Red SIAR	No	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O)	2,5 l/h/m	3,8 l/h/m	5 l/h/m		

**Tabla 3 (cont). Ensayos de fresa realizados por el IFAPA durante el proyecto de mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Nacional de Doñana (Huelva) entre las campañas 2012/13 y 2014/15**

Campaña	Variedad	Municipio	Objetivo	Datos meteorológicos	Medida de la ETc	Monitorización de la humedad del suelo	Tratamientos		
							T1	T2	T3
2014/15	Fortuna	Almonte	Influencia de diferentes dosis de fertirriego sobre la producción				Abonado finca	1,25 T1	1,5 T1
	Victory	Almonte	Diferentes calendarios de riego basados en el pronóstico meteorológico (Gavilán <i>et al.</i> , 2015b; Gavilán <i>et al.</i> , 2016)	EMA de Almonte bajo plástico Red SIAR y datos AEMET	Lisímetros de drenaje	Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O y EasyAG)	Pronóstico semanal	Pronóstico diario	Serie histórica de ET <sub>0</sub>
	Victory	Almonte					Pronóstico semanal	Pronóstico diario	Serie histórica de ET <sub>0</sub>
	Victory	Almonte	Evolución de la UD a lo largo de la campaña de riegos (Bohórquez <i>et al.</i> , 2015a)		No	No	Medida de la UD dos veces en campaña y factores que afectan a la UD		
	Sabrina	Moguer	Efecto de la duración del pulso de riego sobre la eficiencia del riego y la producción (Dominguez, 2015)		No		10 minutos	20 minutos	30 min.
	Sabrina	Moguer	Efecto del uso de cintas de diferente caudal sobre la eficiencia del riego y la producción (Miranda, 2015)	EMA de Moguer bajo plástico Red SIAR			Sondas FDR (ECH <sub>2</sub> O)	2,5 l/h/m	3,8 l/h/m

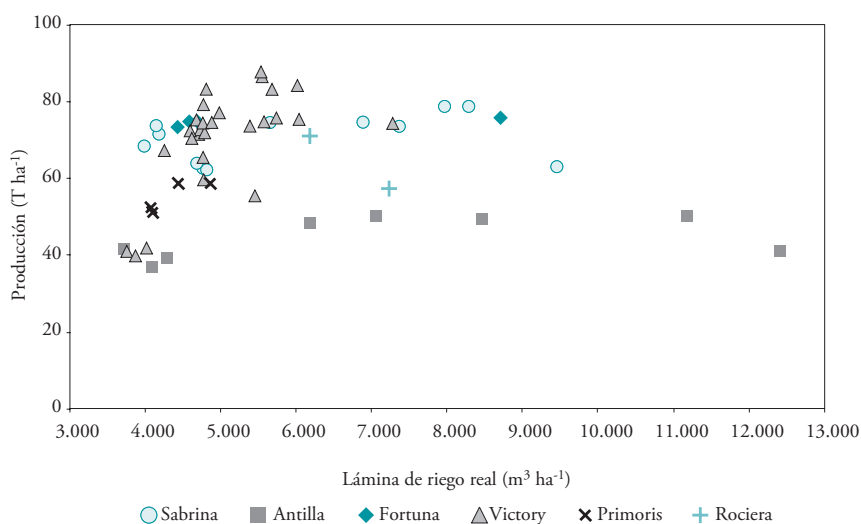
Fuente: IFAPA.

## 5. Resultados

### 5.1. Relación producción vs. riego aplicado

La aplicación de riegos entre 4.000 y 12.000 m<sup>3</sup>/ha a lo largo de 5 campañas de riego, permitió obtener producciones similares y, en todos los casos, iguales a las producciones potenciales de los agricultores colaboradores. En ninguna parcela de ensayo o comercial se dieron condiciones de riego deficitario. Las diferencias entre las producciones no fueron debidas a la falta de agua o fertilizante, sino que fueron consecuencia de la diferente duración de las campañas, del grado de intensificación del cultivo (derivado de la densidad de plantación) y de las características productivas de las diferentes variedades. Variedades similares tuvieron producciones similares con diferentes volúmenes de riego aplicado para una misma densidad de plantación y una misma duración de la campaña (Gráfico 1).

**Gráfico 1. Riego aplicado y producción en 57 parcelas de fresa de la provincia de Huelva entre 2012 y 2017 para 6 variedades de fresa**



### 5.2. Riego tradicional vs. riego programado

La diferencia entre el riego programado y el riego aplicado por los agricultores en 6 fincas comerciales que representan unas 1.000 ha fue notable.

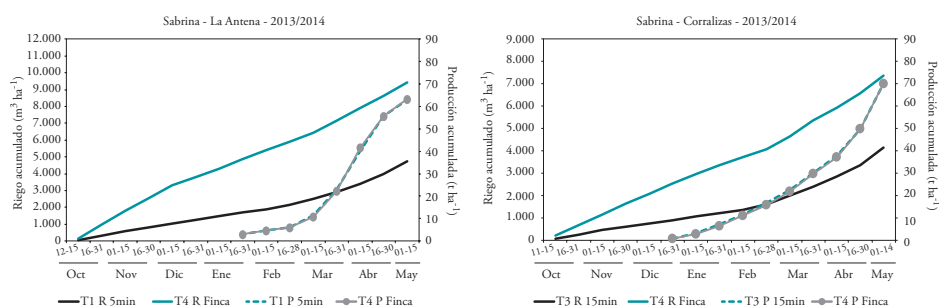
En el Gráfico 2 (correspondiente a dos ensayos realizados durante la campaña 2013/2014 en dos fincas diferentes) se observa que las diferencias entre las producciones fueron nulas, a pesar de que las fincas aplicaron prácticamente el doble de riego que los tratamientos con riego programado. El riego medio aplicado por los agricultores en el conjunto de los ensayos fue de 8.469 m<sup>3</sup>/ha, mientras el riego medio aplicado según la programación del IFAPA fue de 4.724 m<sup>3</sup>/ha, en torno al 56 % del aplicado por los agricultores. Las producciones medias se mantuvieron en valores similares bajo el riego tradicional y el programado por IFAPA, en torno a los 1.000 g/planta, lo que implica que el ahorro de agua no provocó pérdidas de producción. La productividad del agua de riego pasó de 9 kg/m<sup>3</sup> del riego tradicional a 14,5 kg/m<sup>3</sup> en el riego programado, alcanzándose valores máximos cercanos a 18 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 4), similar a la del riego del cultivo pimiento y de la judía en los invernaderos sin climatizar del poniente de Almería (Fernández *et al.*, 2012). Podemos concluir que el uso de los calendarios de riego programados usando un balance de agua en el suelo y en el pronóstico meteorológico de la ET<sub>o</sub> produjo un ahorro medio de agua del 44 % sin pérdidas de producción.

La eficiencia del riego (definida como el cociente entre la ET<sub>c</sub> y el riego aplicado) en el conjunto de todas las parcelas (riego programado y riego tradicional) varió entre el 18 y el 80 % (Gráficos 3 y 4). El 80 % fue el límite superior de la eficiencia del riego para este tipo de cultivo y suelo sin pérdida de producción. Esto se debe principalmente a dos factores, los suelos extremadamente arenosos, en ocasiones con un porcentaje de arena superior al 90 %, y la fecha de plantación, mes de octubre. Estos suelos tienen una conductividad hidráulica muy alta, por lo que el perfil de humedecimiento baja rápidamente, y una baja capacidad de almacenamiento, lo que provoca elevadas pérdidas por percolación profunda si no se maneja bien el riego. Las necesidades de riego diarias durante los primeros meses de cultivo (octubre-enero) son inferiores al tiempo mínimo que precisa el sistema de riego para alcanzar una UD razonable (superior al 80 %). Al precisarse en estas condiciones una frecuencia diaria de riego, las pérdidas por filtración profunda son inevitables si se quiere mantener un nivel de humedad en la zona de raíces que no provoque pérdida de producción. El límite superior de eficiencia del riego en estos primeros meses, asumiendo que el objetivo es no perder producción, estaría por debajo del 60 %, incrementándose a medida que aumentan las necesidades de agua del cultivo. Al final de la campaña de riego (mayo-junio) es posible alcanzar



valores de eficiencia del riego en torno al 90 %. Con estas limitaciones en el sistema riego-suelo, el límite superior de eficiencia del riego, en condiciones de máxima producción, para el conjunto de la campaña se sitúa en torno al 80 %. Este valor es comparable al citado por Fernández *et al.* (2012) para el cultivo de la judía en el ciclo de otoño de los invernaderos del poniente de Almería (RIS igual a 1,18) e incluso superior al del cultivo del pepino en esa misma zona (RIS igual a 1,62).

**Gráfico 2. Riego aplicado (R) y producción (P) en dos ensayos de fresa durante la campaña 2013/14**

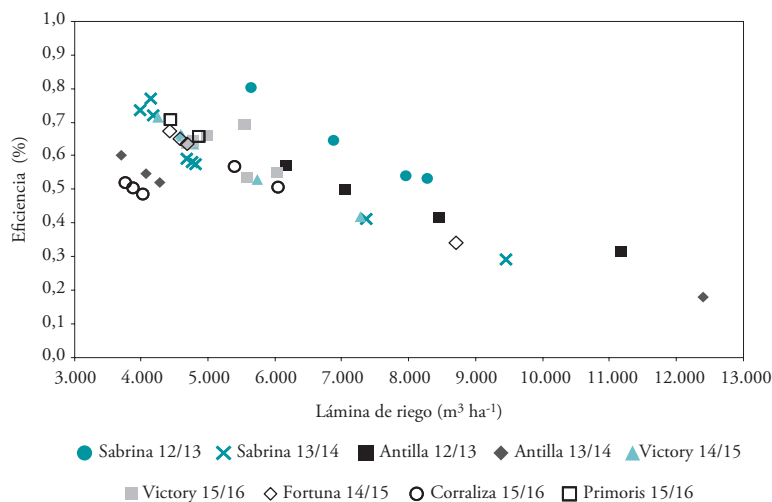


\* Los tratamientos T3 y T1 correspondieron a riego programado con pulsos de 15 y 5 minutos de duración, respectivamente, y el T4 al riego tradicional del agricultor.

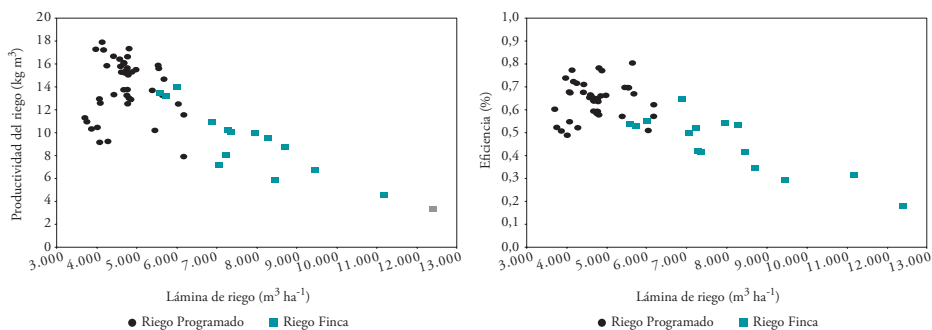
**Tabla 4. Comparación del riego programado por IFAPA frente al riego tradicional entre las campañas 2012/2013 y 2015/2016**

Estrategia		Riego (m³/ha)	ETc (m³/ha)	Eficiencia del riego (-)	Producción (g/planta)	Productividad del riego (kg/m³)
Riego programado	Media	4.724	3.084	0,65	986	14,5
	Máximo	6.171	4.530	0,80	1.215	17,9
	Mínimo	3.702	2.226	0,52	558	7,9
	Desv. est.	559	467	0,07	169	2,5
Riego tradicional	Media	8.469	3.150	0,40	998	8,9
	Máximo	12.403	4.410	0,55	1.231	14,0
	Mínimo	5.572	2.230	0,18	613	3,3
	Desv. est.	2.261	590	0,13	184	6,6

**Gráfico 3. Eficiencia del riego medida en 38 parcelas de fresa de la provincia de Huelva entre las campañas 2012/13 y 2015/16 en seis variedades de fresa**



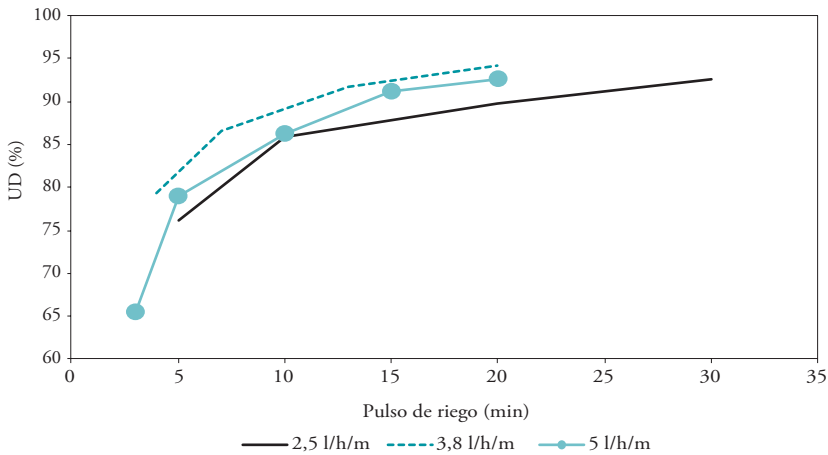
**Gráfico 4. Productividad del riego (a) y eficiencia del riego (b) en función de la lámina de riego aplicada según riego programado por el IFAPA y el riego tradicional del agricultor en 38 parcelas de fresa**



### 5.3. Calidad de los sistemas de riego

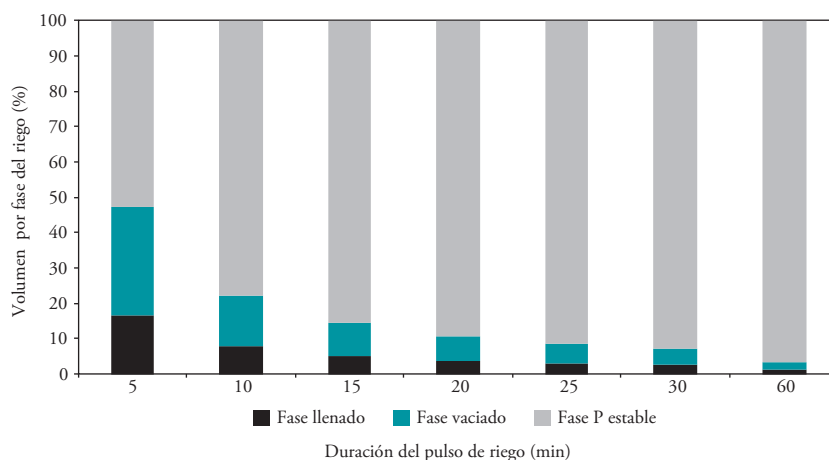
Para poder seleccionar una eficiencia de aplicación del riego que permita una programación óptima del mismo sin pérdida de producción es necesario conocer la uniformidad de distribución (UD) del sistema de riego. En los sistemas de riego localizado la duración del pulso de riego es un factor clave para la determinación de la UD del sistema. A pesar de que habitualmente se establecen valores de UD para el riego localizado que suelen moverse entre el 90 % y el 95 %, la realidad es que para pulsos de riego inferiores a 15 minutos estos valores pueden ser muy inferiores (Lozano *et al.*, 2015) (Gráfico 5).

**Gráfico 5. Evolución de la uniformidad de distribución (UD) en función de la duración del pulso de riego para cintas de 2,5, 3,8 y 5 l/h/m**



Por otro lado, los procedimientos más utilizados para evaluar la UD de un riego localizado en condiciones de campo contemplan la medida del volumen arrojado por los goteros cuando las presiones del sistema están estabilizadas. Sin embargo, el riego localizado se compone de tres fases: llenado del sistema, tubería en carga y vaciado del mismo. Para ello, se construyó un modelo que permite simular el volumen arrojado por cada uno de los goteros de una unidad de riego en diferentes escenarios de duración del pulso de riego. Por debajo de 15 minutos vemos como las fases de llenado y vaciado tienen una contribución importante en el global del volumen arrojado por los goteros, lo que a efectos prácticos contribuye a peores valores de uniformidad de distribución (Gráfico 6).

**Gráfico 6. Porcentaje de volumen arrojado por los goteros en las fases de llenado, presión estable y vaciado para duraciones del pulso de riego entre 5 y 60 minutos**



## 6. Discusión

### 6.1. Factores generales que dificultan el cambio tecnológico

Los factores que dificultan el cambio tecnológico están relacionados con el comportamiento del agricultor, los mecanismos de transferencia de los resultados de la investigación desde el sector público y el papel de las empresas que suministran tecnología al sector. Los agricultores tienden a no percibir los beneficios obtenidos del uso de nuevas tecnologías en relación con las prácticas que vienen realizando de forma rutinaria (Steduto *et al.*, 2012). Estas nuevas tecnologías son difíciles de manejar, costosas de mantener y necesitan un adiestramiento que permitan su instalación, mantenimiento y, sobre todo, la interpretación de lo que están midiendo (Levidow *et al.*, 2014). Además, cualquier esfuerzo de mejora de la eficiencia del riego debe partir de un conocimiento cuantitativo de la situación actual y de la eficiencia objetivo que se pretende alcanzar. Solo de esta forma es posible cuantificar la mejora que se produce como consecuencia de la introducción de una innovación. Sin embargo, esta información raras veces está a disposición de los agricultores y técnicos (Hsiao *et al.*, 2007). Con frecuencia los agricultores carecen de series históricas de riego aplicado en sus explotaciones, a pesar de que el análisis

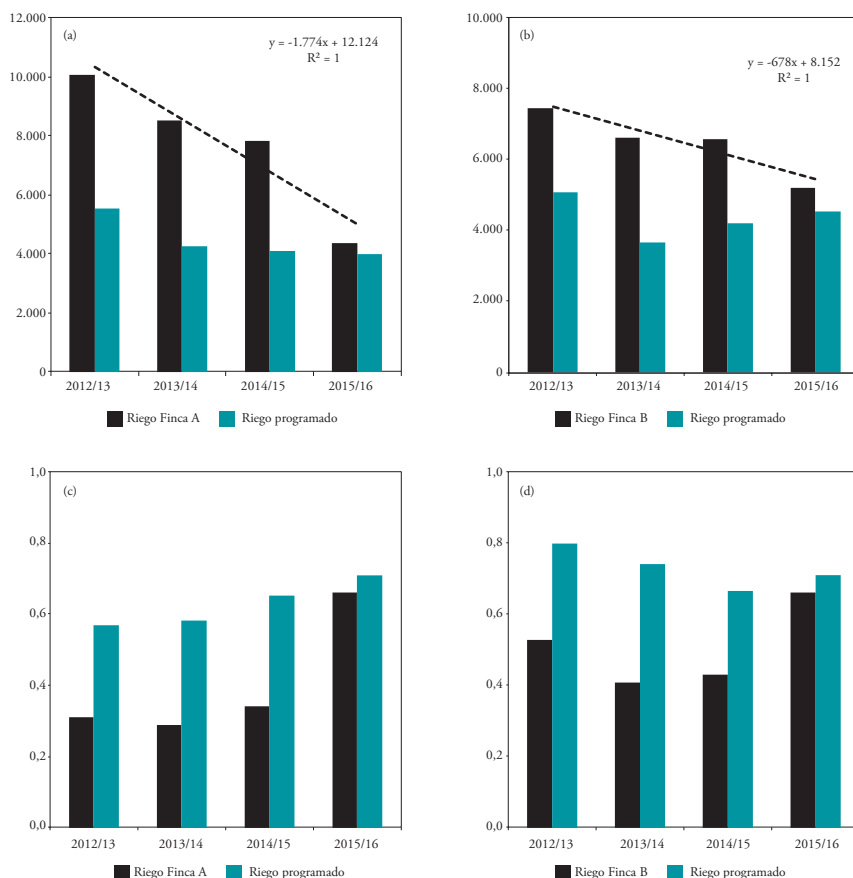
de estos consumos históricos permite evaluar las mejoras introducidas en el manejo del riego (Zaccaria *et al.*, 2013). Por otro lado, el sector público en su labor investigadora tiene tendencia a realizar trabajos que no salen del laboratorio o los campos de ensayo y existe una falta de reconocimiento de la labor de experimentación y transferencia tecnológica, además de la ausencia de servicios públicos de extensión. La labor que podrían realizar los servicios de asesoramiento al regante (SAR) en combinación con otras políticas de las administraciones resulta fundamental (Salvador *et al.*, 2011). Finalmente, las empresas que suministran desarrollos tecnológicos a los agricultores carecen, en su mayoría, de dimensión suficiente para contemplar servicios propios de innovación. También se detectan problemas de seguimiento de desarrollo de los cultivos 'in situ' por parte de estas empresas en las parcelas recomendadas. Una última consideración es que estas empresas suelen poner cláusulas que le eximen de responsabilidad en las recomendaciones de riego dejando al agricultor la responsabilidad final en la toma de decisiones, lo que disminuye la confianza del agricultor

## 6.2. Proceso de aceptación de la innovación

La adopción de la innovación en la programación del riego propuesta por IFAPA fue progresiva, asumiéndose a escala comercial de producción a partir del cuarto año del proyecto. Durante los tres primeros años los agricultores estuvieron expectantes a los resultados de los ensayos. Aunque durante estos tres primeros años no adoptaron la programación del riego propuesta por IFAPA en la parte comercial de la finca, la confianza en los resultados obtenidos en los ensayos les fue llevando a disminuir los volúmenes aplicados en la parte comercial de la finca de forma progresiva, ya que veían que no perdían producción. El Gráfico 7 muestra esta afirmación en dos de las fincas colaboradoras. En la finca A se produjo una reducción media del riego de 1.774 m<sup>3</sup>/ha y año a lo largo del proyecto, situándose al final del mismo en un riego medio de 4.366 m<sup>3</sup>/ha. La eficiencia media del riego pasó del 31 al 66 %. En la finca B la reducción media del riego fue de 678 m<sup>3</sup>/ha y año y la eficiencia media pasó del 41 al 66 %.

Además, la eficiencia del riego y la productividad del agua de riego fueron aumentando de forma progresiva en ambas fincas comerciales (Gráficos 7 y 8).

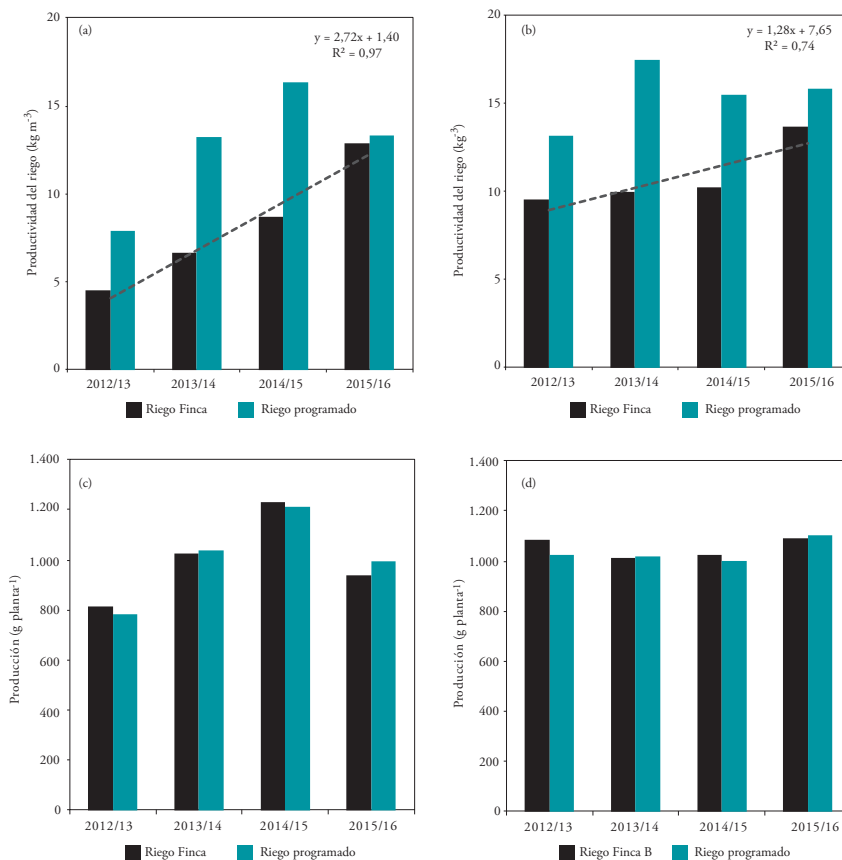
**Gráfico 7. Evolución del riego aplicado (a y b) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y la eficiencia del riego (c y d) durante 4 campañas de riego del proyecto y su comparación con el riego programado en dos fincas colaboradoras**



En la finca A se produjo un aumento anual medio de la productividad del riego de 2,72 kg/m<sup>3</sup>, hasta alcanzar valores cercanos a los 13 kg/m<sup>3</sup>. En la finca B, el aumento medio anual de productividad fue de 1,28 kg/m<sup>3</sup>, llegándose a alcanzar valores máximos de 13,7 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, los agricultores no entienden incrementos de la eficiencia o de la productividad del agua que no vayan ligados al mantenimiento de las producciones y las calidades o, incluso, su mejora. Para cambiar los hábitos de los agricultores, es preferible utilizar criterios económicos que aquellos basados en conceptos medioambientales o académicos como la eficiencia del riego y la productividad del agua (Knox *et*

al. 2012). En relación con esto, se observa que fue posible aumentar la productividad del riego de la fresa en cuatro campañas de riego más de un 60 % sin afectar la producción. Los valores máximos obtenidos de 18 kg/m<sup>3</sup> de riego suponen valores de productividad económica del agua de 24,3 euros/m<sup>3</sup>, utilizando datos medios del Observatorio de Precios de la CAPDR para la campaña 2016/17 (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, 2017).

**Gráfico 8. Evolución de la productividad del riego (a y b) y la producción (b y c) durante 4 campañas de riego del proyecto con riego programado y aplicado por el agricultor**



### 6.3. *Transferencia de los resultados del proyecto*

Para explotar las mejoras tecnológicas generadas por el proyecto resulta necesaria una amplia diseminación de sus beneficios mediante formación específica y demostración a los agricultores y técnicos. Este papel ha quedado tradicionalmente reservado a los servicios de extensión y asesoramiento promovidos desde el sector público (Levidow *et al.*, 2014). Por ello, el proyecto se dotó de actividades de transferencia y formación adicionales a las labores experimentales en parcelas de ensayo y de agricultores. A modo de resumen, a lo largo del proyecto se impartieron 12 cursos y 14 jornadas (4 de ellas de campo), atendándose a 686 agricultores, con más de 600 horas lectivas. Se realizaron actividades en 10 municipios, 2 oficinas comarcales agrarias, 2 comunidades de regantes, 6 cooperativas y 3 empresas.

Las labores de asesoramiento incluyeron cuatro avances de campaña de recomendaciones de riego, 475 recomendaciones semanales de riego, 12 documentos técnicos y artículos divulgativos y nueve informes a empresas. Los trabajos se realizaron dentro del marco de dos contratos y tres convenios de colaboración con empresas que representaban una superficie de 1.914 ha (alrededor del 20 % de la superficie protegida).

### 6.4. *Principales innovaciones del proyecto*

Como principales innovaciones realizadas por el IFAPA en este itinerario de mejora de la eficiencia del riego podemos incluir:

- La obtención de un indicador de desarrollo del cultivo adaptado a los sistemas de producción de Huelva. El IFAPA generó un modelo que correlaciona el coeficiente de cultivo de la fresa con la cobertura del cultivo (Lozano *et al.*, 2016).
- La identificación de dos fases del riego diferenciadas a la hora de utilizar una eficiencia del riego para una programación óptima del riego sin pérdida de producción. Durante la primera fase del cultivo (octubre-febrero) el límite superior de la eficiencia del riego en las condiciones de Huelva está en torno al 60 %, mientras que de marzo a junio la eficiencia se puede ir incrementando progresivamente hasta el 90 %, lo que deja una eficiencia global potencial del sistema en torno al 80 %.



- El desarrollo de una metodología de pronóstico semanal de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) basada en las predicciones de la AEMET (Gavilán *et al.*, 2015).
- La identificación del pulso óptimo de riego para las condiciones de producción de Huelva en base a unos criterios de uniformidad de distribución, eficiencia del riego y producción (Gavilán y Ruiz, 2015). Para la cinta más usada, 5 l/h, el pulso óptimo para alcanzar una uniformidad superior al 80 % se encuentra en el entorno de los 15 minutos.
- El desarrollo de una metodología de evaluación del sistema de riego localizado considerando las fases de llenado y vaciado del sistema de riego (Lozano *et al.*, 2017).

## 7. Conclusiones

El proyecto del IFAPA para la mejora de la eficiencia del riego en el entorno del Parque Nacional del Doñana ha estado basado en una aproximación holística que ha tenido en cuenta todos los agentes implicados, siendo los agricultores los principales actores de este itinerario de mejora, y ha logrado el aumento de la eficiencia y de la productividad del riego en una superficie de fincas comerciales en torno a las 1.900 ha. Las nuevas prácticas de riego adoptadas, basadas en el uso de calendarios de riego y las recomendaciones para la mejora de la uniformidad de los sistemas de riego han supuesto, además, una ventaja económica para los agricultores.

El éxito del proyecto ha estado basado en la realización de los trabajos experimentales y de aplicación del riego en fincas comerciales de los propios agricultores a lo largo de un ciclo de cinco años. Esto ha permitido un itinerario progresivo de mejora basado en la confianza proporcionada a los agricultores al ver que la disminución del riego no suponía una pérdida de producción. Como consecuencia, estos han realizado posteriormente inversiones en tecnologías de manejo del riego (monitorización de las condiciones meteorológicas, de la humedad del suelo, fundamentalmente), más allá de las usuales mejoras de las infraestructuras de riego.

La aceptación por parte de los agricultores de estas innovaciones implementadas en el cultivo de la fresa ha hecho que exista una demanda para rea-

lizar un itinerario similar en otros frutos rojos (frambuesa, arándano y mora). Actualmente existe un nuevo proyecto IFAPA para atender estas necesidades.

## Agradecimientos

Estos trabajos han sido financiados por los proyectos PP.TRA.TRA2013.1 (CONECTA-SAR) y PP.TRA.TRA2013.6 (Mejora de la competitividad en el cultivo de la fresa mediante experimentación, transferencia y formación), cofinanciados con fondos FEDER. El contrato de David Lozano ha sido financiado por el programa de contratación de doctores INIA-CCAA (2013), financiado por INIA y el Fondo Social Europeo. Los autores agradecen la colaboración de los técnicos de la Finca Experimental del IFAPA «El Cebollar» y el apoyo de las empresas Frutas Borja SL, Surexport SL (Proyecto CAICEM 10/2017), Masia Ciscar SL (Proyecto CAICEM 134/2015) y Perlahuelva (Convenio de Colaboración IFAPA 10/2017).

## Referencias bibliográficas

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D. y SMITH M. (1998): «Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements»; *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Roma, FAO.
- BOHÓRQUEZ, J. M.; GAVILÁN, P. y CONTRERAS, J. I. (2015a): «Análisis de la uniformidad del riego en cultivos de fresa»; *Agricultura*; pp. 710-718.
- BOHÓRQUEZ, J. M.; RUIZ, N.; SALVATIERRA, B.; CASTILLO, F. y GAVILÁN P. (2008b): *Caracterización del cultivo de la fresa, cálculo de dotaciones de riego y diseño de una campaña de evaluación de sistemas de riego en los municipios de Palos de la Frontera, Moguer, Lucena del Puerto, Bonares, Almonte y Rociana del Condado*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera; pp. 64.
- BURT, C. M. (2004): «Rapid field evaluation of drip and microspray distribution uniformity»; *Irrigation and Drainage Systems* (18); pp. 275-297.
- CAHN, M. D. y JOHNSON, L. F. (2017): «New approaches to irrigation scheduling of vegetables»; *Horticulturae* 3(28); doi:10.3390/horticulturae3020058.

- CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T. y PEREIRA, L. S. (2007): «Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages»; *Agricultural and Forest Meteorology* 145; pp. 22-35.
- CAJA RURAL DE ALMERIA (ed). (1997): *Gestión del regadío en El Campo de Dalías: las Comunidades de Regantes Sol y Arena y Sol-Poniente*; pp. 195.
- CHG (2017): *Informe de estado de los acuíferos del entorno de Doñana*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL, JUNTA DE ANDALUCÍA (2017) *Observatorio de Precios y Mercados. Síntesis de Campaña: Frutos rojos. Campaña 2016/2017*. CAPDR; pp. 10.
- DE PASCALE, S.; DALLA COSTA, L.; VALLONE, S.; BARBIERI, G. y MAGGIO, A. (2011): «Increasing Water Use Efficiency in Vegetable Crop Production: From Plant to Irrigation Systems Efficiency»; *HortTechnology* 21(3); pp. 301-308.
- DOMÍNGUEZ, P. (2014): «Influencia de la duración de los pulsos de riego en el cultivo de la fresa»; en MIRANDA, L.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; GAVILÁN, P.; RUIZ, N.; SORIA, C.; MEDINA, J. J. y DOMÍNGUEZ, P. (2014): «Conclusiones de la Jornada Técnica 'Mejora y uso del agua de riego en el cultivo de la Fresa'. Moguer (Huelva)». Junta de Andalucía, CAPDR, IFAPA.
- DOMÍNGUEZ, P. (2015): «Influencia de la duración de los pulsos de riego en el cultivo de la fresa»; en MIRANDA, L.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; GAVILÁN, P.; BOHÓRQUEZ, J. M.; RUIZ, N.; MURIEL, J. L. y DOMÍNGUEZ, P. (2015): «Conclusiones de la Jornada Técnica 'Mejora y uso del agua de riego en el cultivo de la Fresa'. Lepe (Huelva)». Junta de Andalucía, CAPDR, IFAPA.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. O (1977): «Las necesidades de agua de los cultivos»; *Manual FAO de Riego y Drenaje* 24. Roma.
- FERERES, E. y GOLDHAMER, D. A. (2000): «Avances recientes en la programación de riegos»; *Ingeniería del Agua* 7(1); pp. 47-54.
- FERNÁNDEZ, M. D.; BONACHELA, S.; ORGAZ, F.; THOMPSON, R. B.; LÓPEZ, J. C.; GRANADOS, M. R.; GALLARDO, M. y FERERES, E. (2010): «Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate»; *Irrigation Science* (28); pp. 497-509.

- FERNÁNDEZ, M. D.; THOMPSON, R. B.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M. y GRANADOS M. R. (2012): «El uso del agua de riego en los cultivos en invernadero»; *Cuaderno de Estudios Agroalimentarios*; pp. 115-138.
- GARCÍA-MORILLO, J.; MARTÍN, M.; CAMACHO, E.; DÍAZ, J. R. y MONTE-SINOS, P. (2015): «Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation»; *Agricultural Water Management* (151); pp. 43-51.
- GAVILÁN, P. y RUIZ, N. (2015): «Optimización del riego en el cultivo de la fresa. La frecuencia del riego como determinante de la eficiencia del mismo y la producción»; *Vida Rural*; pp. 40-45.
- GAVILÁN, P.; RUIZ, N. y LOZANO, D. (2015): «Daily forecasting of reference and strawberry crop evapotranspiration in greenhouses in a Mediterranean climate based on solar radiation estimates»; *Agricultural Water Management* (159); pp. 307-317.
- GAVILÁN, P.; RUIZ, N. y LOZANO, D. (2016): *Eficiencia de las recomendaciones de riego de la fresa basadas en el pronóstico meteorológico*. VI Jornadas de Agrometeorología. Navarra, Villaba.
- HANSON, B. y BENDIXEN, W. (2004): «Drip irrigation evaluated in Santa Maria Valley strawberries»; *California Agriculture* 58(1); pp. 48-53.
- HANSON, B.; BOWERS, W. y DAVIDOFF, B. (1995): *Field performance of microirrigation systems. Microirrigation for a Changing World, Proceedings of Fifth International Microirrigation Congress*. Florida, Orlando, American Society of Agricultural Engineers; pp. 769-774.
- HSIAO, T. C.; STEDUTO, P. y FERERES, E. (2007): «A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture»; *Irrigation Science* (25); pp. 209-231.
- KNOX, J. W.; KAY, M. G. y WEATHERHEAD, E. K. (2012): «Water regulation, crop production and agricultural water management –understanding farmers perspectives on irrigation efficiency»; *Agricultural Water Management* 108(1); pp. 3-8.
- LEVIDOW, L.; ZACCARIA, D.; MAIA, R.; VIVAS, E.; TODOROVIC, M. y SCARDIGNO, A. (2014): «Improving water-efficiency irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices»; *Agricultural Water Management* (146); pp. 84-94.

- LOZANO, D.; RUIZ, N.; CONTRERAS, J. I.; BAEZA, R. y GAVILÁN, P. (2017): «Uniformidad de distribución del riego localizado en parcelas con pendiente»; XXXV Congreso Nacional de Riegos. Tarragona, AERYD.
- LOZANO, D.; RUIZ, N. y GAVILÁN, P. (2015): «Evaluación en campo de cintas de riego por goteo de diferente caudal en un cultivo de fresa»; *Agricultura*; pp. 778-781.
- LOZANO, D.; RUIZ, N. y GAVILÁN, P. (2016): «Consumptive water use and irrigation performance of strawberries»; *Agricultural Water Management* (169); pp. 44-51.
- MERRIAM, J. L. y KELLER, J. (1978): *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan, Utah State University, CEE Department.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2017): *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío*; en <http://eportal.mapama.gob.es/websiar/Inicio.aspx> (acceso: agosto de 2017).
- MIRANDA, L. (2014): «Influencia de diferentes dotaciones hídricas en parámetros productivos y de calidad en el cultivo de la fresa»; en MIRANDA, L.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; GAVILÁN, P.; RUIZ, N.; SORIA, C.; MEDINA, J. J. y DOMÍNGUEZ, P. (2014): «Conclusiones de la Jornada Técnica ‘Mejora y uso del agua de riego en el cultivo de la Fresa’. Moguer (Huelva)»; Junta de Andalucía, CAPDR, IFAPA.
- MIRANDA, L. (2015): «Influencia de diferentes dotaciones hídricas en parámetros productivos y de calidad en el cultivo de la fresa»; en MIRANDA, L.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; GAVILÁN, P.; BOHÓRQUEZ, J. M.; RUIZ, N.; MURIEL, J. L. y DOMÍNGUEZ, P. (2015): «Conclusiones de la Jornada Técnica ‘Mejora y uso del agua de riego en el cultivo de la Fresa’. Lepe (Huelva)»; Junta de Andalucía, CAPDR, IFAPA.
- OJEDA RIVERA, J. F. y MORAL ITUARTE, L. D. (2004): «Percepciones del agua y modelos de su gestión en las distintas fases de la configuración de Doñana»; *Investigaciones Geográficas* (35).
- RODRÍGUEZ, J. y DE STEFANO, L. (2012): «Intensively irrigated agriculture in the north-west of Doñana»; *Water, agriculture and the environment in Spain: Can we square the circle*; pp. 269-280.
- SALVADOR, R.; MARTÍNEZ-COB, A.; CAVERO, J. y PLAYAN, E. (2011): «Seasonal on farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): crops and irrigation systems»; *Agricultural Water Management* (98); pp. 577-587.

- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. y RAES, D. (2012): «Crop yield response to water»; *FAO Irrigation and Drainage Paper* 66. Roma.
- STEINER, J. L. y HATFIELD, J. L. (2008): «Winds of Change: A Century of Agroclimate Research»; *Agronomy Journal* (100); pp. 132-152.
- ZACCARIA, D.; LAMADDALENA, N.; NEALE, C. M. U. y MERKLEY, G. (2013): «Simulation of peak-demand hydrographs in pressurized irrigation delivery systems using a deterministic-stochastic combined model. Part II: Model applications»; *Irrigation Science* (31); pp. 193-208.



