

EXTERNALIDADES POSITIVAS DEL REGADÍO



Coordinado por Julio Berbel

EXTERNALIDADES POSITIVAS DEL REGADÍO

Coordinado por Julio Berbel - Universidad de Córdoba

Externalidades Positivas del Regadío

Primera edición, julio 2020

Editado por la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE)

Coordinado por Julio Berbel Vecino

ISBN: 978-84-09-21980-3

Depósito Legal: M-17836-2020

Impreso y maquetado en Madrid por Grafoprint, S.L.

ÍNDICE DE TRABAJOS

Prólogo

Claves destacadas de cada tema

Presentación de los autores

1.- Presentación

Julio Berbel

2.- El regadío y el paisaje

Luciano Mateos

3.- El regadío y seguridad alimentaria

Alfonso Expósito

4.- El regadío y el desarrollo regional

Amparo Melián y Joaquín Melgarejo

5.- El regadío y la mejora socioeconómica

José A Gómez-Limón y Carlos Gutiérrez Martín

6.- Los servicios ecosistémicos en la agricultura de regadío

Dionisio Pérez Blanco

7.- El regadío y la mitigación del cambio climático (captura de Co²)

Luca Testi y Álvaro López Bernal

8.- Los regadíos ante el cambio climático

José Ignacio Sánchez Sánchez-Mora

9. El regadío y el binomio agua -energía en la transición energética.

Manuel Omedas

10. Aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el regadío

José F. Maestre Valero y Mariano Soto García

11.- Conclusiones y propuestas de futuro

Julio Berbel

RESUMEN DE LOS TRABAJOS

Regadío y Paisaje

El regadío sostenible perdura, vivifica y moldea el territorio, crea paisaje y, a la postre, patrimonio cultural. Los mosaicos de parcelas que caracterizan los ecosistemas agrarios ganan variedad y color cuando se riegan. Las acequias y canales, flanqueados por árboles y vegetación, son elementos paisajísticos lineales característicos del regadío y ricos en diversidad. Los arroyos y desagües de las zonas de regadío recogen flujos de retorno que dan vida a pequeños bosques de ribera. Los ingenios y las estructuras hidráulicas que sirven para mover, dirigir y elevar agua son a menudo tesoros de la ingeniería que jalonan ríos y canales o motean el campo testificando la presencia de pozos para el riego. Y este bagaje lo han transmitido regantes e ingenieros de generación en generación, de modo que los buenos regadíos modernos también cuidan su impacto ambiental y visual. La sociedad valora esta diversidad paisajística y de manera creciente hay instituciones que velan por proteger aquellos paisajes de mayor valor y donde la naturaleza se integra con la función agraria.

Los nuevos paisajes del regadío ya no dejan ver el agua correr. Son tecnológicos, sorprenden con sofisticadas estaciones de bombeo y filtrado, con impresionantes plantas energéticas, o con pequeñas torres que, salpicadas por el campo soportando paneles fotovoltaicos, delatan riego por goteo.

Este capítulo repasa cómo el regadío crea paisaje, destaca algunos elementos característicos del paisaje del regadío y algunos paisajes culturales icónicos. También menciona el aspecto del regadío observado por sensores a bordo de satélites y lo que esos "ojos" desvelan. El capítulo acaba con un llamamiento a la conservación y la recreación de paisajes culturales del regadío.

El regadío y seguridad alimentaria

Al hablar del concepto de seguridad alimentaria nos solemos plantear la siguiente pregunta: ¿Seremos capaces de producir suficiente alimento para atender las necesidades futuras de una población en constante crecimiento y en un contexto de cambio climático? La respuesta a la pregunta planteada puede ser abordada desde tres diferentes estrategias. Éstas son analizadas en este capítulo, haciendo un especial análisis del caso concreto de España. La primera forma de elevar la producción de alimentos procedentes del regadío se basaría en aumentar los recursos disponibles, es decir, el suministro de agua y tierra por encima de los niveles actuales. La segunda estrategia se basaría en aumentar la productividad del regadío, ya sea mejorando el rendimiento o mejorando la eficiencia del uso del agua y/o tierra, o ambos. Finalmente, la última respuesta se basaría en importar agua en forma de alimentos (agua virtual) a través del comercio. Esta opción dependería principalmente de factores económicos y del comercio mundial.

El regadío juega un papel fundamental a la hora de abordar los desafíos de seguridad alimentaria, tanto a nivel global como en el caso particular de España. El aumento de la producción de alimentos para hacer frente a las crecientes necesidades futuras de la población mundial requerirá la expansión del área regada y una mejor disponibilidad de agua (tanto en el espacio como en el tiempo), así como una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Ninguno de estos factores de crecimiento resultará fácil, y ambos requerirán reformas institucionales y políticas complejas, especialmente en aquellos países y regiones donde la escasez de agua es más acuciante. En el caso particular de España, el crecimiento de la producción agraria como garante de la seguridad alimentaria no parece que pueda sustentarse en un aumento de los recursos (tierra y agua), sino en el aumento de la productividad agraria. El análisis realizado en este trabajo ha mostrado que la consecución de una mayor producción por unidad de factor productivo empleado (especialmente por unidad de agua usada) ha resultado decisiva para garantizar el mantenimiento de la producción del sector agrario español.

A nivel global, si no se satisfacen las necesidades de producción de alimentos mediante una expansión eficiente y sostenible del regadío, el crecimiento de la población y el desarrollo económico aumentarán la presión sobre los recursos y se acelerará el proceso de degradación ambiental. Asimismo, los estrechos vínculos entre la seguridad alimentaria, del agua y de la energía, exigen una coordinación adecuada de políticas públicas que fomente el incremento de la productividad del sector del regadío en un contexto de economía circular ahorrando recursos hídricos y energéticos, y desarrollando cultivos con menos necesidades de agua y mayor tolerancia a las plagas, es decir, poniendo el foco en la biotecnología. Finalmente, cabe decir que el cambio climático afectará tanto a la producción agrícola futura como a la disponibilidad de agua, impactando así en la seguridad alimentaria a nivel global.

El regadío y el desarrollo regional

El regadío es uno de los pilares básicos del desarrollo rural y desarrollo regional. El regadío dinamiza un territorio, lo que se observa a partir de los diversos efectos que provoca tanto económicos, como sociales y antrópicos. Contribuye de forma excepcional a la cohesión y estabilidad social pues genera una fuerte demanda de mano de obra y favorecen el intercambio comercial de productos e insumos, con los consiguientes flujos económicos (de consumo y ahorro). Incide en la renta y la economía de un territorio, los asentamientos poblacionales, en el empleo, la calidad de vida, la creación de empresas o la valorización de los productos.

En el capítulo se aborda desde diversos aspectos los efectos del regadío en el desarrollo regional, en temas como los demográfico-sociales, los aspectos económico-productivos, el empleo y creación de empresas, y los antrópicos, como el crecimiento urbano y de las infraestructuras. Así, se pone de manifiesto el trasvase de población desde las zonas no regadas a las regadas, las migraciones entre estos territorios, y los desplazamientos regionales que induce el regadío. Se observa también un equilibrio de género en la población y una menor tasa de envejecimiento en las zonas de regadío, fruto de las oportunidades que brinda de desarrollo endógeno.

En los aspectos económicos se estudia cómo se establecen y crean empresas, y el uso de las redes sociales y de participación. La organización de los regantes se efectúa a través de Comunidades de usuarios, comunidades de regantes, también se vincula con la creación de cooperativas y sociedades agrarias de transformación. Por otra parte, en los entornos de regadío proliferan un conjunto de empresas auxiliares (fitosanitarios, semillas, riego, sustratos, plástico, asesoría, etc.) que aportan valor añadido a la zona, generan empleo y riqueza.

Por último, el capítulo aborda el efecto que tiene el regadío en el crecimiento urbano y la optimización del uso de las infraestructuras. A pesar de todo ello el regadío no está exento de críticas, por el uso de suelo, por el uso del escasísimo recurso hídrico, el agua. No obstante, y en situaciones límite es cuando somos conscientes de la importancia del sector primario como proveedor de alimentos, donde la agricultura de regadío desempeña un extraordinario papel.

El regadío y la mejora socioeconómica

Este capítulo presenta a la agricultura de regadío como un sistema multifuncional, que suministra a la sociedad todo un conjunto de bienes y servicios, tanto de carácter comercial (alimentos y materias primas) como no comerciales (bienes públicos procedentes de sus funciones económica y social). En este sentido, se ha evidenciado cómo este tipo de agricultura proporciona al conjunto de la sociedad unos mayores niveles de bienestar que el secano, en la medida que incrementa la generación de riqueza (adecuado desempeño de su función económica), y de empleo (adecuado desempeño de su función social). Como media para el conjunto de España, en comparación el secano, cabe afirmar que el regadío multiplica por 4,8 la generación de riqueza y por 4,5 la generación de empleo. De esta manera, el regadío constituye un instrumento eficaz para la fijación de la población en las zonas rurales, favoreciendo con ello la vertebración del territorio.

La mayor intensidad de la actividad del regadío permite que sea este tipo de agricultura aporte más de la mitad (64%, 16.000 millones de euros al año) de la Producción Final Agrícola española, empleando para ello menos de una cuarta parte (22,5%) de la superficie de cultivo nacional. El regadío es, de hecho, uno de los sustentos clave de la actividad exportadora a nivel nacional, que posibilita que España presente balanza comercial alimentaria agraria netamente excedentaria, contribuyendo positivamente con sus exportaciones a la alimentación del planeta.

Además, debe comentarse que el regadío favorece igualmente el desarrollo a todo un conjunto de sectores económicos relacionados con el mismo, tanto 'hacia arriba' de la cadena de valor (empresas de suministros y maquinaria agrícolas, servicios técnicos y financieros, etc.), como 'hacia abajo' (agroindustria, transportes, comercio mayorista y minorista...).

A pesar de esta evidencia objetiva, el regadío en España viene padeciendo una crisis de popularidad en ciertos ámbitos de la sociedad, consecuencia de una percepción desvirtuada del desempeño de este tipo de agricultura, apoyada en informaciones sesgadas suministradas por los medios de comunicación. Esta circunstancia explica que en numerosas ocasiones la agricultura de regadío no cuenta con el apoyo social y político necesario para su adecuado desarrollo, lo que impide que este tipo de agricultura contribuya de forma más activa al bienestar del conjunto de la población española.

Dentro de este contexto los esfuerzos a realizar desde el propio sector deberían estar encaminados a informar adecuadamente al conjunto de la ciudadanía sobre los beneficios económicos y sociales que proporciona el regadío, así como seguir dando los pasos necesarios para la adaptación continua del regadío al objeto de minimizar las externalidades ambientales que este tipo de agricultura pudiera generar.

Los servicios ecosistémicos en la agricultura de regadío

La agricultura de regadío genera importantes servicios ecosistémicos beneficiosos para la naturaleza y las personas que trascienden la mera producción de alimentos para su posterior comercialización, tales como la regulación de la calidad del suelo y del agua, el secuestro de carbono, el apoyo a la biodiversidad y los servicios culturales, la mejora del paisaje, el mantenimiento de la vida rural y otros. Debido a que los servicios ecosistémicos no se compran ni se venden en un mercado, carecen de los incentivos para la provisión que vienen con los precios. El carácter gratuito de estos servicios ha derivado en falta de visibilidad y en su progresivo deterioro. Recientemente han aparecido métodos de valoración que ayudan a estimar el valor de los servicios ecosistémicos generados por la agricultura de regadío y que han encontrado unos valores positivos para la población en general en países tan dispares como Nueva Zelanda, Italia, Japón o Canadá.

Estos valores positivos o servicios ecosistémicos tienen particular importancia en los sistemas agrarios tradicionales, tales como el "Regadío histórico de l'Horta de València", la "Uva pasa de la Axarquía" (Málaga), o los "Olivos milenarios del Territorio Sènia", que ya han recibido el reconocimiento de organismos internacionales (FAO, UNESCO); así como en otros que probablemente merecerían ese reconocimiento (acequias del Sur de Sierra Nevada, olivares de Jaén) y que son valorados por la población más allá de su papel tradicional de proveedor de alimentos, que es compatible con unos valores ambientales positivos cuando se respetan las prácticas agrarias sostenibles, ya sean tradicionales o innovadoras.

Para asegurar una provisión de servicios ecosistémicos suficiente, algunos países han comenzado a desarrollar mecanismos para compensar a los agricultores y forestales por los beneficios que la sociedad percibe de su gestión. Estos mecanismos, conocidos como Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE), incluyen acuerdos entre agentes privados así como pagos por parte de las instituciones, tales como las compensaciones previstas en el primer y segundo pilar de la Política Agraria Común (PAC). Un ejemplo podría ser que determinados cultivos y prácticas agrarias reciban financiación como contraprestación por la contribución de la agricultura al secuestro de carbono; o por el valor paisajístico que determinados sistemas agrarios (e.g. agricultura tradicional de arroz) o infraestructuras verdes dependientes de estos sistemas agrarios generan (e.g. bosques artificiales para la recarga de acuíferos).

En el capítulo se proporciona una primera aproximación al concepto de servicios ecosistémicos; se identifican las categorías de servicios ecosistémicos más relevantes en el caso de la agricultura de regadío; se discuten las metodologías de valoración existentes, y se ofrecen ejemplos de su aplicación; y se ofrecen ejemplos de prácticas para la gestión virtuosa de servicios ecosistémicos del regadío a nivel internacional a través de PSE.

El regadío y la mitigación del cambio climático (captura de CO_2)

Las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles están dando lugar a incrementos acelerados de la concentración del dióxido de carbono atmosférico (CO_2) que pueden ocasionar un calentamiento global y alteraciones en los patrones climáticos regionales. Debido a las previsibles consecuencias nefastas de estas alteraciones, la lucha contra del cambio climático se ha convertido en una prioridad de primer orden. La mitigación de este sólo puede lograrse mediante una reducción de las emisiones o aumentando la capacidad de los sumideros de carbono. Este último punto es el que nos interesa en este capítulo, ya que los sistemas agrícolas contribuyen al secuestro de CO_2 .

Todos los ecosistemas agrícolas contienen una cantidad de carbono capturado en la biomasa del cultivo y en forma de materia orgánica en el suelo, que es resultado de la descomposición de esta biomasa. La fotosíntesis es el proceso responsable de la entrada de carbono en la parcela, transformando CO_2 atmosférico en compuestos orgánicos que se incorporan a la biomasa del cultivo. Desafortunadamente, tanto las plantas como el resto de seres vivos (insectos, microorganismos, etc.) que habitan la parcela necesitan descomponer compuestos orgánicos para obtener energía. Este proceso, conocido como respiración, provoca que parte del carbono absorbido por el sistema retorne a la atmósfera en forma de CO_2 , y su importancia crece generalmente cuanto mayor sea el contenido de carbono de la parcela. Tanto la fotosíntesis como la respiración de los sistemas agrícolas varían en el tiempo de manera dinámica en respuesta a diferentes factores ambientales. Afortunadamente, cuando se calculan la fotosíntesis y la respiración total acumuladas a lo largo de un periodo de tiempo largo, la entrada de carbono en el sistema suele superar a la salida, si bien parte del carbono secuestrado en la biomasa del cultivo se cosecha y retornará a la atmósfera tras servir de alimento a personas y animales. En todo caso, el resultado de este balance determina cuán importante ha sido el secuestro total de CO_2 en la parcela en el periodo considerado. Ahora bien, ¿cuál es el efecto del riego sobre este balance?

Para realizar la fotosíntesis, las plantas absorben CO_2 a través de pequeñas aperturas denominadas estomas. El problema es que la entrada de CO_2 tiene un coste en forma de salida de agua en forma de vapor (transpiración). En condiciones de déficit hídrico, los estomas tienen la capacidad de cerrarse, evitando la deshidratación de los tejidos a cambio de reducir la fotosíntesis y, en consecuencia, el secuestro de carbono. El regadío evita el déficit hídrico, lo que permite mantener los estomas abiertos por más tiempo, aumentando la absorción de CO_2 . A la larga, esta situación ventajosa para el cultivo permite que produzca más biomasa (y cosecha, razón última del regadío) y mayor cantidad de residuos vegetales alimentarán el reservorio de carbono en la materia orgánica del suelo. Si bien es cierto que la respiración del sistema también aumenta en consecuencia, el efecto total del riego sobre el balance de carbono es positivo. El capítulo finaliza presentando un ejemplo en el que se cuantifica el efecto del riego sobre la captura de carbono en un olivar mediante el uso de un modelo de simulación.

Los regadíos ante el cambio climático

El cambio climático de forma paulatina va a producir efectos muy importantes que atañen al regadío. Podemos resumirlos en tres: una disminución de las lluvias y en consecuencia una reducción en la disponibilidad de recursos hídricos; un aumento de las necesidades de agua de los cultivos como consecuencia de la subida de las temperaturas y la variación de otros parámetros meteorológicos que incrementarán la evapotranspiración y por último un incremento en la frecuencia de fenómenos extremos: precipitaciones torrenciales y sequías.

El regadío español ya ha empezado a tomar medidas de adaptación y mitigación del cambio climático. La primera de ellas ha sido la relativa a la mejora de la eficiencia del riego a través de los procesos de modernización de las zonas regables. Esto ha supuesto que en el período 2002 - 2016 se hayan producido importantes ahorros tanto en el consumo total (12,5 %) como en el consumo unitario (18,24 %). A ello han contribuido también la instalación de redes de control mediante la instalación de estaciones agrometeorológicas (Red SIAR) para determinar los valores de la ETo, como la de redes de control de la calidad del agua de riego (RECAREX en Extremadura) para estimar el grado en que los regadíos contaminan las masas de agua.

El regadío está actuando para mejorar la eficiencia energética y disminuir el coste de la energía mediante la instalación de plantas fotovoltaicas por las comunidades de regantes en las estaciones de bombeo. De igual modo se desarrollan nuevas técnicas de fertirrigación y uso de fertilizantes para reducir las emisiones de N₂O (Óxido nitroso) o NO_x (= NO + NO₂). La fertirrigación y el uso de nuevos tipos de abono permitirán reducir las emisiones y la lixiviación de nitratos hacia los acuíferos subterráneos evitando su contaminación y ahorrando costes al regante. Ha de destacarse la importancia de los regadíos como sumideros de CO₂ y su versatilidad para la producción de alimentos muy por encima del secano.

Un aumento de las estructuras de regulación de agua para hacer frente a las nuevas condiciones y la mejora de los cauces y redes de drenaje se revelan como actuaciones muy importantes para adaptar los regadíos a la nueva situación que comporta el cambio climático.

Durante la pandemia del coronavirus, los regadíos están demostrando junto al sector agrario y agroalimentario su carácter estratégico para asegurar la alimentación de la población y el suministro de productos para su transformación. Y como conclusión final hemos de poner en valor que además de ser un elemento de mitigación del cambio climático los regadíos en España aseguran la alimentación de la humanidad, sus producciones son un componente muy destacado en las exportaciones, crean rentas y generan empleos, fijan la población en los territorios y son la base de la industria agroalimentaria.

El regadío y el binomio agua –energía en la transición energética

El gran patrimonio de infraestructuras hidráulicas y de regadío en España, conseguido con mucho esfuerzo por las generaciones precedentes, adquiere ahora mucho más valor que se ve aumentado porque la actual crisis nos ha enseñado que la mejor medida para paliar sus efectos negativos es producir bienes y servicios en el propio país, en definitiva, ser más sostenibles y resilientes.

España no es sostenible en el complejo agroalimentario (agricultura+ ganadería+ industria de alimentación). Aunque la balanza comercial agroalimentaria es favorable, en términos de “agua virtual” España no es capaz de alimentar a su población y a los turistas que nos visitan ya que necesita importaciones masivas, sobre todo de cereales- pienso. Por lo tanto, los regantes no deben ser considerados como depredadores del medioambiente, sino que contribuyen a la sostenibilidad alimentaria de este país.

Energéticamente la insostenibilidad de España es más manifiesta. La dependencia energética es del 73,9% por lo que transferimos esa insostenibilidad a otros países con la importación masiva de energía fósil. Las obras hidráulicas y el regadío están muy ligados a la gestión energética de España. El gran patrimonio hidráulico de embalses y balsas ha favorecido la sostenibilidad energética y alimentaria de España.

Ante la transición energética, la simple producción de electricidad es un problema resuelto con energías renovables. Las subastas mundiales con precios entre 20 y 30 EUR/MWh nos muestran que producir electricidad es barato. El almacenamiento de energía para poder gestionar la oferta y la demanda de electricidad no está resuelto y en este sentido los embalses de regulación y las centrales de bombeo son el gran vector de estabilización de red eléctrica. El 99,4 % del almacenamiento a gran escala en el mundo se realiza con agua, con más de 100 grandes centrales de bombeo en construcción.

En España el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima prevé prácticamente duplicar la capacidad de almacenamiento para el año 2030 y para ello tanto las Confederaciones como las Comunidades de Regantes tienen una función esencial. Las Comunidades de Regantes por su parte, tienen el reto de modernizar las infraestructuras de agua para adaptarlas a la nueva gestión energética. Muchas de las actuaciones a realizar de almacenamiento de agua y energía son rentables y pueden amortizarse entre 10 y 12 años.

La gestión eléctrica con predominio de energía eólica y solar no predecibles se parecerá cada vez más a la gestión del agua, que pasa de sequías e inundaciones en cortos periodos de tiempo. En este sentido, el modelo de gestión público - privada del agua a través de Confederaciones y Comunidades de Usuarios, que tiene un reconocimiento mundial, pueden ser extrapolable a la transición energética. Por ello tanto las Confederaciones como las Comunidades de Regantes son un gran patrimonio organizativo importante para la dinamización de la transición energética.

Aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el regadío

El objetivo de alimentar a 9000 millones de personas en 2050 únicamente será factible con una agricultura sostenible de precisión basada en el regadío. Uno de los principales objetivos del regadío español es hacer totalmente compatible su actividad con el medioambiente al objeto de garantizar el buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua tanto superficiales como subterráneas. Este objetivo se está consiguiendo mediante una gestión basada en la modernización de las infraestructuras de transporte y distribución, de los sistemas de aplicación de agua en parcela y mediante la implementación de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (TICs), el análisis de Big Data y el Internet de las cosas (IoT) en la agricultura. A una escala de Comunidad de Regantes (CCRR), la incorporación de las TICs e IoTs se está realizando principalmente mediante el empleo de (i) sistemas de información geográfica (SIG), (ii) sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), (iii) sistemas de soporte a la decisión (SSD), (iv) aplicaciones Web y App para telefonía móvil y (v) uso de redes sociales.

En CCRR como la del Campo de Cartagena, la modernización con estas tecnologías ha supuesto una reducción importante en el consumo de energía, que ha derivado en una reducción de los costos totales en comparación con el escenario de referencia antes de la modernización y en efectos sociales positivos muy notables. A nivel de parcela, la optimización del uso del agua se está consiguiendo mediante el empleo de servicios de asesoramiento en la toma de decisiones al regante, el uso de técnicas para reducir la aplicación de agua y fertilizantes al cultivo como el riego de precisión, el riego deficitario controlado y la desecación parcial de la raíz y la implementación de equipos y dispositivos que permiten controlar el estado hídrico del suelo y del cultivo. Entre los más representativos para determinar el estado hídrico del suelo se encuentran los tensiómetros y las sondas de humedad. En el caso del cultivo, la cámara de presión que determina el potencial hídrico, el dendrómetro que registran variaciones de grosor del diámetro de un tronco o rama, la medida del flujo de savia como indicador de la transpiración y el uso de drones con cámaras térmicas y espectrales instaladas y la teledetección.

Una correcta tecnificación del riego permite incrementar la rentabilidad de las explotaciones y minimizar el impacto ambiental de la actividad. La implantación de sistemas de riego inteligente está siendo fundamental para garantizar la sostenibilidad de la agricultura de regadío y la alimentación de la población, y de este modo alcanzar el equilibrio entre la intensificación sostenible de la producción alimentaria de calidad y la adaptación al cambio climático.

1- **Presentación**

Julio Berbel Vecino

Este libro aporta una visión positiva del riego en tiempos en los que solo nos llega críticas de una sociedad que no comprende la naturaleza de la agricultura en general ni del riego en particular.

El primer trabajo analiza el efecto positivo en el paisaje. Luciano Mateos aborda los valores paisajísticos del riego y su consideración como patrimonio cultural metededor de reconocimiento y protección. Planteamiento que no ha calado todavía en la sociedad española como describe Silva-Pérez (2009) analizando el proceso por el que la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español sigue centrada en los elementos más emblemáticos de las ciudades (monumentos, edificios,) aunque se abre a otro patrimonio como son jardines (Alhambra y Generalife, 1994) pero sin reconocer todavía el valor de paisajes agrarios. Esta visión elitista del patrimonio se manifiesta sí mismo en la protección de reservas naturales (ley sobre la creación de un parque público (1916)) que protegen paisajes poco transformados. La cultura en desarrollo de las raíces urbanas rechaza aquellos bienes que consideran groseros y vulgares (lo rural) procediendo a deslegitimar la agricultura. Esperemos que este trabajo ayude a abrir las mentes de los ideólogos de la cultura para que conecten de verdad con nuestras raíces y no se limiten a los edificios más o menos en ruinas.

El análisis socioeconómico del impacto positivo del riego se lleva a cabo desde tres puntos de vista. En primer lugar, el regadío y la seguridad alimentaria, en segundo lugar, el impacto en el desarrollo regional y, por último, el efecto en la microeconomía (agricultor) y en la macroeconomía (cuentas nacionales). En regadío español se ha beneficiado mucho de la apertura de mercados, como veremos en estos tres trabajos, nuestra entrada en la UE ha permitido que se desarrollen nuestras ventajas competitivas y que se haya generado un sector agroindustrial de carácter exportador y de alto valor. Al escribir estas líneas estamos inmersos en la crisis derivada del impacto de COVID19, y la necesidad de unos sectores nacionales potentes y la respuesta del sector agroalimentario español ha sido espectacular, pero como veremos en estos tres trabajos, ese sector competitivo ha sido posible fundamentalmente por la existencia del regadío.

Se inicia este grupo de trabajos socioeconómicos con el tercer capítulo que trata del regadío y la seguridad alimentaria. Alfonso Expósito estudia la evolución desde los años 60' hasta hoy del crecimiento de la producción agraria española y su relación con el uso de la tierra, trabajo y agua como los tres factores de producción clave. El análisis muestra el papel crucial de la disponibilidad de agua de riego en la producción final agraria nacional y en la garantía de la seguridad alimentaria en España. Los tres factores de la producción contribuyen al éxito de la agricultura española: un trabajo cada vez más cualificado y productivo, unas mejoras agronómicas que aumentan la productividad de la tierra y todo ello apoyado por el riego como elemento clave que hace posible que la producción de alimentos de alto valor tenga lugar en una tierra con limitaciones climáticas como el nuestro.

El capítulo cuarto, escrito por Amparo Melián y Joaquín Melgarejo analiza los factores que hacen del regadío uno de los pilares básicos del desarrollo rural y regional comprobando que la densidad de población crece significativamente en función de la superficie regada, existiendo así mismo mayor proporción de jóvenes y mujeres. La presencia de regadío influye positivamente en la creación de industrias auxiliares, servicios, construcción, infraestructura y en todos los indicadores de la actividad económica.

Por último, Jose A. Gómez-Limón y Carlos Gutiérrez-Martín analizan la micro y macroeconomía del regadío español. En la microeconomía vemos como el regadío genera más empleo que el secano, con una mayor productividad del trabajo, una menor estacionalidad del mismo y, además, induce un empleo indirecto muy significativo.

Hasta este momento, si el lector ha tenido paciencia hemos ido desgranado los efectos positivos en el paisaje, la microeconomía, la economía regional, la nacional y la seguridad alimentaria. Los sistemas agrícolas por una parte se benefician de servicios que los ecosistemas le prestan 'gratis' como por ejemplo la polinización, el control biológico de plagas, la fertilidad del suelo, el ciclo de nutrientes y del agua. Pero esta es una calle de doble dirección ya que la agricultura devuelve a la naturaleza y a la sociedad una amplia variedad de servicios ecosistémicos, tales como la regulación de la calidad del suelo y del agua, el secuestro de carbono, el apoyo a la biodiversidad y los servicios culturales. AL carecer de un mercado (como sí que ocurre para los alimentos o los insumos), los servicios ecosistémicos que la agricultura recibe y que devuelve no son sencillos de evaluar. Dionisio Pérez- Blanco hace una presentación de este novedoso concepto y algunos ejemplos de valoración social del regadío que arrojan unas cifras positivas e importantes para ejemplos internacionales y que esperemos que pronto sean acompañadas por trabajos en España.

Entre los servicios ecosistémicos que detalla el capítulo sexto, se cita la captura de carbono, tema que tiene una alta complejidad científica. El trabajo de Luca Testi y Álvaro López Bernal analizan de manera sencilla pero eficaz la contribución de la agricultura de riego a la captura de carbono. Según las últimas estimaciones disponibles del Inventario de Emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI) en España, la agricultura supone el 12% del total de las emisiones, de las cuales, dentro del sector, la ganadería supone el 67%, el arroz el 2% y el resto de la agricultura (uso del suelo, abonado, mecanización etc.) el restante 32%. Estos datos se basan en una metodología estándar del IPPC y en la norma ISO 14064:2006, pero es muy probable que no reflejen la realidad de nuestra agricultura al basarse en datos aproximados y globales. Aplicando esta metodología Espada-Carbó (2013) estima que los frutales de Aragón tienen una captura neta de CO_2 de unas 660.000 toneladas anuales (equivalente a la generación de unos 287.500 ciudadanos).

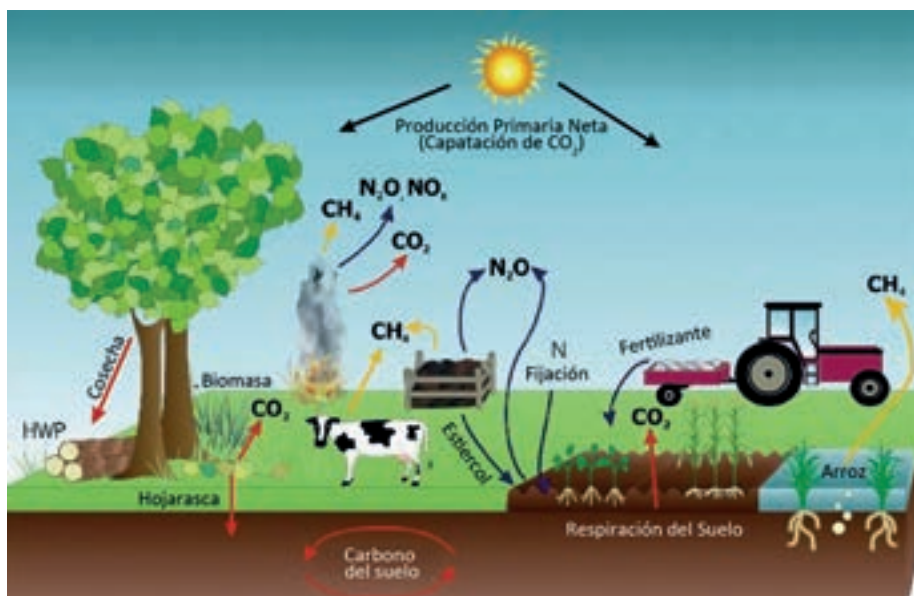


Figura 1 Emisión y captura de GEI por agricultura. Fuente IPPC

No obstante, los datos que se están usando para elaborar los inventarios de GEI pueden no reflejar la realidad de nuestra agricultura y de nuestro riego. El problema es complejo y la medición de las emisiones y capturas por parte de cualquier ecosistema requiere de instrumental sofisticado y de un trabajo de campo muy complejo. Por ello se apoyan en modelos de simulación para llegar a determinar que en el cultivo de olivar que es probablemente el cultivo de riego perenne más extendido de España el olivar de riego inmoviliza de manera permanente un volumen de CO_2 sensiblemente superior al del secano, contribuyendo de este modo a la mitigación del efecto invernadero. Estos datos hay que tomarlos no obstante con precaución no porque dependen mucho de prácticas culturales como tipo de laboreo o gestión del abonado, no obstante, son un primer avance de una línea de trabajo muy importante para el regadío y de este modo poder argumentar con base científica lo que estos primeros trabajos preliminares ya avanzan, y es la existencia de una captura neta importante de GEI por frutales de riego.

José Ignacio Sánchez en el capítulo octavo repasa los desafíos del regadío frente al cambio climático tanto como elemento de mitigación del cambio climático, como garantía alimentaria como por la necesidad de adaptarse a los cambios que nos plantea un planeta más cálido y una atmósfera con mayor contenido de gases de efecto invernadero.

Entre los mecanismos por los que la agricultura de riego puede por una parte adaptarse al cambio climático y por otra contribuir a la mitigación del mismo está el empleo de fuentes renovables y contribuir a la transición energética. Este tema es el objeto del capítulo noveno que desarrolla Miguel Omedas. La nueva transición energética demanda además sol, agua y espacio de los que dispone el regadío para convertirse en actor fundamental que contribuya a la mitigación del cambio climático sin perder su razón de ser que es la seguridad alimentaria y su papel como vertebrador del mundo rural.

Esta transición es necesaria porque como explica el trabajo, hay muchos puntos de sinergias entre el regadío y la gestión de redes de energía. Además, es de todos conocida el aumento de energía derivado del proceso de modernización. La figura 2 recoge un análisis muy interesante ya que vemos como el agua extraída va creciendo (eje de abscisas) hasta el año 2004 que marca el máximo a partir del cual la modernización empieza reducir las extracciones de agua para riego. Mientras tanto, el consumo de energía para riego se duplica en el periodo (2000-2017) como resultado de la modernización, reduciéndose en el mismo periodo el uso de agua en agricultura.

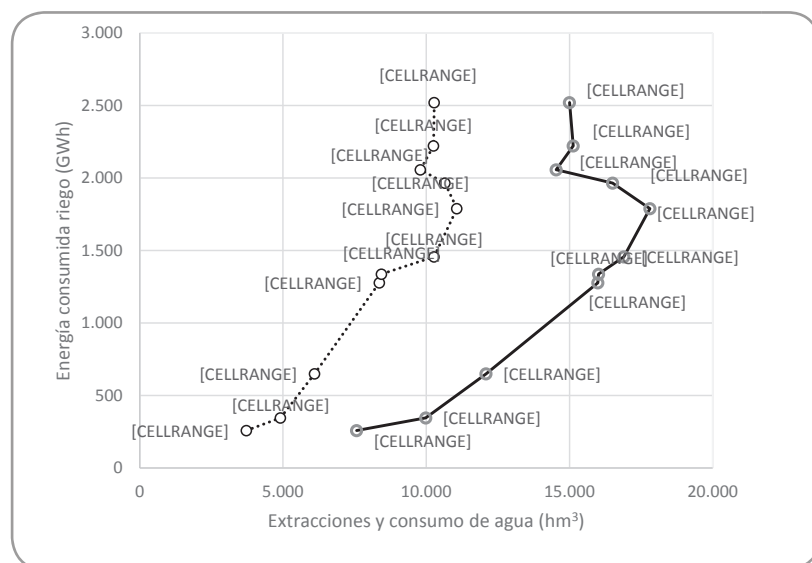


Fig. 2: Estimación de extracciones y consumo de agua de riego 1950-1917.
Fuente: Espinosa et al (2020)

La modernización junto a una reducción de extracciones de agua, y una mejora de la calidad de los retornos que según estimaciones reducen su volumen de sales y nutrientes exportados a un 20% de la situación previa como consecuencia de la mejora de eficiencia (Berbel et al. (2019), contribuyendo significativamente a la mejora cualitativa y cuantitativa de las masas de agua. La modernización ha permitido ampliar el rango de cultivos e implementar una agricultura de precisión de la que se ocupa el siguiente capítulo.

Con la finalidad de adaptarse a una escasez creciente del recurso y un mejor aprovechamiento del agua, José Maestre y Mariano Soto presentan las tecnologías de la información comunicaciones (TIC) y su contribución a la mejora de eficiencia del riego. El 'riego inteligente' es clave para un regadío sostenible capaz de alimentación a la población y adaptarse al cambio climático.

El libro termina con unas conclusiones y propuestas de futuro para el regadío español.

Referencias

Berbel, J., Expósito, A., Gutiérrez-Martín, C., & Mateos, L. (2019). Effects of the irrigation modernization in Spain 2002-2015. *Water resources management*, 33(5), 1835-1849.

Espada-Carbó, J. L. (2013). Los árboles frutales como sumideros de CO₂ desempeñan un importante servicio ambiental. In D. G. d. Aragón (Ed.), (pp. 12). Zaragoza: Diputación General de Aragón. Dirección General de Desarrollo Rural. Servicio de Programas Rurales.

Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., & Gutiérrez-Martín, C. (2020). Energized water: Evolution of water-energy nexus in the Spanish irrigated agriculture, 1950-2017. *Agricultural Water Management*, 233, 106073.

Silva-Pérez, R. (2009). Agricultura, paisaje y patrimonio territorial: los paisajes de la agricultura vistos como patrimonio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(49), 309-334.

2- El regadío y el paisaje

Luciano Mateos

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la tierra se divide en campos individuales que son unidades de gestión y producción. En términos ecológicos, las plantas que ocupan esos campos forman una comunidad que, con su medio ambiente, constituye un nuevo ecosistema. La labor del agricultor consiste en controlar este ecosistema para su propio beneficio (Connor y cols., 2011). Este control ha supuesto la transformación del paisaje más extensa y prolongada en la historia de la humanidad. El inicio de la agricultura se remonta 10.000 años atrás (Cubero, 2018). Desde entonces, hombre y agricultura han evolucionado solidariamente. Los paisajes culturales son el testimonio de la larga interacción de la humanidad con la tierra. Hasta tal punto pueden ser valiosos los paisajes agrícolas, que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) lanzó en 2015 una alianza global para la conservación y gestión adaptativa de “Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM)”¹.

Si hubiera que destacar un desarrollo tecnológico que haya contribuido a moldear el paisaje agrícola, ese sería seguramente el riego. El regadío de la Huerta de Valencia está catalogado en el SIPAM, como lo están los jardines flotantes de Bangladesh, los arrozales abancalados chinos, la agricultura andina, las chinampas mejicanas, los oasis “Ghout” argelinos, los qanats iraníes de Kashan, entre otros agroecosistemas vertebrados por redes hidráulicas que han merecido reconocimiento.

Las obras antiguas de transformación a regadío fueron progresivas y de carácter comunitario (Mabry, 2007) o producto del “despotismo hidráulico” (concepto desarrollado por Wittfogel, 1957) en civilizaciones antiguas. El impacto social y ecológico de estas últimas fue mayor que el de las primeras, aunque el tiempo hizo que se asimilaran al paisaje y acabaran constituyendo el paisaje mismo. Algo parecido ocurrió con regadíos contemporáneos, cuyo origen tuvo facetas traumáticas, pero hoy sustentan el paisaje fértil y vivo de comarcas tan extensas como el Bajo Guadalquivir o las Vegas del Guadiana.

Recuadro 1

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha declarado (26/11/2019) el “Regadío histórico de l’Horta de València” Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM). Esta figura fue creada por la FAO en 2002 para promover y garantizar el futuro de sistemas agrícolas tradicionales que han modelado paisajes estéticamente impresionantes y que combina la biodiversidad agrícola con ecosistemas resilientes y un valioso patrimonio cultural. Todo ello busca el impulso de estas regiones en base a la consideración de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la económica, la social y la medioambiental.

¹ <http://www.fao.org/giahs/es/>

El "Regadío histórico de l'Horta de València" se suma a los reconocimientos ya obtenidos por el "Valle Salado de Añana" (Álava), la "Uva pasa de la Axarquía" (Málaga) y los "Olivos milenarios del Territorio Sènia. L'Horta de València es uno de los paisajes de huerta mediterránea más relevantes de Europa, un espacio de valores productivos, ambientales, culturales y visuales probados, a pesar de las presiones de la urbanización. Su inclusión en el catálogo es el resultado de:

a) una estructura histórica que data de hace siglos, basada en una red de riego (acequias), caminos rurales, alquerías, etc. que definen su patrimonio físico;

b) un sistema agrícola, agrodiverso en cultivos mediterráneos, que se origina y coexiste con esta estructura;

c) una cultura hidráulica representada por reglas milenarias de uso del agua, heredadas de la época medieval y gobernadas por instituciones como la Real Acequia de Moncada y el Tribunal de las Aguas, institución reconocida como Patrimonio Inmaterial de la Humanidad.

d) un sistema hídrico que, en su parte sur, fluye hacia el Parque Natural de la Albufera, donde el arroz y la pesca artesanal contribuyen a un sistema biodiverso, vivo y, a la vez, vulnerable

Fuese cual fuere su origen, los regadíos dan lugar a paisajes diversos. Los mosaicos que forman los campos de cultivo suelen ser más variados en el regadío que en el seco. Si no lo son, como ocurre en zonas arroceras, su visión desde el cielo parece más la de tejidos celulares a través del microscopio que la de campos cultivados. Otras veces, los paisajes del regadío son lineales, articulados por caminos, acequias y canales. La tridimensionalidad del paisaje del regadío destaca sobre todo cuando está abancalado. Pero donde más se concentra la estética del paisaje transformado es en los huertos y oasis vivificados por el riego, y en los molinos, norias, aceñas, que jalonan las acequias y hoy son patrimonio hidráulico esencia del paisaje cultural del riego (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2002).



Figura 1. Acequia de Busquistar (izda., arriba), acequia del Corazón en Jérez del Marquesado (dcha., arriba) y acequias en el Barranco del Goterón (abajo), Sierra Nevada, Granada

PAISAJES LINEALES

El regadío que usa recursos de aguas superficiales requiere transportar esa agua desde la fuente a los campos regados. Los musulmanes fueron maestros en esta técnica ya en la Edad Media. La Huerta de Valencia, mencionada arriba como SIPAM, es ejemplo vivo de aquella herencia. También lo es la extensa red de acequias de riego y careo que surcan Sierra Nevada y otras muchas montañas de España. Aquellos esfuerzos laboriosísimos para interceptar el agua del deshielo y conducirla a bancales y vegas dio lugar a paisajes pintorescos que hoy atraen visitantes de todo el mundo (Guzmán Álvarez y Navarro Cerrillo, 2010). Las acequias rezuman agua que da vida a bosques de galería formados por castaños, álamos, sauces, alisos, servales. Cuando sus hojas brotan en primavera, cuando tornan de color en otoño o cuando quedan desnudas en invierno, su trazo destaca entre encinares, robledales o pinares (Figura 1). Otras veces, las acequias dan vida a cortinas verdes que cuelgan de su fina línea, proveyendo sustento a ganado que malamente sobrevivirían en estas montañas sin el pasto que asegura el riego.

Estas líneas de paisaje se tornan majestuosas cuando bajan al llano. La ingeniería de los ilustrados nos legó anchos canales en la meseta o bordeando vegas como la del Ebro; canales que todavía hoy riegan campos extensos y asombran al visitante. El Canal de Castilla (Figura 2), que fue vía de navegación comercial y fuerza motriz de molinos harineros y batanes, conserva de sus usos originales solo el riego, mientras que su belleza y patrimonio hidráulico lo han convertido en un recurso turístico.

La modernización del regadío ha borrado muchas de aquellas líneas del paisaje al sustituir las acequias por tuberías enterradas. Pero los canales principales se han mantenido, y por tanto nuestra obligación de conservarlos y la oportunidad de embellecerlos como hicieron nuestros antepasados. Las estaciones de bombeo que ahora se conectan a estos canales son la manifestación más llamativa de la ingeniería moderna del riego, pero también un espacio oportuno para crear motas de paisaje que jalonen los canales (Figura 2).



Figura 2. Canal de Castilla (dcha., fotografía de JM Abolaño) y canal del Genil-Cabra (Córdoba) con estación de bombeo.



Figura 3. Vega de Órgiva (Granada)

MOSAICOS

La profunda transformación que la agricultura incurre en el paisaje natural acaba necesariamente en un mosaico de campos. Cuando esos campos se riegan, su diversidad es mayor, en el tiempo y en el espacio, sus bordes se rellenan mejor, el territorio se reorganiza, el paisaje cambia (Figura 3). El paisaje natural se convierte en un paisaje del regadío adaptado a la técnica y a la nueva cultura.

La configuración del paisaje del regadío se aprecia mejor desde el cielo (Figura 4). Los satélites y los sensores que albergan nos permiten observarlos no sólo en las bandas del espectro electromagnético visibles al ojo humano, sino también a través de otras bandas (Figura 4). La teledetección ha abierto caminos inéditos de exploración del regadío que nos muestran sus paisajes interiores y nos ayudan a gestionarlos mejor (Navarro Soriano y cols., 2019).



Figura 4. Ortofotografía de 2016 (izda.) e imagen del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de julio de 2019 (dcha.) de un fragmento del Bajo Guadalquivir. En el norte destaca en tonos rojos el monocultivo de arroz, y en el sur este, el mosaico de cultivos del Sector BXII del bajo Guadalquivir (Sevilla).



Figura 5. Paisaje abancalado, Oanes (Almería)

PAISAJES ESCALONADOS

Los paisajes agrícolas escalonados, son quizás la transformación más total que el regadío ha producido en el paisaje. El aprovechamiento del agua erogada de ríos o vertientes es más fácil si se transporta a través de las laderas mediante acequias que siguen las curvas de nivel. En su camino, se abre en boqueras que alimentan los bancales más altos, o se deriva por ramales e hijuelas que se despeñan de terraza en terraza para alimentar andenes inferiores. El agua discurre por cauces artificiales,

pero también percola libremente por los muros o balates que sujetan los bancales, alimentándose los de aguas abajo con los sobrantes de los de aguas arriba.

Ese conjunto de acequias, muros de piedra seca, terrazas cultivadas, lindes arboladas, se repite en la cuenca mediterránea, en la península arábiga y el este de África, en Asia, en toda América, en el Pacífico. Los andenes andinos y los arrozales abancalados chinos son ejemplos reconocidos como SIPAM que van mucho más allá de meros paisajes; son paradigmas de ecología cultural del riego (Mateos y cols., 2010), donde el paisaje es sólo un aspecto de ecosistemas que conjugan tecnologías sostenibles, comunidades resilientes y organizaciones sociales arraigadas que vale la pena observar y aprender de ellas. Y no menos valiosos son ecosistemas parecidos que se repiten en las montañas de buena parte de España. Valga como ejemplo la siembra y cosecha de agua que pervive en el agro-hidro-sistema de las Alpujarras. Las acequias de mayor cota riegan los escalones superiores o carean el agua fundida de la nieve a acuíferos someros abiertos en manantiales a cotas bajas. Estos manantiales suministran pueblos o acequias que riegan bancales inferiores y vegas. Este paisaje extendido por el riego esconde además una regulación hidrológica singular, hoy redescubierta como modelo de gestión integrada del agua (Martos-Rosillo y cols., 2019).



Figura 6. Izda.: Borreguil en Sierra Nevada (Granada). Dcha. (Fotografía de R. Mateos): Huerto en Nestares (La Rioja)

HUERTOS Y OASIS

El huerto era el lugar bucólico donde los poetas del renacimiento colocaban sus personajes enamorados. El huerto de Calixto y Melibea es actualmente un jardín de estilo romántico en la ladera de la antigua muralla salmantina, a los pies del Río Tormes. Romanticismos aparte, sean borreguiles en las cumbres de Sierra Nevada, antiguas huertas junto a un pueblo, o huertos urbanos, tan de moda hoy en día, nadie escapa a las evocaciones de estos fragmentos del paisaje vivificados por el riego (Figura 6).

Decía Fray Luis de León en su Vida Retirada:

*Del monte en la ladera
por mi mano plantado tengo un huerto,
que con la primavera
de bella flor cubierto,
ya muestra en esperanza el fruto cierto.
que del oro y del cetro pone olvido.*

*Y como codiciosa
de acrecentar su hermosura,
desde cumbre airosa
una fontana pura
hasta llegar corriendo se apresura.*

*Y luego sosegada
el paso entre árboles torciendo,
el suelo de pasada
de verdura vistiendo,
y con diversas flores va esparciendo.*

*El aire el huerto orea,
y ofrece mil olores al sentido,
los árboles menean
con un manso ruido*

MÁQUINAS Y ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL RIEGO, PATRIMONIO HISTÓRICO Y PRESENTE

La larga historia del regadío y el esmero de quienes la hicieron también nos ha deparado un patrimonio de arquitectura y estructuras hidráulicas admirables. Presas y acueductos que las antiguas civilizaciones construyeron para el riego perduran como monumentos históricos, algunos en pie y, menos, en uso. Los puquios de Nasca y los qanats en los países mediterráneos y de Oriente Próximo son reminiscencias visibles de grandes obras excavadas y construidas para el riego. En nuestros campos, todavía encontramos algunas norias fluviales y los restos de muchas norias de sangre, la mayoría destartaladas y herrumbrosas, patrimonio hidráulico del riego y recuerdo de otros paisajes (Figura 6). Estos ingenios elevadores de agua tienen su parangón moderno en estructuras que salpican el territorio agrícola y empiezan a formar parte del paisaje. Nos referimos a las torres coronadas por paneles fotovoltaicos que, en medio del campo, evidencian riego solar, y nos referimos también a las nuevas plantas fotovoltaicas que producen energía para presurizar el agua en las zonas regables modernas (Figura 7). Del esmero del agricultor y del ingeniero modernos dependerá que estos nuevos elementos se integren graciosamente en el paisaje, como lo hicieron sus respectivas antecesoras, las norias de sangre y las norias fluviales.



Figura 7. Izda. Arriba: Noria de sangre en Monsanto (Portugal). Dcha. Arriba: Las Grúas, El Carpio (Córdoba). Izda. Abajo: Paneles solares para riego de olivar en La Carlota (Córdoba). Dcha. Abajo: Planta solar en la Zona Regable Valle Inferior (Sevilla) (Fotografía de la Comunidad de Regantes Valle Inferior).

UN LLAMAMIENTO FINAL

La conservación del patrimonio agrícola es un campo emergente que ofrece oportunidades para integrar los valores patrimoniales en las estrategias ambientales, socioeconómicas y de sostenibilidad del mundo rural (Schmitz y cols., 2005). Aunque las zonas de regadío son representaciones icónicas de comunidades rurales, los programas de modernización han prestado poca atención a su patrimonio cultural y paisajístico. Mitchell y Barrett (2015) y Martín-Civantos (2019) argumentan que es el momento de considerar este patrimonio como una parte integral de las estrategias de adaptación a los cambios globales, sean demográficos, climáticos o de mercado.

Los paisajes del regadío son un legado que los profesionales del regadío tenemos que conservar. Los proyectos de modernización del regadío han ido acompañados de estudios de impacto ambiental (San Sebastián Sauto y cols., 2007). Ahora toca ir más allá. Hay conocimiento y herramientas para hacer paisaje (ej., de Andrés y cols., 2002). Cuidar la vegetación de los cauces, arbolar las orillas de los caminos, crear sotos o bosques isla en zonas improductivas, plantar setos cortavientos u ornamentales, cuidar la arquitectura de las infraestructuras del regadío son acciones que requieren más sensibilidad que inversión. En la multifuncionalidad del regadío, el paisaje ha sido y queremos que siga siendo su efecto beneficioso más vistoso.

Referencias

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2002) Patrimonio histórico hidráulico de la cuenca del Guadalquivir. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Sevilla.

Connor, DJ, Loomis, RS, Cassman, KG (2011) Crop Ecology. Productivity and Management in Agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge.

Cubero, JI (2018) Historia general de la agricultura. De los pueblos nómadas a la biotecnología. Guadalmazán, Córdoba.

De Andrés Camacho, C, Cosano Porras, I, Pereda López, N (2002) Manual para la diversificación del paisaje agrario. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. Guzmán Álvarez, JR, Navarro Cerrillo, R (Coords.) (2010) El agua domesticada. Los paisajes de los regadíos de montaña de Andalucía. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.

Mabry, JB (2007) Irrigation, short-term sedentism, and corporated organization during the San Pedro Phase. En: Mabry J (ed.): Early Irrigation and Sedentism in a Southwestern Floodplain. Draft Report, Anthropological Papers no. 28, Center for Desert Archeology, Tucson, Arizona, pp. 294-327.

Martín-Civantos, JM (2018) Water management and irrigation systems in the medieval Mediterranean. En: Sulas F y Pikirayi, I (eds.): Water and Society from Ancient Times to the Present: Resilience, Decline, and Revival. Routledge, Taylor & Francis Group, Londres y Nueva York, pp. 87-114.

Martos-Rosillo, S, Ruiz-Constán, A, González-Ramón, A, Mediavilla, R, Martín-Civantos, JM, Martínez-Moreno, FJ, Jódar, J, Marín-Lechado, C, Medialdea, A, Galindo-Zaldívar, J, Pedrera, A, Durán, JJ (2019) The oldest managed aquifer recharge system in Europe: new insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). Journal of Hydrology 578: 124047.

Mateos, L, Martínez-Saldaña, T, Palerm, J (2008) Ecología cultural del riego: una estrategia de investigación. Workshop Iberoamericano "Tecnologias de Informação e Comunicação para a Modernização e Valorização dos Sistemas de Irrigação Ancestrais". Noviembre 2008, Florianópolis, Brasil.

Navarro Soriano, E, Mateos, L, Parias Fernández de Heredia, P (2019) Mosaicos de regadío (ad)mirados a 786 km de altura. 22ª reunión del Taller del Consejo de Europa para la implementación del Convenio del Paisaje del Consejo de Europa y Congreso Internacional "Agua, paisaje y ciudadanía ante el Cambio Global", Sevilla 14,15 y 16 de marzo, 2019. pp. 264-267.

Mitchell, NJ, Barrett B (2015) Heritage Values and Agricultural Landscapes: Towards a New Synthesis. *Landscape Research* 40:701-716, DOI: 10.1080/01426397.2015.1058346
San Sebastián Sauto, J, García Asensio, JM, Hidalgo Treviño, N, Ajo Villagra, MJ (2007). Guía sobre evaluación de impacto ambiental de proyectos de regadío. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Schmitz, MF, Pineda, FD, Castro, H, de Aranzabal, I, Aguilera, P (2005) Cultural landscape and socioeconomic structure. Environmental value and demand for tourism in a Mediterranean territory. *Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.*

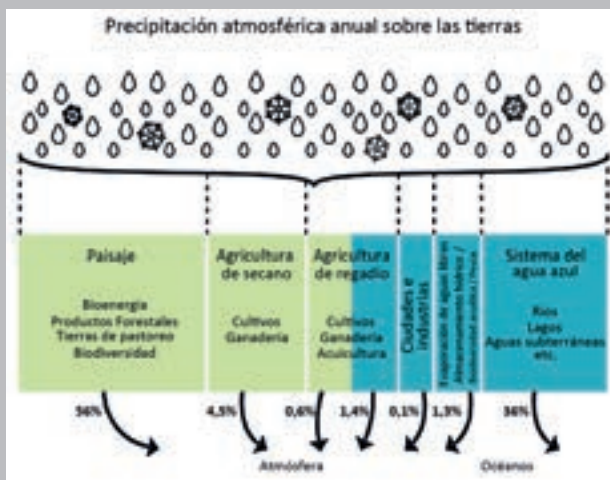
Wittfogel, KA (1957). *Oriental Despotism*, New Haven, Yale University Press. Traducción de Francisco Presedo, *Despotismo oriental: estudio comparativo del poder totalitario*; Guadarrama, Madrid 1966. ISBN 84-250-5201-7

Alfonso Expósito

En el contexto actual, al hablar del concepto de seguridad alimentaria nos solemos plantear la siguiente pregunta: ¿Seremos capaces de producir suficiente alimento para atender las necesidades futuras de una población en constante crecimiento y en un contexto de cambio climático? La Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1996 (FAO, 2011) definió la seguridad alimentaria como “cuando todas las personas en todo momento tengan acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para mantener una vida sana y activa”. Esto significa que se debe mantener una provisión de alimentos cuantitativa y cualitativamente adecuada de forma sostenida en el tiempo, y garantizando que todos los miembros de la sociedad tengan acceso a estos alimentos.

En un contexto global de incertidumbre debido a factores como el cambio climático, el crecimiento exponencial de la población y la variabilidad de precios agrarios, un desafío importante para la agricultura es proporcionar un suministro sostenible y seguro de alimentos. Se pronostica que la población mundial crecerá por encima de los 9 mil millones para el año 2050, y que la demanda de alimentos aumentará en un 50% para 2030 y entre un 80-100% para 2050 (FAO, 2012). En este contexto, una mayor seguridad alimentaria mundial será imposible si la utilización de los recursos agrícolas no es sostenible, e incluso siendo necesario hacerlo utilizando menos recursos, como tierras de cultivo y agua (FAO, 2002). El fenómeno del cambio climático afectará el alcance y la productividad de la agricultura de regadío y de secano en todo el mundo, aumentando la demanda de agua de los cultivos y disminuyendo la productividad de los cultivos en muchas regiones. Además, se pronostica que más de la mitad de la población mundial vivirá en regiones con escasez de agua en el año 2050, lo que agravará la capacidad del sector agrario para el abastecimiento de alimentos (Schlosser et al., 2014).

La OCDE prevé que, en el supuesto de que no cambien las condiciones actuales, la demanda mundial de agua aumentará aproximadamente en un 55 % para 2050 y más del 40 % de la población que vive en cuencas fluviales en todo el mundo experimentará grave estrés hídrico. La agricultura de secano y de regadío son partes de un todo, con interacciones en sentido continuas. Todas las formas de agua disponible son importantes para la agricultura y la seguridad alimentaria.



La agricultura consume o evapotranspira alrededor de 7 130 km³ de agua - 5 560 km³ de los cuales proviene directamente de las precipitaciones y 1 570 km³ del riego, HLPE, 2015. Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición, Roma 2015.

En este contexto, el regadío juega un papel destacado para garantizar la seguridad alimentaria y el aumento de la producción agrícola en el mundo (Alexandratos y Bruinsma, 2012). A nivel mundial, más del 40% de la producción anual de alimentos proviene de tierras de regadío (Du et al., 2015). Numerosos estudios empíricos han demostrado que el riego tiene un impacto positivo en la seguridad alimentaria, así como en la disminución de la pobreza en el mundo (Dillon, 2007; Mangisoni, 2008; Omilola, 2009; Anwar et al., 2013; Darko et al., 2016). Dado el acuerdo general de que la expansión neta adicional de las tierras agrícolas será limitada, la cuestión es si el aumento de la productividad (rendimiento por hectárea cultivada) podrá satisfacer las futuras demandas de alimentos. Los rendimientos agrícolas han aumentado constantemente en la mayoría de las principales regiones agrícolas del mundo gracias a la conversión de secano a regadío, mejorando así la capacidad para enfrentar la futura amenaza de la seguridad alimentaria mundial (Freibauer et al., 2011).

En el caso de España contamos con una agricultura más productiva y más competitiva gracias al desarrollo del regadío. De hecho, España posee la mayor superficie de regadío de la Unión Europea (UE), con 3,63 millones de hectáreas regadas en el año 2015, que representan el 15% de la superficie agraria útil y alrededor del 67% de la producción final vegetal. Además, este sector consume alrededor del 70% de los recursos hídricos totales y utiliza el 50% del agua almacenada en los embalses españoles en un año regular (López-Gunn et al., 2002). Tal y como veremos a lo largo de este capítulo, el sector español del regadío ha acometido un intenso proceso de modernización con el objetivo de elevar la eficiencia de uso de los recursos productivos que utiliza, especialmente del agua. La superficie de regadíos que se ha modernizado durante las últimas décadas ha alcanzado la cifra de 1,47 millones de hectáreas, con una inversión cercana a los 3.000 millones de euros, lo que ha supuesto un ahorro estimado de casi 3.100 hectómetros cúbicos al año. Todo ello ha elevado la productividad obtenida por hectárea y metro cúbico de agua utilizada. Así, la productividad por hectárea de regadío es seis veces mayor que en la agricultura de secano, obteniendo un ingreso cuatro veces mayor que en la agricultura de secano.

La respuesta a la pregunta inicial planteada: ¿seremos capaces de producir suficiente alimento para atender las necesidades futuras de una población en constante crecimiento y en un contexto de cambio climático?, puede ser abordada desde tres diferentes estrategias. Éstas serán analizadas en las siguientes secciones de este capítulo, haciendo un especial análisis del caso concreto de España. La primera forma de elevar la producción de alimentos procedentes del regadío se basaría en aumentar los recursos disponibles, es decir, el suministro de agua y tierra por encima de los niveles actuales. La segunda estrategia se basaría en aumentar la productividad del regadío, ya sea mejorando el rendimiento o mejorando la eficiencia del uso del agua y/o tierra, o ambos. Finalmente, la última respuesta se basaría en importar agua en forma de alimentos (agua virtual) a través del comercio. Esta opción dependería principalmente de factores económicos y del comercio mundial.

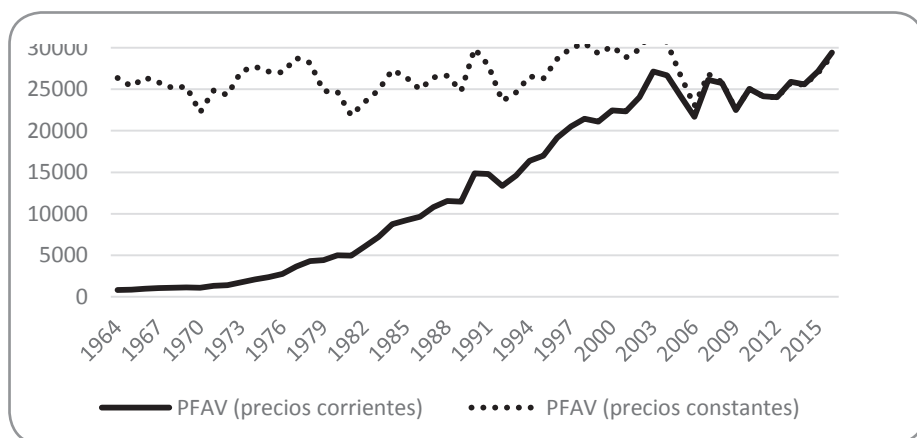
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

Entre los años 1950 y 2000, la población mundial ha crecido más que durante los 4 millones de años anteriores, aumentando de 2,5 millones a 6 mil millones de habitantes. El crecimiento reciente en la economía mundial es aún más notable. Durante la última mitad del siglo XX, la economía mundial se expandió siete veces. A medida que la economía crece, sus demandas están superando a la capacidad natural del planeta. Si bien la economía mundial se multiplicó por siete en solo 50 años, los sistemas naturales de soporte vital de la Tierra se mantuvieron esencialmente igual. Así, el uso del agua se triplicó, pero la capacidad del sistema hidrológico para producir agua dulce por evaporación cambió poco

(Brown, 2005). Se proyecta que la población mundial alcanzará los 9.800 millones en 2050 (ONU, 2018), con un ingreso per cápita que se duplicará para ese año. Este mayor ingreso también resultará en una mayor ingesta de calorías y cambios en las dietas con un aumento en la proporción de carne y lácteos consumidos, especialmente en los países en desarrollo (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Esta combinación de mayor ingesta y cambios en la dieta generará un aumento en la demanda de producción primaria de alimentos y, por lo tanto, de recursos hídricos (Nachtergaele et al., 2011). En este contexto, el desarrollo de nuevas fuentes de agua y/o la reasignación de agua de otros sectores para aumentar la producción de alimentos tiene un potencial limitado en muchas regiones del mundo.

En el caso de España, la producción final agraria vegetal (PFAV) ha experimentado una evolución muy positiva en los últimos 50 años, período en el que la expansión del regadío ha jugado un papel muy relevante en el aumento de la producción agraria. La Figura 1 muestra esta evolución para el período 1964-2016, tanto a precios corrientes (línea sólida) como a precios constantes (línea punteada), es decir, sin el efecto del incremento de los precios. Actualmente, la PFAV se sitúa en los 29 mil millones de euros, multiplicándose por más de 34 en comparación con la producción registrada durante los años sesenta del siglo XX.

Figura 1. Evolución de la producción final agraria vegetal en España (millones de euros).



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

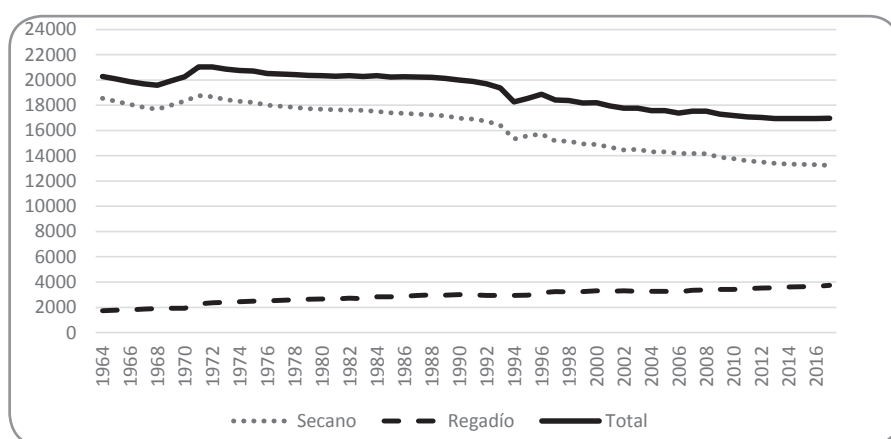
La PFAV representa el 60% de la producción final agraria total y su participación no ha variado significativamente en los últimos 50 años. Tal y como se muestra en la figura, este crecimiento de la PFAV se ha visto afectado negativamente por los impactos de los periodos de sequía, especialmente relevantes en la década de los noventa del siglo XX y entre los años 2003 y 2006. Este efecto de reducción de la PFAV se observa más claramente en la serie a precios constantes (línea punteada) ya que elimina el efecto de incremento de los precios agrícolas durante los periodos de sequía. Tras la crisis financiera desencadenada en 2008, la PFA también registró un estancamiento, volviendo a aumentar en los últimos años.

A escala global, la expansión de las tierras agrícolas ha constituido una estrategia que explicaría el 20% del aumento en la producción de alimentos de las últimas décadas. No obstante, ésta tiene un potencial limitado debido a la necesidad de compensar la tierra perdida por la creciente urbanización y la degradación del suelo (Penning de Vries, 2001). En la mayoría de los casos, la expansión del re-

gadío se ha hecho a costa de la conversión de tierras cultivadas en secano, aunque cabe decir que el riego y la agricultura de secano son complementarios y no mutuamente excluyentes (Berbel et al., 2019). Debido a este proceso de conversión, se espera que la participación de la producción de secano en el suministro mundial de alimentos disminuya del 65% (2010) al 48% (2050) (Nachtergaele et al., 2011). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha realizado varias proyecciones de la demanda y el suministro de agua de riego para 2025 y 2030. En los países en desarrollo en particular, se espera que el área equipada para riego se haya expandido en un 20% (40 millones de hectáreas) para 2030. Esto sugiere que el 20% de la tierra total con potencial de riego, pero aún no operativa se someterá a riego, y que el 60% de todas las tierras con potencial de riego (402 millones de hectáreas) estarán en uso para 2030. Así, el aumento neto de la tierra irrigada (40 millones de hectáreas) se concentrará en el grupo de países en desarrollo, donde el crecimiento demográfico es más fuerte (FAO, 2011)

En la UE, la relevancia del riego en la agricultura varía dependiendo de las características agro-nómicas y climáticas de cada país. La mayoría de las áreas irrigadas en la UE se concentran en la región mediterránea, donde Francia, Grecia, Italia, Portugal y España representan 12 millones de hectáreas que corresponden al 75% del área total equipada para riego en toda la UE-27. En relación a la superficie regada en España, ésta ha registrado una tendencia claramente creciente en los últimos 50 años. La Figura 2 muestra la evolución de la superficie agrícola cultivada en España, así como su división entre tierras de regadío y secano para el período 1964-2016. Como se puede observar, la superficie total cultivada ha experimentado una tendencia clara de reducción en casi todo el período analizado, exceptuando la década de los años sesenta del siglo pasado. Evolución similar ha experimentado la superficie cultivada de secano, que ha sido en parte convertida a regadío. Actualmente la superficie de regadío se encuentra estabilizada en torno a los 3,7 millones de hectáreas. No obstante, el crecimiento en el período ha sido muy significativo, aumentando desde los 1,7 millones de hectáreas en 1964. No obstante, el crecimiento del regadío en España no ha sido suficiente para compensar la pérdida de tierra total cultivada que, en parte, ha sido absorbida por la expansión urbanística, la explotación forestal y otros usos.

Figura 2. Evolución de la superficie cultivada en España: total, secano y regadío (miles de hectáreas).

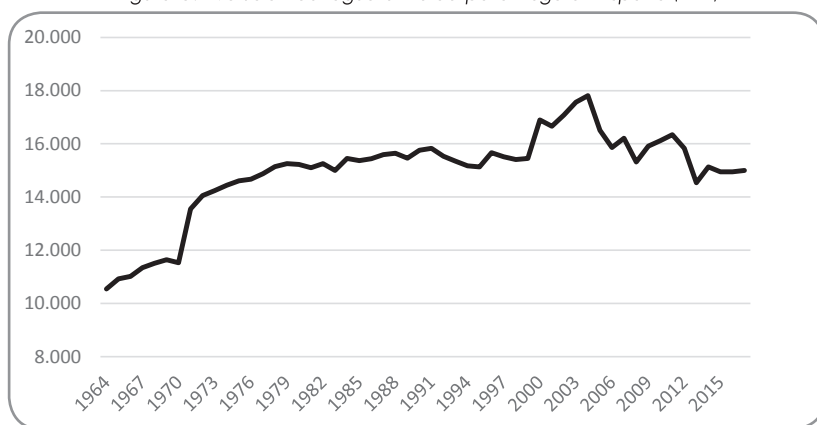


Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (a partir de Espinosa et al 2020)

Como se ha comentado con anterioridad, la seguridad alimentaria en España se encuentra íntimamente relacionada con la actividad del regadío y con la disponibilidad de agua. Tal y como muestra

la Figura 3, el agua extraída para riego en España ha aumentado desde los 10.548 Hm³ de 1964 a los 14.900 Hm³ actuales, alcanzándose el máximo de 17.800 Hm³ en 2004. A partir de este año, el agua extraída para riego ha experimentado un descenso y estancamiento entorno a los 15.000 Hm³/año. Cabe comentar que hasta el año 2004 se observa el período de mayor crecimiento de la PFAV y de la superficie regada, mostrando así el papel tan relevante que la disponibilidad de agua tiene para la expansión de la producción final agraria y la garantía de la seguridad alimentaria en España.

Figura 3. Evolución del agua extraída para riego en España (hm³)



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (a partir de Espinosa et al 2020)

Asimismo, la reducción del agua extraída para riego en España a partir de 2004 se podría explicar por el intenso proceso de modernización del regadío vivido en los últimos veinte años a través de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua y al aumento de la productividad por hectárea (definida como el valor generado por hectárea cultivada) gracias al regadío, el cambio de cultivos y las nuevas técnicas agronómicas (Expósito y Berbel, 2017). Estos aspectos son tratados en la siguiente sección de este capítulo.

A modo de conclusión de esta sección, los datos analizados nos muestran que la estrategia basada en una mayor disponibilidad de recursos (tierra y agua) para elevar la producción agraria y mejorar así la capacidad de nuestro país para afrontar los retos de la seguridad alimentaria no parece una opción factible. En el caso de España, la creciente escasez de agua se convierte así en un factor limitante para el crecimiento de la producción agraria, así como para la puesta en cultivo de más hectáreas de regadío, comprometiendo así la necesidad futura de aumentar la producción de alimentos.

PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA Y EFICIENCIA EN EL USO DE RECURSOS

A principios del siglo XXI, la contribución de las tierras de regadío a la PFAV en España se sitúa alrededor del 70%, a pesar de ocupar solo el 13% de la superficie agrícola utilizable (Grindlay et al., 2011). Tal y como ha sido comentado al inicio de este capítulo, la producción de regadío registra una alta productividad, a pesar de las dificultades en la disponibilidad de recursos (especialmente de agua). Según los cálculos realizados por Grindlay et al. (2011), la estrategia de aumentar la productividad ha sido la principal vía responsable del aumento de la PFAV en España.

La productividad del sector agrario se puede medir en relación a los distintos factores productivos que utiliza el regadío, es decir, agua, tierra y trabajo, básicamente. Tal y como se ha mostrado en la sección anterior, el número de hectáreas cultivadas en España ha experimentado un descenso en los últimos 50 años, al mismo tiempo que se ha observado una continuada conversión de tierras de secano a regadío. Este hecho ha llevado a que la productividad agraria de la tierra haya aumentado de forma continuada en este período. Los aumentos de productividad del agua en España han surgido principalmente como consecuencia del aumento del rendimiento de los cultivos (Fischer et al., 2009) y del mayor valor añadido de los mismos (Expósito y Berbel, 2019), y mucho menos debido a la reducción del agua utilizada. Este hecho ha sido especialmente evidente hasta el año 2004, período en el cual el agua extraída para regadío ha crecido de forma continuada (Figura 3) que se detiene en 2004 y comienza un período de reducción de extracciones como consecuencia de la mayor eficiencia alcanzada por la modernización de las técnicas de regadío.

La Tabla 1 muestra la evolución de la productividad final agraria vegetal por unidad de recurso empleado (agua, tierra y trabajo) tanto a precios constantes como a precios corrientes para el período 1985-2016 en España. Como se puede observar, la evolución de la productividad agraria medida como producción final agraria vegetal (millones de euros) dividida por agua extraída (Hm³), tierra cultivada (miles de hectáreas) y trabajo (miles de trabajadores), ha experimentado una evolución positiva en el período analizado, tanto a precios constantes como a precios corrientes. Las mayores tasas de crecimiento de la productividad se han observado para el factor trabajo debido a la intensa reducción de la mano de obra empleada en el sector agrario y la mecanización del mismo. La productividad de la tierra también ha experimentado un aumento significativo entre 1985 y 2016, del 31% a precios constantes y del 281% a precios corrientes. Por último, la productividad del agua (o valor generado por unidad de agua extraída) aumentó en un 13% a precios constantes y en un 228% a precios corrientes. El crecimiento de los precios (y de los cultivos con mayores precios) ha propiciado que la evolución seguida por las productividades a precios corrientes sea muy superior al aumento registrado en las productividades valoradas a precios constantes. Estos aumentos de productividad no habrían sido posibles sin la expansión del regadío en nuestro país.

Tabla 1. Evolución de productividades agrarias para los recursos agua, tierra y trabajo a precios constantes y corrientes

Año	Agua (EUR/m ³)		Tierra (mil EUR/ha)		Trabajo (mil EUR/trabajador)	
	constante	corriente	constante	corriente	constante	corriente
1985	1.72	0.60	1.31	0.45	13.62	4.74
2000	1.79	1.33	1.66	1.23	29.33	21.84
2016	1.95	1.97	1.72	1.73	38.22	38.63
Variación	13.1%	228,1%	31.4%	228,1%	180,7%	714,6%

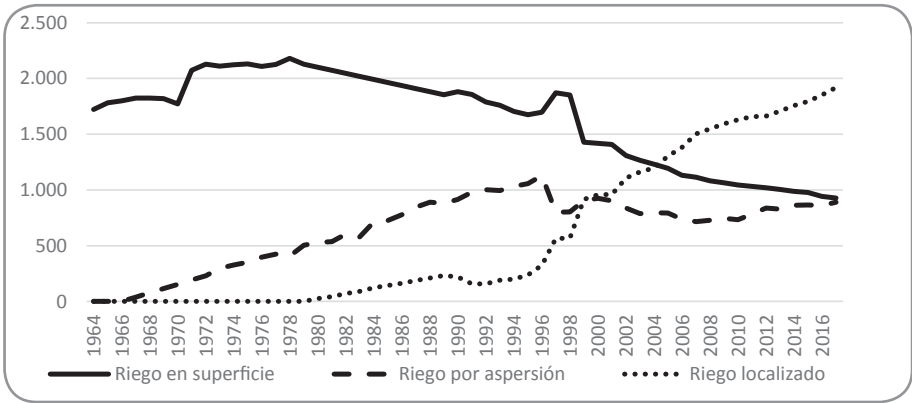
Nota: Precios constantes con año base 2010; Fuente: Elaboración propia.

El uso agrícola del agua tiene dos componentes: el agua consumida en el proceso de evapotranspiración (ET) y el agua perdida como escorrentía o filtración profunda. La eficiencia en el uso del agua ha aumentado sustancialmente al reducir las pérdidas de agua (y parte del agua consumida en la evaporación del suelo) a través de la agronomía mejorada y la ingeniería de los sistemas de riego. La superficie de regadíos que se han modernizado en España ha alcanzado la cifra de 1,47 millones de hectáreas, con una inversión cercana a los 3.000 millones de euros, y cuyo principal objetivo ha sido maximizar la PFAV por hectárea y hacer más eficiente el uso del agua (Berbel et al., 2019). Los distintos métodos de

riego presentan diferentes niveles de eficiencia en el uso del agua (medido por el grado de aprovechamiento del agua aplicada con respecto al agua verdaderamente aprovechada por el cultivo) variando desde el rango 0,6-0,65 para el riego en superficie, el rango 0,75-0,8 para el riego por aspersión y el rango 0,90-0,95 para el caso de riego localizado por goteo (Berbel et al., 2018).

Como consecuencia de los cambios en los métodos de riego, la modernización de los regadíos ha favorecido una tendencia decreciente del consumo total de agua de uso agrícola en el último decenio, con una reducción del 14%, al mismo tiempo que la superficie regada se incrementaba en un 7%. Este ahorro ha sido posible gracias a la inversión en sistemas de riego más eficientes en el uso del agua, destacando el sistema de riego por goteo o localizado que representa el 51% de la superficie de riego en España (Tabla 2). La Figura 4 muestra la tendencia creciente de las dos técnicas de riego más eficientes (goteo y aspersión) y el descenso continuado del riego en superficie (o por inundación) en el período 1964-2016.

Figura 4. Evolución de las técnicas de riego (miles de hectáreas).



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, (a partir de Espinosa et al 2020)

En el caso del riego por aspersión el aumento continuado registrado durante la segunda mitad del siglo XX no ha continuado durante los primeros años del siglo XXI. Este estancamiento se explica por el importante desarrollo experimentado por el riego por goteo, mucho más eficiente en el uso del agua y con una elevada capacidad de elevar la PFA por hectárea regada con el mínimo uso del agua. La apuesta decidida de las diferentes Administraciones y de los agricultores por asegurar un uso más eficiente de los recursos hídricos se observa claramente en el aumento exponencial de las hectáreas regadas por goteo desde finales de los años 90 del pasado siglo hasta la actualidad. La Tabla 2 muestra como el riego en superficie ha pasado a representar solo el 25% de la superficie regada en la actualidad, superado por el riego por goteo, que representa el 51% de la superficie regada. El riego por aspersión es utilizado en el 24% de la superficie regada en nuestro país. Este aumento de la eficiencia en el regadío ha provocado que la eficiencia media a nivel nacional se pueda estimar que ha aumentado del 0.5 en los años 60 al 0.7 en la actualidad 2017 (Espinosa-Tasón et al., 2020).

Tabla 2. Distribución de técnicas de regadío (% hectáreas por sistema).

	1964	1980	2000	2010	2017
Superficie	100	79.1%	43%	31%	25%
Aspersión	0%	19.9%	28%	22%	24%
Goteo	0%	1.0%	29%	48%	51%

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la seguridad alimentaria se encuentra cada vez más ligada a la disponibilidad de energía en un sector agrario cada vez más tecnificado. Si bien es cierto que el proceso de modernización de regadíos ha impulsado en los últimos 15 años la transformación de los tradicionales riegos de superficie en sistemas de goteo permitiendo producir más con hasta un 25% menos de agua, también ha disparado exponencialmente el consumo de energía. En el caso de España, el consumo eléctrico asociado al regadío con métodos intensivos en el uso energético (ej. aspersión y goteo) ha crecido prácticamente de forma continuada durante el período 1964-2017, con la excepción del período 1996-2003, multiplicándose por cuatro desde los niveles de 1964. En cuanto a la intensidad de uso de energía eléctrica por metro cúbico extraído, ésta ha pasado de 0,04 GWh/m³ de 1964 a los 0,12 GWh/m³ actuales (Espinosa-Tasón et al., 2020). Este incremento de la producción del regadío en un contexto con cada vez menos agua y tierra plantea el reto de alcanzar una doble eficiencia en los sistemas de riego modernizados para no sólo ahorrar agua, sino también electricidad. Por tanto, seguir avanzando en la modernización del regadío implica adaptar los nuevos proyectos al escenario tarifario actual de la electricidad en nuestro país, además de favorecer medidas que ayuden a los regantes a paliar los actuales costes energéticos, como por ejemplo fomentando la producción de energía renovable distribuida para autoconsumo en las zonas regables.

COMERCIO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

La agricultura, y en concreto el regadío, es un sector clave no solo para la seguridad alimentaria sino también para la seguridad del agua, ya que alrededor del 85-90% de toda el agua que consumen los humanos se utiliza para actividades agrícolas. El volumen de agua consumida por la evapotranspiración en la agricultura se encuentra entorno a los 7,000 km³/año (Molden, 2007). De estos, alrededor del 20% se comercializa entre países como comercio virtual de agua. Según Yang y Zehnder (2007), alrededor del 15-16% es importado por países áridos y semiáridos con serios problemas de escasez hídrica. En este sentido, el comercio internacional actúa como medio para el abastecimiento de alimentos, complementando las producciones locales con producciones importadas y facilitando el intercambio de zonas con abundancia de recursos (ej. tierra y agua) con aquellas otras que presentan una escasez de éstos. De esta forma, el comercio internacional se convierte en un medio garante de la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica a nivel global.

El agua virtual se define como el agua necesaria para producir un bien o un servicio (ej. 15.415 l/kg para la carne de vaca), y no debe confundirse con el concepto de agua real. Anualmente, España importa cerca de 27 km³ de agua imbuida en diferentes productos del sector agrario y exporta 13 km³, lo que resulta en un saldo negativo de 14 km³ por año (Esteban Moratilla et al., 2010). En general, los productos de exportación españoles son de alto valor y bajo contenido de agua virtual (ej. cítricos, hortalizas y aceite de oliva) y los de importación son cultivos intensivos en agua virtual y de menor valor (ej. cereales). Por comunidades autónomas, Cataluña y la Comunidad de Madrid son las regiones que más dependen del agua virtual importada, mientras que regiones como Aragón, Extremadura y ambas Castillas, presentan saldos positivos netos en su comercio de agua virtual (Esteban Moratilla et al., 2010). De esta forma, el comercio actúa como medio para garantizar la seguridad alimentaria en aquellos países y regiones con restricciones para la producción agrícola (ya sea por escasez de tierra y/o agua).

Las estimaciones del agua contenida en la dieta media española muestran un aumento significativo entre 1964 y 1991 de aproximadamente el 20% en la huella hídrica. Por el contrario, los cambios desde 1991 hasta nuestros días han sido más moderados, entorno a un aumento del 5% en la huella

hídrica (Fereres et al., 2011). A nivel mundial, las cifras de la dieta promedio de la FAO (FAO, 2002) sugieren que ha habido un aumento entre 1964 y 1999 del 25-30% en la huella hídrica (muy similar al caso español), aunque predicen un aumento adicional de magnitud similar para 2030 debido a un mayor consumo de proteínas y grasas animales, sobre todo por el mayor consumo en los países en desarrollo. Por lo tanto, incluso si se controla el crecimiento de la población, el aumento per cápita en la demanda de agua por alimentos debido al desarrollo económico sería inevitable, a menos que se produzcan cambios drásticos en la dieta en el futuro. En este sentido, el regadío puede actuar como catalizador de cambios en la dieta que fomente el consumo de proteína vegetal frente a la de origen animal.

No obstante, cabe decir que el concepto de huella hídrica y agua virtual, así como su forma de estimación tiene serias críticas respecto a su utilidad como instrumento para la toma de decisiones en la gestión del agua y de los sistemas agroalimentarios, con autores que incluso lo califican de 'distracción y de inducir a error' (Perry, 2014) o bien limitado en términos de su utilidad para informar políticas hídricas, no mejorando ni la eficiencia ni la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios Gawel y Bernsen (2013). Estos autores defienden que los problemas relacionados con el agua deben resolverse a nivel local o regional, y no basándose en recetas globales y barreras comerciales. Con todo, hay autores que opinan que el uso de este indicador puede ayudar a entender mejor la complejidad de los sistemas agroalimentarios y su función en la sociedad para satisfacer sus necesidades alimentarias futuras.

CONSIDERACIONES FINALES

El regadío juega un papel fundamental a la hora de abordar los desafíos de seguridad alimentaria, tanto a nivel global como en el caso particular de España. El aumento de la producción de alimentos para hacer frente a las crecientes necesidades futuras de la población mundial requerirá la expansión del área regada y una mejor disponibilidad de agua (tanto en el espacio como en el tiempo), así como una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Ninguno de estos factores de crecimiento resultará fácil, y ambos requerirán reformas institucionales y políticas complejas, especialmente en aquellos países y regiones donde la escasez de agua es más acuciante. En el caso particular de España, el crecimiento de la producción agraria como garante de la seguridad alimentaria no parece que pueda sustentarse en un aumento de los recursos (tierra y agua), sino en el aumento de la productividad agraria. El análisis realizado en este trabajo ha mostrado que la consecución de una mayor producción por unidad de factor productivo empleado (especialmente por unidad de agua usada) ha resultado decisiva para garantizar el mantenimiento de la producción del sector agrario español.

A nivel global, si no se satisfacen las necesidades de producción de alimentos mediante una expansión eficiente y sostenible del regadío, el crecimiento de la población y el desarrollo económico aumentarán la presión sobre los recursos y se acelerará el proceso de degradación ambiental. Asimismo, los estrechos vínculos entre la seguridad alimentaria, del agua y de la energía, exigen una coordinación adecuada de políticas públicas que fomente el incremento de la productividad del sector del regadío en un contexto de economía circular ahorrando recursos hídricos y energéticos, y desarrollando cultivos con menos necesidades de agua y mayor tolerancia a las plagas, es decir, poniendo el foco en la biotecnología.

Finalmente, cabe decir que el cambio climático afectará tanto a la producción agrícola futura como a la disponibilidad de agua, impactando así en la seguridad alimentaria a nivel global. Sin embargo, la

mayoría de los estudios indican que el cambio climático tendría un efecto neutral o relativamente modesto en los procesos de producción agrícola a nivel mundial, al menos hasta 2050. Por el contrario, los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad futura de agua para la agricultura son mucho más inciertos.

Referencias

Alexandratos, N. y Bruinsma J. (2012). "World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision". ESA Working paper, No. 12- 03. FAO, Rome.

Anwar, M.R., Liu, D.L., Macadam, I., y Kelly, G. (2013). "Adapting agriculture to climate change: a review". *Theoretical and Applied Climatology*, 113:225-245.

Berbe, J., Expósito, A., Gutiérrez-Martín, C. y Pérez Blanco, C.D. (2020). "Water, where do we stand?". En: Vassel-Bé-Hagh, D. y Ting, S.K. (Eds.): *Environmental Management of Air, Water, Agriculture, and Energy*. CRC Press, Taylor & Francis Group: 1-18.

Berbel, J., Expósito, A., y Gutiérrez-Martín, C. (2019). "Effects of the irrigation modernization in Spain 2002-2015", *Water Resources Management*, 33(2019): 1835-1849.

Berbel, J., Gutierrez-Marín, C. y Expósito, A. (2018). "Impacts of irrigation efficiency improvement on water use, water consumption and response to water price at field level", *Agricultural Water Management*, 203: 423-429.

Berbel, J., Expósito, A. y Borrego-Marín, M.M. (2019). "Conciliation of competing uses and stakeholders rights to groundwater: an evaluation of Fuencaliente aquifer (Spain)", *International Journal of Water Resources Development*, 35(5): 830-846.

Brown, L.R. (2005). "Outgrowing the earth. The food security challenge in an age of falling water tables and rising temperatures", Earth Policy Institute, Earthscan, New York.

Darko, R.O., Yuan, S., Hong, L., Liu, J. y Yan, H. (2016). "Irrigation, a productive tool for food security- a review", *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 66(3): 191-206.

Dillon A. (2007). "Do differences in the scale of irrigation projects generate different impacts on poverty and production?", Discussion Paper 01022. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

Du, T., Kang, S., Zhang, J. y Davies, W.J. (2015). "Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security", *Journal of Experimental Botany*, 66(8): 2253-2269.

Espinosa-Tasón, J., Berbel, J. y Gutiérrez-Martín, C. (2020). "Energized water: evolution of water-energy nexus in the Spanish irrigated agriculture, 1950-2017", *Agricultural Water Management*, 233, 106073.

Esteban Moratilla, F., Molina Moreno, M. y Fernández Barrera, M. (2010). "La huella hídrica en España", *Revista de Obras Públicas*, 3514 (157): 21-38.

Expósito, A. y Berbel, J. (2019). "Drivers of irrigation water productivity and basin closure process: Analysis of the Guadalquivir river basin (Spain)", *Water Resources Management*, 33(4): 1439-1450.

FAO (2011). "El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

FAO (2002). "The State of Food Insecurity in the World. When people must live with hunger and fear starvation", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

FAO (2012). "Statistical Yearbook 2012. World food and agriculture", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

Fereres, E., Orgaz, F. y Gonzalez-Dugo, V. (2011). "Reflections on food security under water scarcity", *Journal of Experimental Botany*, 62(12): 4079-4086.

Fischer, R.A., Byerlee D. y Edmeades G.O. (2009). "Can technology deliver on the yield challenge to 2050?", Paper presented at the FAO Expert meeting on how to feed the world in 2050. www.fao.org/economic/esa/esag/esag-papers/en/

Freibauer, A., Mathijs, E., Brunori, G., Damianova, Z., Faroult, E., Gomis, J.I.G., O'Brien, L., Treyer, S. (2011). Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world. European Commission-Standing Committee on Agricultural Research (SCAR), Bruselas.

Gawel, E., Bernsen, K. (2013). What is wrong with virtual water trading? On the limitations of the virtual water concept. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 31: 168-181.

Grindlay, A.L., Lizárraga, C., Rodríguez, M.I. y Molero, E. (2011). Irrigation and territory in the southeast of Spain: evolution and future perspectives within new hydrological planning. *WIT Trans. Ecol. Environ*, 150: 623- 638.

López-Gunn, E., Mayor, B., y Dumont, A. (2012). "Implications of the modernization of irrigation systems". En De Stefano, L. y Llamas, M.R. (Eds.): *Water, agriculture and the environment in Spain: Can we square the circle?* CRC Press: 241-256

Mangisoni, B. (2008). "Impact of treadle pump irrigation technology on small holder poverty and food security in Malawi. A case study of Blantyre and Mchinji Districts", *Int J Agric Sustain*. 6:248-266.

Molden, D. (2007). "Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture", International Water Management Institute, Earthscan, London.

Nachtergaele, F., Bruinsma, J., Valbo-Jorgensen, J. y Bartley, D. (2011). "Anticipated trends in the use of global land and water resources". SOLAW Background Thematic Report-TR01. FAO, Roma.

Omilola, B. (2009). "Estimating the impact of irrigation on poverty reduction in rural Nigeria", IFPRI Discussion Paper 00902. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

ONU (2018). "World Population Prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables". ESA/P/WP/248. UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, New York.

Penning de Vries, F.W.T. (2001). "Food security? We are losing ground fast". En Nosberger, J., Geiger, H.H. y Struik, P.C. (Eds.): Crop science: progress and prospects, Wallingford, UKCABI Publishing: 1-14.

Perry, C. (2014). Water footprints: path to enlightenment, or false trail? *Agricultural Water Management*, 134: 119-125.

Schlosser, C.A., Strzepek, K., Gao, X., Fant, C. y otros (2014). "The future of global water stress: an integrated assessment", *Earth's Future*, 2(8): 341-361.

Yang, H. y Zehnder, A. (2007). "Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management", *Water Resources Research*, 43(12): W12301.

4- El regadío y el desarrollo regional

Amparo Melián Navarro, Joaquín Melgarejo Moreno

INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales presentan algunas características que suelen ser consideradas como “desventajas” sobre las urbanas como son la escasez y falta de servicios básicos o de infraestructuras, las menores dinámicas económicas, etc. Esto genera desequilibrios territoriales que provocan el éxodo rural, que derivan en nuevos desequilibrios, y mayor merma de la dinámica económica pivotando sobre el propio desajuste, provocando un envejecimiento de la población y reduciendo las oportunidades. Un hecho que tenga capacidad para frenar e invertir el proceso es de máximo interés y da oportunidades al desarrollo del territorio. El regadío en las zonas rurales es catalizador del cambio (Araújo et al. 2018). y con él, de múltiples sinergias, que conllevan a fijar la población en el medio rural, o la creación de empresas (vínculos con la industria alimentaria y las auxiliares).

Los regadíos contribuyen de forma excepcional a la cohesión y estabilidad social, pues generan una fuerte demanda de mano de obra y favorecen el intercambio comercial de productos e insumos, con los consiguientes flujos económicos (de consumo y ahorro).

El regadío es uno de los pilares básicos del desarrollo rural y del desarrollo regional. Aunque la superficie regada es el 14% de la superficie agraria útil en España, aporta alrededor del 70% a la Producción Final Vegetal, contribuye con un 2,4% al Producto Interior Bruto (PIB) y emplea a un 4% de su población ocupada (MAPA). Muchas zonas deprimidas han mejorado su nivel de vida tras la transformación de ciertas pequeñas áreas que permitían su puesta en regadío.

El regadío influye en muchos aspectos, políticos, sociales, ambientales, económicas (Araujo et al, 2018; Berbel y Montilla, 2019; De Miguel 2013; López, 2007; Melián y Navarro, 2015). El regadío incide en la renta y la economía de un territorio, la población que en él se asienta, (migraciones), en el empleo, la calidad de vida, o la valorización de los productos, la de regadío (cultivos intensivos) es mucho mayor que la de secano (Canatario et al., 2012; De Miguel et al., 2013). El sector presenta en parte de las regiones de España problemas de agua, caracterizada por la incertidumbre en su provisión para el riego (p.ej. trasvase Tajo-Segura), elevado precio (motivado por los procesos de modernización y extracción) y mala calidad (retornos, contaminación, salinización, etc.).

En este capítulo se abordan los efectos del regadío sobre el desarrollo territorial. Sin ánimo de ser exhaustivos, pero sí a modo de esquema (Tabla 1) distinguiremos las principales variables territoriales atendiendo a diversos aspectos. Por una parte, los demográfico-sociales, en particular las migraciones, y por ende el crecimiento de la población (Caravaca et al, 2007), los desplazamientos regionales que induce, la variación espacial (Méndez et al, 2008), y el envejecimiento de la población. En los aspectos económico-productivos, el empleo, la participación y/o desocupación del trabajo y la creación de empresas. Y en las antrópicas, el crecimiento urbano y de las infraestructuras.

Tabla 1. Efectos del regadío sobre las principales variables territoriales

Sociales	Económico-productivas	Antrópicas
Migraciones	Empleo	Crecimiento urbano
Crecimiento población	Desocupación	Infraestructuras
Envejecimiento	Creación de empresas	

Fuente: Elaboración propia.

MIGRACIONES Y POBLACIÓN.

Las migraciones se producen ante la búsqueda de un lugar mejor para vivir. Tradicionalmente y en nuestro territorio se ha producido un éxodo del medio rural hacia las ciudades, de las zonas de interior hacia la costa, provocando un despoblamiento en el medio rural, un envejecimiento de la población, y acentuando los desequilibrios regionales minorando cada vez más las posibilidades de crecimiento en la zona de éxodo (falta de infraestructuras, escasez de servicios básicos, ausencia de dinámicas económicas).

La dinamización de un territorio agrícola a través del regadío puede invertir ligeramente este proceso. Además, y de forma más importante, si se incide sobre ciertos colectivos como el de los jóvenes y las mujeres, con más dificultades de acceso al mercado laboral (principal motivo de la emigración), y con un papel estratégico en el afianzamiento de la población al territorio (Esteban et al., 2018), se podrían salvar las dificultades de envejecimiento y mantener el relevo intergeneracional en las actividades económicas locales.

La mejora de los regadíos (monitorización, aplicación de tecnologías más eficientes, etc.) (López, 2007; Melián et al., 2014a; Molina y Ruiz, 2010) conlleva a empleos de mayor calidad (por ejemplo, la mejora ergonómica del trabajo en el regadío como consecuencia de la automatización y telegestión en la aplicación del riego). A su vez, también fomenta la capacitación de los agricultores, pues se requiere una mayor formación en técnicas de riego para un mejor aprovechamiento del agua y las nuevas tecnologías del regadío.

Aunque al final la migración se produzca, se atempera el flujo de migrantes que salen de una determinada zona cuando la explotación de la tierra está más tecnificada y además atrae con mayor fuerza a otros provenientes de zonas más desfavorecidas. De hecho, estos procesos migratorios van en una doble dirección, por una parte, población española que migra del campo a la ciudad, de las zonas rurales a las zonas urbanas, del interior a la costa, y por otra, población de fuera de España que decide venir a nuestro país a las zonas agrícolas, principalmente de regadío para aportar mano de obra al campo. Esta inmigración se localiza sobre todo en Andalucía (vinculada a la producción en invernadero), Región de Murcia y Alicante. El área beneficiada por el trasvase Tajo-Segura es un excelente ejemplo de la atracción de migrantes procedentes tanto desde otras regiones de España, como del exterior (Melgarejo, 2009).

La creación de empleo directo e inducido del regadío fija población en el medio rural, y contribuye al equilibrio territorial. La incidencia del regadío en la evolución demográfica es un hecho. Las comarcas con presencia de tierras en regadío mantienen densidades de población superiores y tasas de crecimiento anual positivas, y en los casos en que se produzcan pérdidas de población, la merma de población es más lenta que en ausencia de regadío. Las tasas de crecimiento intercensal de la población registrada en los espacios regados son sistemáticamente superiores al promedio de crecimiento en el conjunto de España. Ello indica trasvase de población desde las zonas no regadas a las regadas (PNR Horizonte 2008).

La tabla 2 muestra la densidad de población (habitantes por km²) según porcentaje de superficie regada y lo compara con el promedio nacional. Se observa que cuanto mayor es el peso de la superficie regada mayor es la densidad de población.

Tabla 2. Densidad de Población (habitantes/km²) según la superficie regada

Promedio Nacional	< 20% regado	[20%-50%] regado	> 50% regado
79	71	88	133

Fuente: Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008.

La distribución de la población en las zonas en regadío hombre-mujer es más equilibrada que en las que no están en regadío (mayor migración por parte de las mujeres), así como mayor proporción de jóvenes (Valiente, 2019). Además, el índice de reemplazo de la población que accede a la actividad productiva y la que sale de ella es mucho más favorable en las zonas regadas, que ronda el 120%, mientras que en las zonas sin regadío deben afrontar el problema de mantenimiento de la actividad con el del reemplazo de la población que llega a la edad de jubilación.

Recuadro 3

El crecimiento del sector agrícola produce un efecto multiplicador en la industria. (principalmente procesadores agroalimentarios, pero también otras industrias complementarias) y servicios (principalmente proveedores de transporte y servicios a explotaciones y procesadores de alimentos). Los multiplicadores deben definirse localmente en un el nivel de la cuenca o región y no hay muchas fuentes disponibles, entre las que existen destaca el trabajo de (Howitt et al., 2015) que han estimado un efecto multiplicador de agricultura de riego en el resto de la economía alrededor de 1.49 para el Estado de California cuya agricultura es muy semejante a la española. Debido a este efecto multiplicador, cuando agrícola el VAB del riego aumenta en 1 EUR, el VAB de la economía en su conjunto crece 1,49 euros (es decir, 0,49 para los sectores no agrícolas).

En el caso del golf (cultivo de riego, aunque del sector servicios) las estimaciones de su efecto multiplicador lo cifran en 2.13 el valor generado directamente por la actividad primaria. (Watson, Davies, & Thilmany, 2008)

Howitt, et al. (2015). Economic Analysis of the 2015 Drought for California agriculture." Center for Watershed Sciences. University of California, Davis.

Watson, et al. (2008). Determining economic contributions in a recreational industry: An application to Colorado's golf industry. *Journal of Sports Economics*, 9(6), 571-591.

DESARROLLO DE LAS INDUSTRIAS AUXILIARES Y CREACIÓN DE EMPRESAS

Vinculado al regadío, y en las zonas rurales donde se asienta, se promueve también un impulso y crecimiento de las industrias auxiliares (abastecimiento de inputs de producción), e industrias de transformación (valorización de los productos agroalimentarios y de toda la cadena de valor), industria agroalimentaria.

EMPRESAS AUXILIARES E INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

Toda actividad productiva de transformación requiere del abastecimiento de materias primas y la posterior comercialización de los productos originados, especialmente cuando éstos son perecederos (Melgarejo y Abadía, 2018).

- En el caso de las zonas de regadío, zonas con una actividad productiva agraria es frecuente la localización de empresas auxiliares tanto para cultivos de primor, intensivos o bajo abrigo, así como para cultivos al aire libre.

- En lo que respecta a invernaderos, el crecimiento industrial vinculado a la horticultura discurre paralelo al crecimiento de la superficie y producción agrícola. La industria del plástico y mallas, sustratos, semillas (biotecnología), semilleros y viveros, fertilizantes, fitosanitarios, así como la de equipos de climatización, sistemas de fertirrigación e hidropónicos, u otros más avanzados de lucha biológica (Berbel y Montilla-López, 2019). Por nivel de facturación las más relevantes son las vinculadas al sector de los plásticos y al de las semillas, pero es importante que adquieran una dimensión adecuada para competir en costes unitarios (Melgarejo y Abadía, 2019).
- En cultivos al aire libre con riego localizado (goteo y aspersión), las de tuberías goteros, y emisores de riego, así como las de filtrado y módulos de fertirrigación, agroquímicos, etc. (Melgarejo, 2019).
- En la industria de transformación y postcosecha, para abastecer a centrales hortofrutícolas y almacenes, emergen empresas auxiliares de envases y embalajes (cartón y plástico), maquinaria de manipulación y equipos.
- Derivado de toda esta industria y producción también surgen empresas para dar servicio al resto de actividades como son tratamiento de residuos, consultoría y asesoría (topografía, proyectos), agronomía, laboratorios, e informática especializada.

Las oportunidades de la industria auxiliar no son tanto el propio mercado local, y la retención del valor añadido en éste, creando tejido empresarial (Colletis, G. y Pecqueur, 1993), sino también las oportunidades de penetración en otros mercados, rentabilizando economías de alcance.

COMUNIDADES DE REGANTES, ASOCIACIONISMO Y COOPERATIVISMO

En las zonas agrícolas los agricultores participan de la creación de empresas adoptando éstas diversas formas jurídicas, asociaciones, sociedades mercantiles, cooperativas... (Coque, 2005; Calvo y González, 2011; Pérez-González y Valiente, 2017). No obstante, los procesos de asociacionismo están representados principalmente a través de cooperativas, y algunas sociedades agrarias de transformación. Las primeras son entidades que bajo el principio de libre adhesión y baja voluntaria asocian a personas para la realización de actividades empresariales, encaminadas a satisfacer sus necesidades y aspiraciones económicas y sociales, con estructura y funcionamiento democrático. Las segundas son sociedades civiles de finalidad económico-social constituidas para la producción, transformación y comercialización de productos agrícolas, ganaderos o forestales, la realización de mejoras en el medio rural, la promoción y desarrollo agrario y la prestación de servicios comunes que sirvan a esa finalidad. El número total de SATs en España asciende a 12.379 en 2018, agrupan a 300.209 socios, y en el último año se han creado 54 con un total de 284 nuevos socios (MAPA, 2018).

Aunque pueden existir cooperativas de distintas clases, en las zonas agrarias son las cooperativas agrarias o de explotación comunitaria de la tierra las que desarrollan una actividad comercial de primer orden en estos territorios (Pérez-González y Valiente 2017), aportando valor añadido a la producción. Esto es especialmente importante en las zonas de regadío, caracterizadas por un mayor dinamismo y valor de la producción final, donde el peso e impacto de las cooperativas sobre el total comercializado es mayor.

La tabla 3 muestra la distribución de cooperativas agrarias por Comunidades Autónomas, así como el peso de su nivel de facturación, y el de SATs en España.

Tabla 3. Relevancia del sector cooperativo y SATs. Año 2018

	Nº cooperativas	% Distribución	% Facturación	Nº SATs
Andalucía	712	21,8	38,0	1.922
Castilla-La Mancha	437	13,4	8,1	1.674
Castilla y León	354	10,8	7,3	1.235
C. Valenciana	339	10,4	8,9	1.558
Cataluña	301	9,2	7,1	1.169
Extremadura	283	8,7	6,6	536
Aragón	192	5,9	5,4	674
Galicia	178	5,5	6,5	1.125
Región de Murcia	126	3,9	4,2	511
Navarra	91	2,8	4,0	520
País Vasco	68	2,1	1,3	140
Canarias	64	2,0	0,03	440
La Rioja	45	1,4	0,7	109
Islas Baleares	31	0,9	0,3	150
Madrid	20	0,6	0,09	160
Asturias	17	0,5	1,3	154
Cantabria	6	0,2	0,2	302
TOTAL	3.264	100	100	12.379

Fuente: Elaboración propia a partir del MAPA y OSCAE.

El número total de cooperativas agrarias en España es de 3.264 sociedades (cooperativas de primer grado el 90%, segundo grado el 10% -las cooperativas de segundo grado son cooperativas de cooperativas-), que facturan 28.993 106 EUR, aunque si sumamos la de las empresas mercantiles participadas por ellas se alcanza los 30.992 106 EUR. El valor de la producción final agraria es de 46.807 106 EUR. (MAPA, 2019). Destaca el peso del cooperativismo agroalimentario andaluz, que representando el 21,8% de las cooperativas españolas, supone el 38% de la facturación del colectivo (OSCAE, 2019).

La facturación directa total (incluyendo las mercantiles participadas) del cooperativismo agroalimentario equivale al 66% del valor de la producción final agraria y el 32% de las ventas netas de la industria alimentaria española, siendo las cooperativas el 13% del colectivo (Cooperativas Agroalimentarias, 2017). Por otra parte, las cooperativas suponen el 18% de la facturación exportadora del conjunto del sector agroalimentario español y proporcionan el 21% del empleo (100.831 empleo directo total (fijos + eventuales)).

En los últimos años el sector se ha concentrado reduciendo el número de entidades e incrementando el tamaño medio de cada empresa (48% en los últimos 10 años). En ese mismo periodo la facturación de las cooperativas ha crecido un 44%, mientras que en el total de la producción final agraria ha sido del 26% (MAPA, 2019). La facturación media es de 7,8 106 EUR por cooperativa.

Las comunidades de usuarios son de acuerdo con la legislación de aguas española corporaciones de derecho público; estas corporaciones reciben el nombre de Comunidades de Regantes cuando las forman exclusivamente este tipo de usuarios. El Texto Refundido de la Ley de Aguas fomenta la colaboración entre los titulares de derechos de aprovechamiento sobre las aguas. Cuando esas comunidades solo están integradas por usuarios finales se denominan comunidades de primer grado. Sin embargo, es posible crear entidades de alcance superior que son formadas por varias comunidades de primer grado, o por comunidades de primer grado y usuarios individuales no integrados en dichas comunidades; en este caso tenemos comunidades de segundo grado, que pueden ser comunidades generales si integran solo a comunidades de primer grado o juntas centrales, si junto a estas incluyen a usuarios individuales. Algunas de estas comunidades de usuarios tuvieron su origen en sociedades mercantiles creadas para el aprovechamiento del agua (Melgarejo et al, 2018).

La calificación legal de las comunidades de usuarios como corporaciones de derecho público es de extraordinaria importancia puesto que permite considerar a estos entes asociativos, de los que no forman parte necesariamente entes del sector público, como verdaderas Administraciones públicas en cuanto ejercen funciones de autoridad en determinados aspectos relacionados con su función característica, que es la distribución de los caudales concedidos. En realidad, este tipo de entidades son colaboradoras de la Administración hidráulica, y resultan fundamentales para el manejo del agua en España.

URBANISMO

El posicionamiento de núcleos industriales, polos de desarrollo, asentamientos poblacionales, los espacios internos del uso del suelo, en definitiva, la geografía urbana, dan lugar a una especialización, el urbanismo, dedicada al estudio, planificación y ordenamiento de las ciudades. Comprende entre otros, el sistema de movilidad y transporte, la sostenibilidad de los suelos, el acceso a servicios, etc.

INMUEBLES Y VIVIENDAS

El regadío ayuda a fijar la población en el medio rural, evitar migraciones internas y como actividad económica repercute ingresos a los trabajadores. En áreas especialmente dinámicas favorece el asentamiento de la población y la ocupación de viviendas.

Las zonas con mayores densidades demográficas como por ejemplo la franja mediterránea y también con regadíos de larga tradición, concurren varios factores de crecimiento, por una parte, la migración que reciben, y por otra crecen por su propio potencial de desarrollo.

Los territorios con cultivos en regadío, frente a las que no lo están presentan una estructura de población diferente, con mayor proporción de población joven, lo que es expresión de las mayores oportunidades de empleo que ofrece (Sánchez 2012; Valiente, 2019; Villalonga 2002). Este menor envejecimiento de la población y las posibilidades de encontrar un futuro en el medio rural es lo que hace que se establezcan en estas áreas y con ellos que pivoten el acceso a otros servicios, educación, sanitarios, mejora de las infraestructuras e inversiones sociales.

EL EFECTO DE LOS CAMPOS DE GOLF

España es por sus características climáticas, un destino clave para la práctica del deporte de golf (de hecho, es el 2º país más visitado después de EE. UU. con aproximadamente un millón de turistas/año,

procedentes la mayoría de Reino Unido) (EGA, 2019). La demanda es continua y regular durante todo el año lo que ayuda a la desestacionalización turística (Aymerich y Anabitarte, 2017).

El sector del golf, y todo lo que comporta, contribuye directamente a la economía nacional (aporta ingresos directos fruto de su actividad), y es una fuente indirecta a otras actividades de gran importancia como son al sector inmobiliario y al turismo (RFEG, 2019). La mayor demanda de este deporte lleva a los promotores inmobiliarios a hacer del golf el complemento ideal en la construcción de grandes urbanizaciones y hoteles, por lo que la mayor parte de los campos se encuentran situados en zonas turísticas importantes. Hay de hecho, una clara concentración en las zonas litorales, así como en el centro peninsular, localizándose principalmente en Andalucía (un 30% de la oferta total de España sobre todo en la Costa del Sol), Cataluña, Comunidad Valenciana, Región de Murcia y Madrid. Registrados en España existen unos 500 campos de golf (RFEG, 2019).

La valoración positiva que supone su contribución al PIB o la creación de empleos directos (más de 11.000 empleos) (Aymerich y Anabitarte, 2017) no está exenta de polémica por los impactos que ocasiona y dado que es una actividad que consume recursos hídricos y del suelo (Ruiz Canales et al., 2007; Melián et al., 2014b).

El consumo de agua en un campo de golf depende de muchos factores: tipo de suelo, localización geográfica, clima, orientación, calidad del agua, sistemas de riego, especies cultivadas de césped y superficie sembrada. Además del riego (por aspersión), se añade la construcción de lagos, por diseño o como sistemas de almacenamiento.

Mantener un campo de golf en estado de juego requiere unas actividades similares a las prácticas agrícolas, de hecho, es considerado como una modalidad más de agricultura intensiva (aunque con ingresos mucho mayores), y a la que se le exige, en consecuencia, un uso muy eficiente del agua (Ruiz Canales et al., 2007).

En un campo medio de dieciocho hoyos la superficie sembrada de césped será de unas 35-45 hectáreas sobre una total de 45-60 ha, aunque no toda ella requiere el mismo cuidado de riego, prioritario sólo en la zona de "greenes" y "tees". Considerando los 500 campos de golf una aproximación a la superficie de regadío de golf en nuestro país supone unas 20.000 ha (RFEG, 2019), poco representativo en comparación con las has destinadas a agricultura.

Como estrategias de ahorro es recomendable el empleo de elementos de programación del riego, automatización y monitorización (Córcoles et al, 2016; Melián-Navarro, et al., 2017; Molina Martínez y Ruiz Canales, 2010), regar cuando menor es la evapotranspiración del cultivo (riego nocturno o a primeras horas de la mañana), y disponer de un buen sistema de drenaje que recupere los excedentes para recircularlos. Instalar si se puede una estación meteorológica en el propio campo que permita la suspensión del riego si hay precipitación de lluvia significativa (García-González, et al., 2015). El buen mantenimiento de las instalaciones de riego también es fundamental para evitar pérdidas y fugas.

El agua como recurso escaso, de alto valor económico y ambiental, exige una gestión eficiente (Melián et al., 2014a). La preocupación y prioridad ambiental es la que ha condicionado que en algunos territorios se apueste por el consumo de agua regenerada con este fin (Costa y Melián, 2015), así como por un diseño y planificación territorial acorde a los requisitos de sostenibilidad.

En España el Real Decreto, 1620/2007, de 7 de diciembre, marca los requisitos mínimos del agua depurada para su utilización en el riego. La utilización de aguas residuales regeneradas o aguas procedentes de la desalación constituye una fórmula respetuosa con el medio ambiente y coherente con la situación de escasez, reduciendo la presión sobre los recursos hídricos (Nicolás et al. 2011; Ortuño-Padilla y Fernández-Aracil, 2016). Dos beneficios directos (además de la liberalización de caudales) obtendríamos: la reducción de fertilizantes pues el agua ya posee nutrientes, y el descenso de agentes contaminantes a través del filtrado por el césped.

Estos efluentes depurados, pueden incluso haberse generado en el propio complejo inmobiliario anexo al campo de golf, aunque para llegar a la autosuficiencia y cubrir los costes de la depuración, se requieren bastantes viviendas y una ocupación anual elevada.

Un campo de golf bien diseñado y gestionado supone una fuente de ingresos interesante para la economía de la zona. Su planificación previa es importante y la gestión del mismo también, para que sea sostenible y compatible con el medio ambiente (Millington y Wilson, 2016; Priego de Montiano et al., 2006). El campo de golf ha de estar completamente integrado en el ciclo del agua y en su entorno natural. Desde una perspectiva ecológica, adaptarse a las características del entorno. El diseño paisajístico complementario al propio campo debe optar por plantas autóctonas, adaptadas al clima, y con menores exigencias de agua. Y debe ser incluido en las políticas de ordenación del territorio y planificación urbanística (Abadía y Melgarejo, 2017).

INFRAESTRUCTURAS

Entre las políticas europeas para el Desarrollo Rural destacan los Fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), que para el período 2000-2006, y a través del Reglamento (CE) n° 1783/1999, impulsó varias medidas, entre ellas las Inversiones en infraestructuras en las regiones del objetivo n° 1 que contribuyan al desarrollo, al ajuste estructural, a la creación y al mantenimiento de puestos de trabajo y, en todas las regiones subvencionables, a la diversificación, revitalización, integración y renovación de los centros de actividad económica y los espacios industriales en declive, de las zonas urbanas degradadas, y de las zonas rurales y zonas dependientes de la pesca. Estas inversiones pueden también tener por objeto el desarrollo de las redes transeuropeas de transporte, telecomunicaciones y energía en las regiones del objetivo n° 1. España fue un país beneficiario de los recursos del Objetivo n° 1, con un 28% del total asignado a este objetivo 38.096 millones de €, entre 2000 y 2006, siendo 12 regiones españolas las que reportaron de estas ayudas (Comisión Europea, 1999).

La política de desarrollo rural horizonte 2007-2013 (2006/144/CE: Decisión del Consejo, de 20 de febrero de 2006, sobre las directrices estratégicas comunitarias de desarrollo rural) habilitó el eje 3, que contribuyó al desarrollo de infraestructuras locales y del capital humano en las zonas rurales para mejorar la calidad de vida en las zonas rurales (crecimiento) y creación de empleo en todos los sectores y propiciar la diversificación de las actividades económicas).

El Reglamento (UE) n° 1303/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de diciembre de 2013, habilita los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos 2014-2020. El desarrollo de infraestructuras corrige los desequilibrios regionales, facilita la reconversión de las regiones y promueve la cohesión económica y social. Gracias a estas infraestructuras se generan externalidades positivas para las zonas de regadío, las industrias auxiliares se localizan próximas y permiten un buen transporte, la población que trabaja en este sector también.

CONCLUSIONES

El regadío dinamiza un territorio y esto se observa a partir de los diversos efectos que provoca tanto económicos, como sociales y antrópicos. Por ejemplo y como se ha puesto de manifiesto en este trabajo, existe un trasvase de población desde las zonas no regadas a las regadas, se crean empresas y se optimiza el uso de las infraestructuras. Se observa también un equilibrio de género en la población, muy significativo porque en los territorios de secano este equilibrio no se alcanza, y una menor tasa de envejecimiento, fruto de las oportunidades que brinda de desarrollo endógeno.

Se crean redes sociales y de participación. La organización de los regantes se efectúa a través de Comunidades de usuarios, comunidades de regantes, también se vincula con la creación de cooperativas y sociedades agrarias de transformación. Este tipo de corporaciones son entidades asociativas que tienen por finalidad cubrir las necesidades económicas y sociales de sus asociados y mejorar su calidad de vida mediante el esfuerzo común.

Por otra parte, en los entornos de regadío proliferan un conjunto de empresas auxiliares (fitosanitarios, semillas, riego, sustratos, plástico, asesoría, etc.) que aportan valor añadido a la zona, generan empleo y riqueza.

A pesar de ello el regadío no está exento de críticas, por el uso de suelo, por el uso del escasísimo recurso hídrico, el agua, más todavía en las zonas más limitantes y en la que éste es empleado paradójicamente con mucha eficiencia como es en los cultivos intensivos. La automatización, el telecontrol y otras medidas como el riego deficitario controlado, son fundamentales para primar un uso eficiente del mismo y que los resultados sean máximos con la menor aportación.

No obstante, en situaciones límite es cuando somos conscientes de la importancia del sector primario como proveedor de alimentos, donde la agricultura de regadío desempeña un extraordinario papel.

Referencias

Abadía Sánchez, R. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.) (2017). El sector agroalimentario: sostenibilidad, cooperación y expansión. <https://publicaciones.ua.es/es/catalogo/el-sector-agroalimentario-sostenibilidad-cooperacion-y-expansion/978-84-16724-79-6>

Araújo Vila, N., Fraiz Brea, J.A. y Cardoso, L. (2018). "Gestión del agua en la agricultura. Análisis de países con potencial de crecimiento". *Agroalimentaria*, 24 (47): 25-42.

Aymerich, F. y Anabitarte, J. (2017). El impacto económico del golf en España 2016. *Golf Business Partners*.

Berbel Vecino, J. y Montilla-López, N. M. (2019). Efectos de la modernización de riegos en España 2002-2015 y más allá. En Melgarejo Moreno, J. (ed.) (2019). Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad. Alacant: Universitat d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/88367>

Calvo Palomares, R. y González Cardona, J. (2011). "La creación de empresas de economía social en el modelo de desarrollo local: reflexiones sobre la divergencia actual del caso valenciano". REVESCO, Revista de Estudios Cooperativos, 104: 7-37

Canatario Duarte, A., Melián Navarro, A. y Ruiz Canales, A. (2012). "Avaliação do uso e produtividade da água e da energia em associações de regantes: aplicação a duas realidades na península ibérica". Ponencia presentada en el IV Congresso Nacional de Rega e Drenagem, Coimbra.

Caravaca, I., González, G. y Mendoza, A. (2007). "Indicadores de dinamismo, innovación y desarrollo: su aplicación en ciudades pequeñas y medias de Andalucía". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 43: 131-154.

Colletis, G. y Pecqueur, B. (1993). "Intégration des espaces et quasi intégration des firmes: vers de nouvelles rencontres productives". Revue d'Economie Régionale et Urbaine, 3: 485-508.

Comisión Europea (1999), https://ec.europa.eu/regional_policy/en/funding/erdf/.

Córcoles, J.I., Frizzone, J.A., Lima, S.C.R.V., Mateos, L., Neale, C.M.U., Snyder, R.L. y Souza, F. (2016). "Irrigation advisory service and performance indicators in baixoacarau irrigation district, Brazil". Irrigation Drainage, 65(1): 61-72.

Cooperativas Agroalimentarias (2017). Plan Estratégico de Cooperativas Agroalimentarias 2017-2021. Cooperativas Agroalimentarias España. Madrid.

Coque, J. (2005). Compartir soluciones: las cooperativas como factor de desarrollo en zonas desfavorecidas. Consejo Económico y Social. Madrid.

Costa Botella, D. y Melián Navarro, A. (2015). "Los retos del uso del agua depurada y desalada en el sureste español: aplicación a la agricultura". En: Navarro Caballero, T.M. (Eds): Desafíos del Derecho de Aguas. Variables jurídicas, económicas, ambientales y de Derecho comparado. Thompson Reuters ARANZADI, 451-460

De Miguel Gómez, M.D., Montesinos Navarro, A. y Melián Navarro, A. (2013). "Uso y gestión del agua de riego en la agricultura mediterránea". Ponencia presentada en el XXXI Congreso Nacional de Riegos, Madrid.

EGA (2019). European Golf Association. <http://www.ega-golf.ch>

Esteban, M.L., Pérez, F.J. y Gargallo, A. (2018). Áreas rurales y cooperativas: iniciativas de mujeres para el desarrollo". REVESCO, Revista de Estudios Cooperativos, 127: 116-138.

García-González, J.F., Moreno, M.A., Molina, J.M., Madueño, A. y Ruiz-Canales, A. (2015). "Use of software to model the water and energy use of an irrigation pipenetwork on a golf course". Agricultural Water Management, 151: 37-42.

López, M. (2007). El regadío y el sector tecnológico español del riego: un referente mundial de la nueva cultura del agua. Foro hispano-chino del agua, Dongying, 15 de octubre.

MAPA. (2008) Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/plan-nacional-regadios/>

MAPA. (2018) Informe Anual de las SATS. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/informeannualsat2018_tcm30-380032.pdf

Melgarejo Moreno, J. (Dir.) (2009): El trasvase Tajo-Segura: Repercusiones económicas, sociales y ambientales en la cuenca del Segura. CAM: Alicante.

Melgarejo Moreno, J.; Molina Giménez, A.; Fernández Aracil, P. (2018). 100 años de Riegos de Levante, izquierda del Segura. Alacant: Universitat d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/101112>

Melgarejo Moreno, J. y Abadía Sánchez, R. (Eds.) (2018). Agroalimentación, agua y sostenibilidad. <https://publicaciones.ua.es/files/detalles/978-84-1302-014-30AB9B40D-7.pdf>

Melgarejo Moreno, J. y Abadía Sánchez, R. (eds.) (2019). Financiación, internacionalización y sostenibilidad. <http://hdl.handle.net/10045/102782>

Melgarejo Moreno, J. (ed.) (2019). Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad. Alacant: Universitat d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/88367>

Melián Navarro, A., De Miguel Gómez, M.D. y Montesinos Navarro, A. (2014a). "Efficient water use in irrigated agriculture. A previous study of application in fruit growing Southeast Spanish". Ponencia presentada en la Conference on Agricultural Engineering. AgEng 2014, Zurich.

Melián Navarro, A., De Miguel Gómez, M.D. y Ruiz-Canales, A (2014b). "Using benchmarking techniques for water use management in golf courses across Southeast Spain". Ponencia presentada en la Conference on Agricultural Engineering. AgEng 2014, Zurich.

Melián Navarro, A. y Navarro Caballero, T.M. (2015). "Las fuentes difusas de contaminación agraria: resultados de la contaminación por nitratos en la Cuenca del Segura". En: Molina Giménez, A., Ahmed, F., Melgarejo Moreno, J., Buzaglo Dantas, M. y Márcio Cruz, P. (Eds): Agua, Sostenibilidad y Derecho. UNIVALI, Brasil: 66-78

Melián-Navarro, A., Molina-Martínez, J.M., Rodríguez-Díaz, J.A. y Ruiz-Canales, A. (2017). "Performance indicators to assess the implementation of automation in golf courses located in Southeast Spain". *Agricultural Water Management*, 183: 35-40.

Méndez, R., Melero, A. y Calatrava, A. (2008). "Desarrollo territorial policéntrico y ciudades intermedias: recursos productivos y dinámicas económicas locales en Andalucía". *Estudios Geográficos*, 69(265): 637-663.

Millington, B. y Wilson, B. (2016). "An unexceptional exception: golf, pesticides, and environmental regulation in Canada". *International Review for the Sociology of Sport*, 51 (4): 446-467.

Molina Martínez, J.M. y Ruiz Canales, A. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Ediciones Técnicas Marcombo. Barcelona.

Nicolás, E., Pedrero, F., Alarcón, J.J., Mounzer, O., Martínez, V., Nortes, P.A., Alcón, F.J., Egea, G. y De Miguel, M.D. (2011). *Estudio de la viabilidad de uso de las aguas regeneradas procedentes de la EDAR de Jumilla en la Comunidad de Regantes Miraflores*. Consejería de Agricultura y Agua. Región de Murcia.

Ortuño-Padilla, A. y Fernández-Aracil, P. (2016). "Reutilización de aguas y ocio: Campos de golf. Reuse of Wastewater in Golf Courses". *Agua y Territorio*, 8: 93-102.

OSCAE (2019). *Observatorio Socioeconómico del Cooperativismo Agroalimentario Español*. <http://www.agro-alimentarias.coop/>

Pérez González, M.C. y Valiente Palma, L. (2017). "La localización sectorial del cooperativismo: una aproximación a nivel territorial español". *REVESCO, Revista de Estudios Cooperativos*, 123: 198-224.

Priego de Montiano, R., Gomez-Lama, M. y Recio, J.M. (2006). *El golf y su entorno en Andalucía*. CajaMar y Real Federación de Golf de Andalucía.

RFEG (2019). *Real Federación Española de Golf*. <http://www.rfegolf.es/default.aspx>
Ruiz-Canales, A., Rodríguez-Díaz, J.A., Molina-Martínez, A., González-María, E. y Melián-Navarro, A. (2007). "Automatización y telecontrol de la gestión del riego para la mejora de la eficiencia del uso del agua en proyectos de campos de golf". *Riegos y Drenajes XXI*, 180: 20-21.

Sánchez Peña, L. (2012). "Alcances y límites de los métodos de análisis espacial para el estudio de la pobreza urbana". *Papeles de Población*, 18 (72): 147-179.

Valiente Palma, L. (2019). "¿Podría estar contribuyendo el cooperativismo a fijar la población en el territorio de Andalucía?". *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 97: 49-74.

Villalonga, A. (2002). "Los nuevos yacimientos de empleo: una oportunidad para crear empleo y satisfacer nuevas necesidades sociales". *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias*, 6 (119): 117.

5- El regadío y la mejora socioeconómica

Jose A. Gómez-Limón y Carlos Gutiérrez-Martín

INTRODUCCIÓN

La relevancia de la agricultura de regadío se debe tanto a su mayor productividad (aumento de los rendimientos de los cultivos existentes) como a la posibilidad de desarrollar nuevos cultivos (cultivos de verano y cultivos permanentes -frutales). Ambos factores han hecho que, desde la antigüedad, el regadío se considere una actividad básica para la supervivencia y el progreso social y económico de la humanidad. Este hecho justifica que la superficie regada en el mundo no haya parado de crecer, hasta llegar hoy en día a los 338 millones de hectáreas. De esta manera hoy en día, aunque la extensión del regadío mundial es limitada, puesto que representa solo el 7% de la superficie agraria útil mundial, este tipo de agricultura supone un elemento clave para la alimentación del planeta (FAO, 2011).

España no ha sido ajena al desarrollo de la agricultura de regadío, y desde tiempos anteriores a la dominación romana se comenzaron con las transformaciones en regadío, hasta llegar al millón de hectáreas al comienzo del siglo XX. No obstante, ha sido en el pasado siglo, y muy especialmente en su segunda mitad, cuando la expansión del regadío ha sido más intensa, gracias a la iniciativa de los poderes públicos. El proceso de expansión del regadío ha llegado hasta nuestros días, alcanzándose en la actualidad 3,83 millón ha regadas, lo que hacen de España el país con mayor superficie regada de Europa (no así en porcentaje sobre el SAU donde Italia nos supera).

Estas políticas de fomento del regadío han estado justificadas básicamente en los positivos efectos socioeconómicos que produce en los territorios donde se implanta. Así cabe afirmar que las transformaciones de secanos en regadíos ha sido la principal política de desarrollo rural en nuestro país (Gómez-Limón, 2008). El objetivo de este capítulo es recabar información actualizada sobre los impactos económicos y sociales de la agricultura de regadío, tanto el medio rural donde se localizan como para el conjunto de España. Con ello se trata de visualizar la contribución de este subsector agrario al bienestar de la sociedad actual, aspecto que, incomprensiblemente, tiende a minimizarse en los debates sociales y políticos que se mantienen sobre este tipo de agricultura.

EL REGADÍO COMO FUENTE DE RIQUEZA: IMPACTO ECONÓMICO CONTRIBUCIÓN MICROECONÓMICA

La disponibilidad de agua para regar permite incrementar la productividad de la agricultura, mejorando con ello la rentabilidad de las explotaciones agrícolas. Según los datos ofrecidos por la Red Contable Agraria Nacional (RECAN) para el año 2017 (MAPA, 2019a), el valor anual de la producción de una hectárea promedio de regadío en España (5.576 EUR) es 5,4 veces superior a una hectárea promedio de secano (1.030 EUR). Esta superioridad del regadío respecto al secano también se percibe en los beneficios de la actividad, cuantificados en términos de renta neta¹. Así, mientras una hectárea media de regadío genera en España una renta neta para el agricultor de 2.328 EUR anuales, una hectárea media de secano apenas genera 484 EUR de renta al año. Esto supone una relación 4,8/1.

¹ La renta neta de la explotación se obtiene deduciendo del valor de la producción más las subvenciones percibidas, todos los costes derivados de los consumos intermedios, la mano de obra asalariada, las amortizaciones, los gastos financieros y los impuestos.

El MIMAM (2007), con datos correspondiente al año 2001, reportaba que la relación de rentabilidad entre el regadío y secano en España era 4,4/1. Comparando con los resultados más recientes antes comentados, se evidencia que en los últimos años las diferencias en la rentabilidad de la actividad se han incrementado en favor del regadío.

En cualquier caso, debe señalarse que la relación de rentabilidad regadío/secano es muy heterogénea en función la localización del regadío (MIMAM, 2007). En este sentido, debe señalarse que esta relación puede ser superior a 20/1 en zonas del litoral mediterráneo, como en Almería o Murcia, donde la puesta en riego permite pasar de una rentabilidad en secano prácticamente marginal a rentas netas en regadío superiores a los 10.000 EUR/ha•año.

Además, cabe destacar que el regadío no sólo permite unas rentas más altas, sino también más seguras, tanto por la mayor diversificación de producciones que permite, como por la reducción de los riesgos climáticos derivados de la variabilidad de precipitaciones. En este sentido resulta evidente cómo la disponibilidad de agua por parte del sector agrario supone para muchos agricultores la supervivencia económica, especialmente en las zonas con condiciones de aridez más severas, donde las producciones de secano resultan menos rentables y más aleatorias (zonas mediterráneas del Levante y sur peninsular).

No debe olvidarse que, en muchas zonas rurales, el sector primario sigue teniendo un papel básico dentro de sus economías locales, constituyendo la principal fuente de rentas de la población. En este sentido la mayor rentabilidad del regadío no sólo debe entenderse como un elemento generador de renta privada, sino también como un elemento productivo que contribuye a la viabilidad económica de las zonas rurales donde está implantado.

La mayor rentabilidad de la actividad de regadío motiva igualmente un aumento del valor de la tierra regada. En el año 2018 el precio medio de la tierra de secano para el conjunto de España se situaba en 9.447 EUR/ha, mientras que la de regadío ascendía hasta los 28.444 EUR/ha (MAPA, 2019b). Esto supone que la transformación en regadío, como promedio nacional, multiplica por tres el valor de la tierra.

Desde una perspectiva microeconómica es igualmente interesante analizar en detalle la influencia de las ayudas de la Política Agraria Común (PAC) en la rentabilidad de las explotaciones de regadío. En este sentido resultan igualmente relevantes los datos ofrecidos por la RECAN para el año 2017 (MAPA, 2019a). Así, si bien el regadío percibe unos pagos de la PAC por hectárea superiores a los del secano (563 EUR/ha•año del regadío frente a 229 EUR/ha•año del secano), debe señalarse que las explotaciones de regadío son menos dependientes de las ayudas de la PAC que las de secano. Así, mientras que, como promedio, en las explotaciones de regadío las subvenciones representan únicamente el 24,2% de su renta neta, en las explotaciones de secano estas ayudas suponen de media el 47,3% de su renta neta. Estos resultados son similares a los que reportaron Gómez-Limón et al. (2007).

CONTRIBUCIÓN MACROECONÓMICA

La elevada productividad y rentabilidad del regadío a nivel microeconómico tiene igualmente una traducción en términos macroeconómicos. Así, como reportan Gómez-Limón et al. (2007), una hectárea de regadío realiza una contribución al Producto Interior Bruto (PIB) entre 5 y 25 veces mayor que una hectárea de secano. Así, a pesar de contabilizar sólo el 22,5% de las tierras de cultivo en España, el regadío contribuía con el 64% de la Producción Final Agrícola (vegetal) nacional (Gómez-Limón, 2008). Esta frac-

ción supone en la actualidad una producción anual en torno a los 16.000 millones de euros, contribuyendo a la contabilidad nacional con un Valor Añadido Bruto a precios básicos (VABpb) anual de 9.500 millones de euros. Con estos datos se puede estimar que la contribución hoy en día del regadío a la economía nacional supone algo menos de un 1% de su PIB.

Una primera lectura de los datos anteriores permitiría llegar a la conclusión de que el regadío (y el conjunto de la agricultura), no es un sector de especial relevancia en términos macroeconómicos para la economía española del siglo XXI. No obstante, la consideración anterior no es óbice para señalar igualmente que el peso del regadío resulta mucho más relevante en algunas comunidades autónomas. Así, en regiones como Murcia, Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura o La Rioja, donde la agricultura tiene un mayor peso económico relativo y el regadío está más ampliamente extendido, puede estimarse que la aportación de este tipo particular de agricultura supera el 3% del PIB regional (Gómez-Limón, 2008).

En cualquier caso, para terminar de comprender las cifras anteriores y enmarcar adecuadamente la importancia real del regadío en el conjunto de la economía, debe aclararse que todos los datos anteriores se refieren únicamente a la generación de valor por parte del sector agrario (producción agrícola). Cabe indicar, empero, que los incrementos en el valor de la producción por el uso del agua en el regadío tienen efectos igualmente positivos en otros sectores económicos relacionados con el agrario, efectos en la cadena de valor 'hacia atrás' (p. ej., sectores de insumos agrarios, maquinaria, construcción, ...) y 'hacia delante' (p. ej., sectores agroindustriales, de transportes, etc.), que no son cuantificados mediante las anteriores cifras macroeconómicas. Los impactos económicos de un determinado sector sobre el conjunto de la economía necesariamente deben estimarse a través del análisis de tablas input-output (TIO) y las matrices de contabilidad social (MCS). Con estas herramientas se pueden calcular los correspondientes multiplicadores del efecto arrastre, que representan el impacto que tienen los cambios en la demanda final de un determinado sector (por ejemplo, el agrario) sobre el resto de los sectores o sobre el conjunto de la economía.

Recuadro 4

El sector agrario, la industria agroalimentaria y estas actividades intrínsecamente ligadas a ellas en los ámbitos industriales, de servicios, transporte, almacenamiento y distribución configuran un sistema agroalimentario, cuyo peso en la economía española es muy superior al que se deduce de la cuantificación estricta del Valor Añadido Bruto generado por el sector agrario y por la industria agroalimentaria. Estos dos ámbitos productivos necesitan y generan una amplia variedad de insumos y servicios. Igualmente, el transporte y comercialización de los productos terminados o semiterminados, necesarios tanto para el proceso productivo como para hacer llegar los alimentos al consumidor final, comprenden otro variado conjunto de actividades y servicios conexos.

De acuerdo con el análisis desarrollado por el Ministerio de Agricultura, el Valor Añadido Bruto (VAB) del sistema agroalimentario supondría alrededor del 8,4% del VAB total de la economía española y estaría generando unos 2,3 millones de empleos. Por fases, la generación de VAB del sistema se distribuiría porcentualmente en: industria de insumos y servicios (9,7%), rama agraria (23,9%), industria agroalimentaria (25,1%), servicios de transporte (9,7%) y distribución comercial (31,5%).

Fuente: La contribución del sistema agroalimentario a la economía española: una propuesta metodológica” Análisis y Prospectiva - Serie AgrInfo nº 23 Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Son múltiples los trabajos que se han realizado sobre la contribución real del sector agrario al conjunto de la economía. Todos ellos ponen de relieve los importantes efectos de arrastre del sector primario sobre el resto de la economía, que hacen de la agricultura una rama de actividad relevante dentro de la economía nacional, dado su efecto multiplicador tanto en términos de producción, como de renta y empleo (Cansino Muñoz-Repiso et al., 2013). Desgraciadamente, dadas las dificultades metodológicas existentes para separar las estadísticas oficiales por orientaciones productivas entre regadío y secano, no existen trabajos que establezcan los efectos multiplicadores específicos de este tipo particular de agricultura. No obstante, de los resultados de diversos estudios (p. ej., Berbel y Gutiérrez-Martín, 2004) parece deducirse que las producciones de regadío (p. ej., los hortícolas) siguen cadenas de valor (industrialización y comercialización) que generan un valor añadido total significativamente más elevado que el derivado de los productos de secano (p. ej., los cereales). Por tanto, puede considerarse que el regadío genera efectos de arrastre sobre el conjunto de la economía proporcionalmente mayores que el secano, haciendo que su incidencia sobre la renta y el empleo a nivel nacional sea significativamente superior al que indica su aportación al VABpb. Para más detalle sobre este aspecto se puede consultar el Capítulo 4 de esta misma obra.

Otra forma de valorar la importancia del regadío para la economía española es su contribución al comercio exterior. En este sentido cabe comentar que España presenta una balanza comercial claramente deficitaria. De hecho, en 2018 las importaciones han sido 33.840 millones de euros superiores a las exportaciones. Por el contrario, la balanza comercial alimentaria agraria es netamente excedentaria, con un superávit comercial que en 2018 alcanzó los 15.353 millones de euros (MAPA, 2019c). Este superávit puede cuantificarse igualmente en términos de tasa de cobertura en el 158% (41.708 MEUR de exportaciones/26.355 MEUR de importaciones).

Sin duda este buen comportamiento del comercio exterior agroalimentario se debe en buena medida al dinamismo exportador de subsectores íntimamente asociados a las producciones del regadío. Así lo evidencian los elevados saldos positivos y las elevadas tasas de cobertura de las producciones típicas de este tipo de agricultura en el año 2018, como las frutas (saldo de 7.663 MEUR y tasa de cobertura del 284%) o las hortalizas (5.673 MEUR y 452%, respectivamente) (MAPA, 2019c). Así pues, cabe concluir afirmando que el regadío en España es un elemento claramente positivo para la balanza comercial, que permite compensar parcialmente el déficit comercial existente a nivel nacional.

EL REGADÍO COMO FUENTE DE EMPLEO Y DESARROLLO RURAL: IMPACTO SOCIAL FACTOR DE CREACIÓN DE EMPLEO Y DE VITALIDAD DE LAS ZONAS RURALES

La contribución social más relevante de la agricultura de regadío está relacionada con la generación de empleo en el medio rural, dado que este tipo de agricultura es más intensivo en el uso del factor trabajo que el secano. Efectivamente, según datos de la RECAN para el año 2017 (MAPA, 2019a), como promedio en España, una hectárea de regadío emplea 0,109 unidades de trabajo agrario (UTA, equivalente al trabajo generado por una persona en un año), mientras que una hectárea de secano necesita solo 0,024 UTA. Utilizando estas cifras medias, se evidencia que para generar un puesto de trabajo en la agricultura se requieren 9,21 hectáreas de regadío o 41,63 hectáreas de secano.

Extrapolando los datos anteriores para el conjunto de España, se deduce que el regadío genera un empleo directo para 415.714 personas, lo que supone el 39,4% de la mano de obra ocupada en la agricultura. Si tiene en cuenta que, según datos de la Encuesta Población Activa, este sector ocupó en el año 2019 al 4,0% de los ocupados totales, puede estimarse que el regadío genera empleo para el 1,6% de los ocupados del conjunto del Estado.

En todo caso, cabe comentar que este incremento medio en las necesidades del factor trabajo del regadío respecto al secano, con una relación para el conjunto de España de 4,5/1, esconde importantes disparidades entre orientaciones productivas y territorios. De hecho, la relación de mano de obra regadío/secano para un cereal regado por aspersión es de apenas 1,1/1, pero para cultivos de frutas y hortalizas al aire libre la relación alcanza valores de 5/1, y en cultivos de invernadero puede llegar hasta los 50/1 (Gómez-Limón, 2008). Estos datos ponen de manifiesto que el papel del regadío como generador de empleo depende de la superficie regada, pero especialmente de las orientaciones productivas a las que se dedique. Esto explica que, en regiones donde el regadío se orienta hacia producciones hortofrutícolas, la generación de empleo es especialmente intensa, llegando a dar trabajo a más del 5% del total de ocupados.

Los datos anteriores sobre la contribución del regadío al empleo total no deben servir para infravalorar la importancia social de este tipo de agricultura. Efectivamente, se dan una serie de factores que hacen que este empleo sea un importante elemento de cohesión social, especialmente en las comarcas rurales, donde las alternativas laborales son muy limitadas:

a) Por un lado, debe indicarse que la mayor rentabilidad del regadío respecto al secano se traduce igualmente en una mayor productividad aparente del trabajo. Así, según la RECAN (MAPA, 2019a), el valor promedio para el indicador Valor Añadido Neto (VAN) por UTA para el regadío en España es de 31.782 EUR/UTA, mientras que para el secano es de 25.516 EUR/UTA. Esto implica **una mayor capacidad de remunerar el factor trabajo** en el regadío que el secano.

b) Asimismo, el regadío lleva aparejado la generación de empleo indirecto en los diferentes escalones de las cadenas de valor añadido de los productos agroalimentarios que va más allá de los datos de empleo directo en el sector primario antes referido. Así, la presencia de regadío genera normalmente empleo local en las agroindustrias y en empresas de servicios (insumos agrarios, asesoramiento técnico, transporte, servicios financieros, etc.), que mejoran la empleabilidad de mujeres y jóvenes. En este sentido algunos cálculos apuntan que **cada empleo directo en el regadío genera 0,46 empleos indirectos** en empresas agroindustriales y de suministros agrarios igualmente localizados en el medio rural (Berbel y Gutiérrez-Martín, 2004).

c) Adicionalmente, el regadío no sólo genera más empleo en el medio rural que el secano, sino que hace que éste sea más estable. La diversidad de cultivos propia del regadío implica que estas explotaciones requieran mantener una actividad laboral más repartida a lo largo del año, **reduciendo con ello la estacionalidad de la mano de obra** (Gómez-Limón et al., 2007). Tal circunstancia permite que el regadío contribuya de forma más efectiva a la fijación de población en el territorio.

La conjunción de todos estos factores hace que la presencia de regadío en el territorio permita mantener densidades de población superiores a las zonas con predominio del secano, a la vez que tasas de crecimiento demográfico generalmente estables (Delgado Urrecho y Martínez Fernández, 2017). Incluso en zonas rurales afectadas de forma significativa por la despoblación (p. ej., amplias zonas de Aragón o Castilla y León), la reducción poblacional en zonas con regadío es mucho más lenta que en aquellas donde este tipo de agricultura está ausente (MAPA, 2001).

Además, debe indicarse que la presencia del regadío favorece una adecuada estructura de la población. Así, comparando las comarcas donde el regadío es relevante (más del 20% de su SAU) con respecto a las que apenas tienen regadío (menos del 2% de su SAU), se evidencia que en las zonas de regadío la población es más joven, existe un mayor porcentaje de activos y la relación de géneros está equilibrada (Sancho Hazak, 2002). Estas características, fruto de las mayores oportunidades de empleo derivadas del regadío y los sectores asociados, permiten una mejor supervivencia demográfica de las zonas regadas, donde el índice de sustitución de la población es mucho más favorable que las de secano (Del Campo, 2017).

Finalmente debe señalarse que el regadío se caracteriza igualmente por hacer un uso más intensivo del factor capital, ya que requiere mayores inversiones productivas (sistemas de riego, plantaciones frutales, invernaderos, etc.), y un mayor grado de innovación tecnológica (maquinaria y equipos de precisión), especialmente en los regadíos modernizados. Ambas características hacen que en las zonas de regadío haya una mayor presencia de instituciones colectivas (comunidades de regantes y cooperativas de agricultores) y empresas de servicios con trabajadores de alta cualificación profesional que asesoran técnicamente a los agricultores. Desde una perspectiva social, esto contribuye al fortalecimiento de las relaciones y las sinergias personales y sociales (intra e interinstitucionales) de las zonas donde se localiza el regadío, suponiendo un refuerzo del capital social como catalizador del desarrollo local (Gómez-Limón et al., 2013).

Como conclusión de todo lo anterior, cabe afirmar que el regadío contribuye positivamente a la vitalidad del medio rural, frenando con ello la emigración rural y el despoblamiento de las zonas donde está implantado (Villanueva et al., 2012). En el capítulo precedente de este libro el lector puede encontrar elementos adicionales de análisis que ratifican esta misma conclusión.

ELEMENTO DE VERTEBRACIÓN TERRITORIAL

Las políticas de ordenación del territorio no deben plantearse considerando exclusivamente parámetros de eficiencia económica; es decir, asignando los recursos públicos exclusivamente en función de la rentabilidad relativa de las diferentes actividades económicas. Por el contrario, estas políticas deben implementarse teniendo presente criterios de equidad, al objeto de permitir la necesaria racionalidad de los territorios, en la cual todas las comarcas rurales cuenten con una mínima organización de infraestructuras y servicios para sus residentes. Este argumento ha servido durante décadas para apoyar la política de fomento de regadíos en zonas rurales deprimidas y con peligro de despoblamiento, fundamentalmente en el interior del país, a pesar de que allí el regadío no es tan rentable como en otras zonas.

Lo anterior justifica la extensión y dispersión actual del regadío en España. Efectivamente, la agricultura de regadío está presente, con diferentes intensidades, en el 96% de los municipios españoles. De hecho, según la encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrarias del año 2016, casi la mitad de las explotaciones agrarias españolas (414.458 sobre un total de 933.059) cuenta con parcelas regadas. Esta distribución a lo largo y ancho del territorio nacional ha hecho que la presencia de regadíos se considere un elemento vertebrador de los espacios rurales. En este sentido, debe entenderse la política de regadíos desarrollada hasta la fecha como una apuesta por la igualdad de oportunidades en todos los territorios.

Por tanto, cabe afirmar que el regadío ha venido cumpliendo una importante función social como factor de equilibrio territorial, actuando como elemento básico para evitar el abandono y la consiguiente degradación del territorio, paisaje, recursos naturales y medio ambiente. También en el Capítulo 4 de este mismo libro pueden encontrarse argumentos adicionales sobre la positiva contribución del regadío en favor de un desarrollo regional equilibrado.

BIENESTAR SOCIAL Y PERCEPCIÓN PÚBLICA DEL REGADÍO

La agricultura de regadío es un sistema multifuncional, en la medida que suministra todo un conjunto de bienes y servicios demandado por la sociedad, tanto de carácter comercial (alimentos procedentes de su función económica) como no comerciales (bienes públicos como la vitalidad de las zonas rurales procedentes de sus funciones social y ambiental) (Gómez-Limón et al., 2007). Los apartados anteriores han tratado de analizar la oferta de estos bienes y servicios por parte de la agricultura de regadío (a excepción de los medioambientales, que se tratan en otro capítulo de manera monográfica). En este apartado se trata de analizar su demanda por parte de la sociedad. La consideración conjunta de los resultados de los enfoques de oferta y demanda nos permitirá, por último, analizar el grado de bienestar social asociado al regadío.

El debate sobre la multifuncionalidad agraria tiene como trasfondo la existencia de una demanda social a favor de una agricultura que produzca un conjunto amplio de bienes y servicios, entre los que se incluyen de forma destacada los procedentes de las funciones social y ambiental. Sin embargo, buena parte de estos bienes y servicios tienen características propias de los bienes públicos, por lo que carecen de un mercado donde intercambiarse y, en consecuencia, también carecen de precio (piénsese, por ejemplo, en la vitalidad de las zonas rurales). En cualquier caso, resulta evidente la necesidad de valorar económicamente tales bienes y servicios no comerciales.

La estimación de la demanda social de los bienes y servicios no comerciales procedentes de la agricultura se realiza determinando la contribución de estos a la función del bienestar social. Esta cuantificación se suele hacer estimando una función de utilidad social, tal y como han realizado Gómez-Limón y Atance (2004) para el caso de Castilla y León, o Arriaza y Gómez-Limón (2011) para Andalucía. En relación con la demanda de las diferentes funciones desarrolladas por el sector agrario, ambos trabajos han evidenciado que la sociedad española prioriza en primer lugar la función económica; en el caso de Castilla y León a esta función se le otorga un peso o importancia relativa sobre la demanda total del 40%, mientras en el caso de Andalucía este peso llega a ser hasta del 59%. La sociedad castellana y leonesa ha elegido la función social de la agricultura como su segunda prioridad, con un peso relativo del 32%. En caso de Andalucía esta misma función ha sido priorizada en tercer lugar, tras la función ambiental, aunque con un peso significativo del 14% sobre el total.

Como se ha puesto de manifiesto en los apartados anteriores, cabe afirmar que la agricultura de regadío en España desempeña las funciones económica y social de manera muy positiva. Si combinamos estas evidencias con las preferencias sociales que determinan la función de utilidad o bienestar social en relación con la agricultura, parece evidenciarse que la agricultura de regadío genera un nivel de bienestar para el conjunto de la sociedad (incremento en la función de utilidad social) superior al del secano.

A pesar de lo anterior, llama la atención cómo en numerosas ocasiones este tipo de sistemas agrarios no cuenta con el apoyo social que cabría esperar sobre la base de datos objetivos; es la denominada 'injusta crisis de popularidad' del regadío (Del Campo, 2006). Tal circunstancia puede observarse, por ejemplo, en los actuales debates sobre la expansión y modernización del regadío, en el cual diversos colectivos sociales muestran una clara oposición al desarrollo y mejora de la agricultura de regadío (Gutiérrez-Martín y Montilla-López, 2018). La clave para comprender esta aparente paradoja reside en la heterogeneidad interpersonal de las preferencias en relación de la multifuncionalidad del regadío, tal y como han evidenciado Gómez-Limón y Gómez-Ramos (2007a, 2007b). Si bien la función de utilidad social agregada, considerando conjuntamente a toda la sociedad, otorga una importancia de las funciones económica y social mayor que la ambiental, existen grupos sociales concretos que presentan una función

de bienestar significativamente diferente a la media. Piénsese, por ejemplo, en los grupos ecologistas, para los cuales resultan prioritarios los aspectos ambientales en su función de bienestar. Este hecho puede explicar que estos individuos valoren el bienestar aportado por la agricultura de regadío de forma globalmente negativa.

Por otro lado, con independencia de la forma funcional de la función de bienestar social, debe apuntarse igualmente la dispar percepción que tienen los individuos sobre el desempeño de las diferentes funciones desarrolladas por el regadío. Sobre este punto cabe destacar cómo la mayoría de la sociedad carece de información objetiva sobre este tema, por lo que su opinión se apoya exclusivamente en una serie de percepciones subjetivas derivadas de la observación de su entorno más próximo, de sus relaciones personales y de la influencia de los medios de comunicación (Gómez-Limón y Gómez-Ramos, 2007a, 2007b). En este sentido, debe tenerse en cuenta que los bienes y servicios procedentes de las funciones económica y social generados por el regadío tienen una componente marcadamente local; afectan básicamente al medio rural donde se localizan. Por el contrario, con los bienes y servicios procedentes de la función ambiental, que afecta a un conjunto mayor de la ciudadanía (piénsese, por ejemplo, en los casos de contaminación de masas de agua). Así, buena parte de la sociedad, especialmente la urbana, asocia el regadío a una serie de externalidades negativas generadas, apreciación que se ve acentuada por el interés mediático y la alarma social que generan este tipo de efectos ambientales. Así, puede comprenderse cómo la percepción de los “urbanitas” en relación con la multifuncionalidad de la agricultura no siempre valore en su justa medida el desempeño objetivo del regadío.

CONCLUSIONES

Como resumen del diagnóstico realizado en los apartados anteriores puede concluirse afirmando que la agricultura de regadío es un sistema multifuncional, que suministra a la sociedad todo un conjunto de bienes y servicios, tanto de carácter comercial (alimentos y materias primas procedentes de su función económica) como no comerciales (bienes -y males- públicos procedentes de sus funciones social y ambiental). En este sentido, desde una perspectiva pública se ha evidenciado cómo este tipo de agricultura proporciona mayores niveles de bienestar que el secano, en la medida que incrementa la rentabilidad de los agricultores y la generación de riqueza para el conjunto de la sociedad (adecuado desempeño de su función económica), y genera una mayor cantidad de empleo y fija población en las zonas rurales, favoreciendo con ello la vertebración del territorio (adecuado desempeño de su función social). La Tabla 1 resume la información cuantitativa proporcionada en este capítulo y que evidencia la anterior afirmación.

Tabla 1. Resumen de los indicadores cuantitativos de la contribución económica y social del regadío en España (año 2017)

	Regadío	Secano	Diferencia (%)
Contribución económica			
Valor de la producción (EUR/ha)	5.576	1.030	+441%
Renta neta agricultor (EUR/ha)	2.328	484	+381%
Valor de la tierra (EUR/ha)	28.444	9.447	+201%
Ayuda PAC/Renta neta (%)	24,2%	47,3%	-23%
Contribución Producción Final Agrícola (%)	64%	36%	---
Contribución social			
Generación empleo (UTA/ha)	0,109	0,024	+354%
Valor Añadido Neto / UTA (€/UTA)	31.782	25.516	+25%

Fuente: RECAN (2018), elaboración propia

A pesar de esta evidencia objetiva, el regadío en España viene padeciendo una crisis de popularidad en ciertos ámbitos de la sociedad, fruto tanto de las actitudes de determinados colectivos (priorización de la función ambiental del regadío respecto al resto de funciones dentro de la función su bienestar), como por una percepción sesgada del desempeño multifuncional de este tipo de agricultura apoyada en la información suministrada por los medios. A esto hay que unir el activismo y la capacidad de influencia sobre la acción política de estos colectivos (p. ej., los grupos ecologistas). La combinación de estas circunstancias explica que en numerosas ocasiones la agricultura de regadío no cuenta con el apoyo político necesario para su adecuado desarrollo.

Dentro de este contexto los esfuerzos a realizar desde el propio sector y desde los ámbitos académico y público deberían estar encaminados en una doble vía. La primera tiene una función claramente de pedagogía social, al objeto de informar adecuadamente al conjunto de la ciudadanía sobre los beneficios económicos y sociales que proporciona el regadío, así como delimitar objetivamente el impacto ambiental del mismo. Sólo de esta manera las futuras políticas para mejorar la gobernanza del regadío podrán contar con el necesario apoyo de la sociedad. En cualquier caso, en la actualidad no basta con evidenciar las bondades (efectos económicos y sociales positivos) que se derivan de la agricultura de regadío. Desde el sector y los poderes públicos hay que seguir dando los pasos necesarios para la adaptación continua del regadío para garantizar su supervivencia frente a los retos que se plantean en el futuro y adecuar su desempeño a las demandas sociales. Ya se ha avanzado mucho en este terreno con la modernización del sector realizada durante las últimas dos décadas, pero quedan aún algunos aspectos por mejorar al objeto de minimizar las externalidades ambientales que este tipo de agricultura pudiera generar.

Referencias

- Arriaza, M. y Gómez-Limón, J.A. (2011). "Valoración social del carácter multifuncional de la agricultura andaluza". ITEA. Información Técnica Económica Agraria, 107 (2), 102-125.
- Berbel, J. y Gutiérrez-Martín, C. (2004). Estudio de sostenibilidad del regadío del Guadalquivir. Feragua, Sevilla.
- Cansino Muñoz-Repiso, J.M., Cardenete, M.A., Ordóñez Ríos, M. y Román Collado, R. (2013). "Análisis de sectores clave de la economía española a partir de la Matriz de Contabilidad Social de España 2007". Estudios de Economía Aplicada, 31 (2), 621-654.
- Del Campo, A. (2006). "La agricultura de regadío: injusta crisis de popularidad". En Fundación de Estudios Rurales (Ed.): Agricultura Familiar en España. Anuario 2006. Fundación de Estudios Rurales, Madrid: 70-75.
- Del Campo, A. (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. Cajamar Caja Rural, Almería: 120-145.
- Delgado Urrecho, J.M. y Martínez Fernández, L.C. (2017). "Evolución, situación actual y perspectivas de la población en los pequeños municipios españoles". Documentación Social, 185, 37-66.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk. Earthscan-FAO, Abingdon (UK).

Gómez-Limón, J.A. y Atance, I. (2004). "Identification of public objectives related to agricultural sector support". *Journal of Policy Modeling*, 26 (8-9), 1045-1071. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2004.07.005>.

Gómez-Limón, J.A., Berbel, J. y Gutiérrez-Martín, C. (2007). "Multifuncionalidad del regadío: una aproximación empírica". En Gómez-Limón, J.A. y Barreiro-Hurlé, J. (Eds.): *La multifuncionalidad de la agricultura en España*. Eumedia-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid: 207-224.

Gómez-Limón, J.A. y Gómez-Ramos, A. (2007a). "Opinión pública sobre la multifuncionalidad del regadío: el caso de Castilla y León". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 7 (13), 3-25. <https://doi.org/10.7201/earn.2007.13.01>.

Gómez-Limón, J.A. y Gómez-Ramos, A. (2007b). "La percepción social de la agricultura de regadío y su contribución al bienestar social". *Investigaciones Regionales*, 10, 81-108.

Gómez-Limón, J.A. (2008). "El regadío en España". *Papeles de Economía Española*, 117, 86-109.

Gómez-Limón, J.A., Villanueva, A.J. y Arriaza, M. (2013). "Regadíos agrícolas, bienes públicos y reforma de la PAC". En Fundación de Estudios Rurales (Ed.): *Agricultura Familiar en España*. Anuario 2013. Fundación de Estudios Rurales, Madrid: 180-191.

Gutiérrez-Martín, C. y Montilla-López, N.M. (2018). *Modernización de regadíos: un éxito para la naturaleza y la sociedad*. Universidad de Córdoba.

MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). (2001). *El Plan Nacional de Regadíos*. Horizonte 2008. MAPA, Madrid.

MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). (2019a). *Red Contable Agraria Nacional (RECAN). Metodología y resultados empresariales 2017*. MAPA, Madrid.

MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). (2019b). *Encuesta del precio de la tierra 2018*. MAPA, Madrid.

MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). (2019c). *Informe anual de comercio exterior agroalimentario: 2018*. MAPA, Madrid.

MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente). (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. MIMAM, Madrid.

Sancho Hazak, R. (2002). "Aspectos socioeconómicos del regadío". *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, 842, 578-586.

Villanueva, A.J., Gómez-Limón, J.A. y Arriaza, M. (2012). "Bienes públicos en los sistemas agrarios de regadío". *Cuides. Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, 9, 135-152.

6- Los servicios ecosistémicos en la agricultura de regadío

C. Dionisio Pérez-Blanco

LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA AGRICULTURA: DEFINICIÓN Y CONCEPTOS

Los sistemas agrícolas son fuente de alimentos, forraje, bioenergía y productos farmacéuticos, y son esenciales para el bienestar humano. Los sistemas agrícolas dependen para su subsistencia de los servicios ecosistémicos, definidos como los “beneficios múltiples que la naturaleza, a través de sus ecosistemas, brinda a la humanidad” (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Los servicios de polinización, el control biológico de plagas, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, el ciclo de nutrientes y del agua son algunos ejemplos de los servicios ecosistémicos que la naturaleza proporciona a la agricultura. Los sistemas agrícolas también producen una amplia variedad de servicios ecosistémicos, tales como la regulación de la calidad del suelo y del agua, el secuestro de carbono, el apoyo a la biodiversidad y los servicios culturales (Swinton et al., 2007). Dependiendo de la gestión de la actividad agrícola (intensiva, extensiva, etc.), el sector primario también puede incidir negativamente en el suministro de servicios ecosistémicos, e.g. a través de la pérdida de hábitats, la contaminación por nutrientes de masas de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero o la contaminación por pesticidas (Power, 2010). Los tradeoffs existentes entre los servicios ecosistémicos generados por la naturaleza, y aquellos servicios ecosistémicos e impactos negativos generados por la agricultura, deben evaluarse utilizando un análisis económico que permita desarrollar políticas que incrementen el bienestar atendiendo a la escala espacial, la temporal y la (ir)reversibilidad de las acciones emprendidas (Holzman, 2012).

Sin embargo, los servicios de los ecosistemas carecen de mercados, por lo que carecen de los incentivos para la provisión que vienen con los precios (Swinton et al., 2007). Desde un punto de vista comercial, los servicios ecosistémicos se perciben como bienes gratuitos, como el aire que respiramos. Esto ha derivado en falta de visibilidad y en su progresivo deterioro. El Millenium Ecosystem Assessment (2005) encontró que aproximadamente el 60% de los 24 servicios ecosistémicos examinados se estaban degradando o utilizando de manera no sostenible, llevando a la pérdida de entre 3000 y 5000 millones de dólares anuales en capital natural -el equivalente de la cantidad de dinero que se perdió durante el bienio 2008-2009 a consecuencia de la crisis financiera (Holzman, 2012).

La relevancia de los servicios ecosistémicos para el bienestar humano y la conservación de la vida en la tierra, reconocida en las estrategias de biodiversidad a nivel nacional y comunitario (EC, 2013), hace necesaria una mejora en la gestión de los mismos, de manera que se pueda inducir su conservación a través de mecanismos de valoración, toma de decisiones y planificación estratégica para la gestión de ecosistemas (Gómez-Baggethun et al., 2010). El sistema TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) es una iniciativa global enfocada en reconocer, demostrar y capturar el valor de la naturaleza dentro de los procesos productivos. En su vertiente eco-agroalimentaria (TEEB, 2015a), TEEB-Agri-food organiza los bienes y servicios producidos por el sistema eco-agroalimentario y atribuye un valor económico explícito a cada partida. Uno de los objetivos principales de TEEB-Agri-food es el de hacer visible el capital natural y los bienes y servicios suministrados por los ecosistemas, y su contribución al proceso productivo. Las cuatro categorías en el marco TEEB-Agri-food son:

1) Producción y consumo agrícola y alimentario. Normalmente son bienes y servicios de mercado contabilizados en términos monetarios (i.e. económicamente visibles) e incluidos en las cuentas nacionales.

2) Insumos agrícolas y alimenticios. Son valores intermedios e indispensables para comprender las cadenas de valor en la producción alimentaria. En esta categoría se cuentan todos los inputs de trabajo y materiales (agua, fertilizantes, etc.) necesarios para obtener el producto final. Aquí se incluyen servicios ecosistémicos que son utilizados como inputs por la agricultura, tales como el agua de lluvia.

Estas dos primeras categorías suelen ser económicamente visibles; mientras que las dos siguientes son a menudo más difíciles de valorar:

3) Servicios ecosistémicos. El sistema de producción agrícola genera importantes servicios ecosistémicos (regulación climática a través del secuestro de carbono, conservación del suelo, servicios culturales, etc.) que, como no se intercambian en un mercado, no son monetizados ni se les atribuye un valor económico.

4) Flujos residuales. Todos los contaminantes, pérdidas de cultivos, aguas residuales y desperdicios de alimentos a lo largo de la cadena de producción se contabilizan en esta categoría; son flujos de energía y materiales sólidos, líquidos o gaseosos, descargados o emitidos en el proceso de producción, consumo o acumulación.

Servicios ecosistémicos del regadío. El presente capítulo se centra en el estudio de las metodologías de valoración y mecanismos de gestión de los servicios ecosistémicos producidos por el regadío (categoría 3 en el párrafo anterior). Nótese que a diferencia de la categoría 2, que incluye los servicios ecosistémicos que la agricultura utiliza como inputs, la categoría 3 estudia los servicios ecosistémicos que surgen como outputs de la actividad agrícola.

Los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío se dividen en cuatro categorías: **abastecimiento** (disponibilidad de alimentos, materias primas, agua dulce, recursos medicinales y farmacéuticos), **culturales** (valor estético, turismo, bienestar físico y mental, sentido de pertenencia al lugar), **hábitat** (soporte de hábitats para especies animales y vegetales, mantenimiento de la diversidad genética, protección de especies y hábitats únicos) y **regulación** (mitigación de eventos extremos, clima local y calidad del aire, absorción de dióxido de carbono, tratamiento de aguas residuales, control biológico, prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, polinización). La Tabla 1 presenta las subcategorías de servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío.

EL VALOR ECONÓMICO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO

El concepto de valor económico. Para un economista, el objetivo de cualquier política pública debe ser aumentar el bienestar o la utilidad social, medida a través de su valor económico monetizado. El valor económico se divide habitualmente entre valores de uso y valores de uso pasivo (a veces incorrectamente llamados valores de no uso). El valor de uso se divide a su vez en valor de uso presente y futuro; mientras que el valor de uso presente se divide a su vez entre valor de uso directo e indirecto. El valor de uso directo se

obtiene a través del consumo de un producto que se encuentra en la naturaleza (por ejemplo, madera, pescado, agua), mientras que el valor de uso indirecto se deriva del consumo de un producto que no se encuentra de manera directa en el medio natural, pero cuya producción depende en parte de inputs medioambientales (e.g. producción hidroeléctrica). El valor de uso futuro es el valor de opción de usar el recurso en el futuro.

Las personas también tienen preocupaciones altruistas o éticas al margen del utilitarismo antropocéntrico que caracteriza el valor de uso, de las que emana el conocido como valor pasivo. El valor pasivo atribuye valor a la conservación de determinadas especies y hábitats. El valor de uso pasivo más común es el valor de existencia, en base al cual un individuo obtiene satisfacción de la existencia un bien o servicio ambiental, incluso si no lo usa. Por ejemplo, un ciudadano de la ciudad de Sevilla puede obtener satisfacción al saber que el Parque de Yosemite en los EE. UU. se conservan en su actual estado, incluso si nunca lo ha visitado ni lo visitará. Las metodologías de valoración utilizadas por los economistas generalmente cuantifican simultáneamente el valor de opción y el valor de existencia, ya que no es útil ni fácil separar estos valores individualmente (Freeman, 2003).

Valor económico total de los servicios ecosistémicos = uso directo + uso indirecto + valor de opción + valor de existencia = suma de todos los servicios generados por el sistema agroalimentario ahora y en el futuro

La Disposición a Pagar (DAP). La DAP es otro concepto fundamental para comprender el valor económico de los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío, así como la valoración económica en general. La disposición de un individuo a pagar es el precio máximo que dicho individuo pagaría por una cierta cantidad de un bien o servicio, mientras que la disposición marginal a pagar es lo que pagaría por una cantidad adicional de ese bien. La disposición a pagar no es lo mismo que el precio de mercado que finalmente se paga: la DAP es el máximo que el individuo estaría dispuesto a pagar, y puede estar por encima o por debajo del precio de mercado.

La DAP marginal de un bien normal es decreciente; esto es, a menor precio, mayor es la cantidad del bien que se desea comprar; y viceversa, a mayor precio, menor es la cantidad. Agregando las DAP marginales de cada consumidor podemos obtener la DAP social, esto es la curva de demanda del bien en cuestión, que indica la cantidad que la sociedad está dispuesta a adquirir de dicho bien a cada precio.

Cuando el precio se sitúa por encima de la DAP marginal, el bien no será comercializado. Por el contrario, todas las transacciones con un precio inferior a la DAP marginal proporcionarán al consumidor un beneficio neto positivo, y serán efectuadas. Este beneficio neto positivo es lo que los economistas llaman excedente del consumidor. Los beneficios netos de una transacción o excedente del consumidor se calculan como los beneficios brutos menos los costes totales, donde los costes totales se cuantifican multiplicando el número de unidades compradas por el coste unitario de producción; mientras que los beneficios brutos se corresponden con el área por debajo de la DAP marginal o curva de demanda, entre la cantidad de 0 y el número de unidades intercambiadas en el mercado. En el ejemplo en la Figura 1, Q unidades se compran al precio de P . El coste de esta transacción es $P \cdot Q$, pero el consumidor obtiene un beneficio neto, o un excedente del consumidor, que puede representarse como el área azul por encima del precio de mercado y por debajo de la DAP marginal o curva de demanda.

Tabla 1: Servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío

Categoría de Servicio Ecosistémico	Subcategoría de servicio ecosistémico	Definición
Servicios ecosistémicos de abastecimiento	Disponibilidad de alimentos	Los ecosistemas antrópicos de tipo agroalimentario generan las condiciones necesarias para la producción de alimentos, incluyendo cultivos agrícolas comerciales y cultivos silvestres. En el caso de la agricultura de regadío, las actividades de regulación y disponibilidad de agua que llevan a cabo las comunidades de regantes a menudo resultan en ineficiencias técnicas (pérdidas de agua) que dan lugar a flujos de retorno que contribuyen a la proliferación de cultivos silvestres. En áreas adyacentes a canales y otras infraestructuras de conducción, a menudo se desarrollan gracias a estas pérdidas áreas verdes con valor económico.
	Disponibilidad de materias primas	Los sistemas de producción agroalimentarios ofrecen una amplia variedad de materias primas para la producción y el suministro de combustible, incluyendo madera, biocombustibles y aceites vegetales derivados consumidos dentro y fuera del mercado (e.g. plantas silvestres).
	Disponibilidad de recursos medicinales y farmacéuticos	En el interior de los sistemas agroalimentarios se encuentran especies vegetales utilizadas como medicinas tradicionales, que en ocasiones son utilizadas como inputs por la industria farmacéutica.
	Disponibilidad de agua dulce:	Los sistemas agroalimentarios desempeñan un papel fundamental en el ciclo hidrológico ya que regulan la distribución y la calidad del agua en el medio hídrico. La canalización y distribución de los recursos hídricos en las zonas de regadío relocaliza el agua, y puede crear nuevos usos dependientes de los retornos de riego.
	Resiliencia (uso futuro) Protección de recursos (uso futuro)	
Servicios ecosistémicos culturales	Valor estético (fuente de inspiración para el arte, la cultura y la ciencia):	El lenguaje, la cultura y la naturaleza están íntimamente vinculados en la historia de la humanidad. La biodiversidad, los ecosistemas y los paisajes naturales son una fuente de inspiración para el arte, la cultura y la ciencia. Esto es particularmente visible en el caso de los regadíos históricos, como los del levante español, donde las infraestructuras de captación abastecimiento y el paisaje que estas han creado tienen un valor que trasciende la producción agrícola.
	Bienestar físico y mental	Caminar y practicar deportes al aire libre y en la naturaleza no solo es una forma de ejercicio físico, sino que también permite que las personas se relajen. El papel que juega la naturaleza en el mantenimiento de la salud física y mental es cada vez más reconocido. Las actividades desarrolladas por las comunidades de regantes contribuyen al mantenimiento de un entorno natural de origen antrópico que permite el desarrollo de estas actividades y la creación de valor económico.
	Sentido de pertenencia al lugar (necesidades espirituales)	En muchas partes del mundo, los elementos naturales como los bosques, las cuevas o las montañas se consideran sagrados o tienen un significado religioso. La naturaleza es un elemento común de todas las principales religiones y conocimientos tradicionales, y las costumbres asociadas son importantes para crear un sentido de pertenencia. La agricultura de regadío permite el mantenimiento de la producción de productos típicos del territorio, así como la conservación de infraestructuras físicas (e.g. azudes y canales) e institucionales históricas (e.g. tribunales de aguas).
Servicios ecosistémicos de conservación del hábitat	Turismo	Los sistemas de producción agroalimentarios son un sustento fundamental del turismo rural, con importantes beneficios económicos para estos territorios. El turismo rural y/o ecoturismo, además de ser una fuente de ingresos en sí misma, también permite educar a las personas sobre la importancia de la diversidad biológica y, por lo tanto, contribuye a la conservación de otros servicios ecosistémicos.
	Conservación del hábitat de especies animales y vegetales	Los hábitats proporcionan todo lo que las plantas y los animales necesitan para sobrevivir: alimentos, agua y refugio. Los distintos ecosistemas proporcionan hábitats diferentes que pueden ser esenciales para el ciclo de vida de una especie. Por ejemplo, numerosas especies acuáticas encuentran refugio para su reproducción en sistemas agroalimentarios costeros tales como los arrozales.
	Mantenimiento de la diversidad genética (diferentes especies de animales y plantas)	La diversidad genética es la variedad de genes en las poblaciones de animales y plantas. Algunos hábitats tienen un número excepcionalmente alto de especies, lo que los hace genéticamente más diversos que otros. Y se conocen como "puntos críticos de biodiversidad". Una agricultura sostenible puede contribuir a mantener la vitalidad de determinados hábitats únicos. En Europa existen numerosas áreas Natura 2000 ubicadas en el interior de sistemas agroalimentarios, lo que da fe de las importantes redes ecológicas creadas a través de la gestión antrópica de la naturaleza.
	- Protección de hábitats únicos (valor de existencia) - Preservación de especies únicas (valor de existencia)	Los eventos meteorológicos extremos incluyen inundaciones, tormentas, tsunamis, avalanchas y deslizamientos de tierra. Los ecosistemas y los organismos vivos crean defensas contra los desastres naturales, mitigando y en ocasiones evitando así posibles daños. Por ejemplo, las zonas húmedas como las plantaciones de arroz pueden absorber el impacto de las inundaciones. Los árboles proporcionan sombra en época estiva, mientras que los bosques condicionan la intensidad y frecuencia de las precipitaciones y la disponibilidad de agua tanto local como regionalmente. Los árboles u otras plantas también juegan un papel importante en la regulación de la calidad del aire al eliminar los contaminantes de la atmósfera.
	Clima local y calidad del aire	Los ecosistemas regulan el clima global mediante la absorción de gases de efecto invernadero. A medida que crecen los árboles y las plantas, eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera y lo retienen en sus tejidos. Esta retención de carbono es particularmente relevante en el caso de cultivos permanentes como el olivar.
Servicios ecosistémicos de regulación	Absorción de dióxido de carbono (gases de efecto invernadero) de la atmósfera	Los ecosistemas agroalimentarios sostenibles tales como las zonas de delta filtran los desechos humanos y animales y mitigan la contaminación del medio ambiente circundante. A través de la actividad biológica de los microorganismos en el suelo, se eliminan los patógenos (microbios que causan enfermedades) y se reduce el nivel de nutrientes y contaminación.
	Tratamiento de aguas residuales (reducción de la contaminación generada por los desechos humanos)	Los ecosistemas agroalimentarios son importantes para la regulación de plagas y enfermedades transmitidas por vectores que atacan plantas, animales y personas. Los ecosistemas regulan las plagas y enfermedades a través de las actividades de los depredadores y otros organismos. Las aves, los murciélagos, las moscas, las avispas, las ranas y los hongos actúan como controles naturales de las plagas.
	Control biológico (plagas) Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo Polinización (desarrollo de semillas, plantas, frutas)	La erosión es un factor clave en el proceso de degradación y desertificación del suelo. La cubierta vegetal, incluyendo la agrícola, proporciona un servicio de regulación esencial que previene la erosión del suelo, conservando su fertilidad y favoreciendo así el crecimiento de las plantas y el desarrollo de la agricultura. Los insectos y el viento polinizan plantas y árboles, que son esenciales para la producción de frutas, verduras y semillas. La polinización es un servicio ecosistémico principalmente proporcionado por insectos, pero también por algunas aves y murciélagos.

La figura 1 ilustra gráficamente el concepto teórico fundamental subyacente a la valoración económica de los servicios ecosistémicos. Al medir la DAP marginal y el excedente del consumidor, es posible cuantificar los beneficios asociados con una determinada política ambiental. Es por ello por lo que los estudios centrados en la valoración económica de servicios ecosistémicos de los sistemas agroalimentarios o de otro tipo tienen como objetivo revelar o aproximar la DAP marginal o curva de demanda.

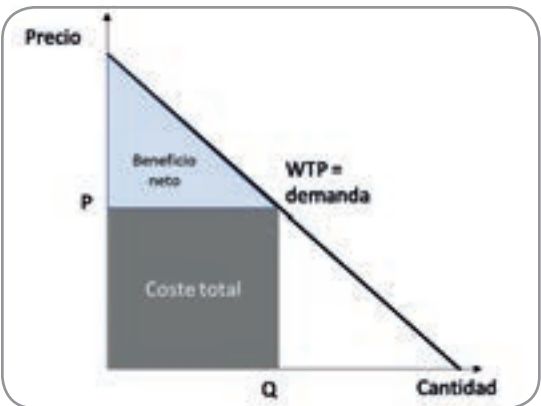


Figura 1 - La DAP marginal o curva de demanda

El valor económico de los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío: una primera aproximación. Los métodos utilizados para estimar la DAP marginal se conocen como métodos de valoración ambiental. Existen diversas técnicas de valoración ambiental para el cálculo del valor económico de los servicios ecosistémicos producidos por los sistemas agroalimentarios. Estas técnicas se dividen entre métodos de preferencias reveladas (mercados sustitutos, precios hedónicos, costes de viaje, gastos preventivos) y métodos de preferencias declaradas (valoración contingente). Existen diversos estudios primarios que utilizan estas técnicas para atribuir un valor económico a los servicios ecosistémicos de la agricultura, si bien aquellos referidos exclusivamente al regadío son más limitados.

La Tabla 2 muestra los resultados de los valores atribuibles a los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío en diversas partes del mundo, incluyendo cuatro estudios en Europa. Estos estudios ofrecen evaluaciones parciales (i.e. no incluyen todos los servicios ecosistémicos potencialmente relevantes) utilizando diversas técnicas de valoración ambiental (EUR/ha, EUR/persona, EUR/familia), lo que explica las diferencias entre los valores que, sin embargo, siempre son estadísticamente significativos.

Tabla 2: Valor económico de los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío.

Año	País	Valor estimado	Divisa	Unidad	Referencia
2018	Canadá	27.2-66.29	USD	persona/año	(Dupras et al., 2018)
2012	Francia	33.87-126.26	EUR	persona/año	(Dachary-Bernard and Rambonilaza, 2012)
2015	Tailandia	95.18-181.48	BATH	persona/año	(Sangkapitux et al., 2017)
2005	Canadá	233.95	CAD	ha	(Wilson, 2010)
2009	Canadá	293.59	USD	ha	(Troy and Bagstad, 2009)
2014	Canadá	52.51-95.49	USD	familia	(Dias and Belcher, 2015)
2017	EEUU	11.7	USD	persona/año	(Chaikaew et al., 2017)
2008	Nueva Zelanda	8.92-38.63	USD	persona/año	(Baskaran et al., 2009)
2005	Guatemala, Ecuador	58.80	USD	ha/año	(Southgate et al., 2010)
2005	Canadá	372.28	CAD	ha/año	(Wilson, 2010)
2013	Nueva Zelanda	32.08-104.75	NZ\$	familia/año	(Baskaran et al., 2013)
2012	Italia	17.24	EUR	familia/año	(Galioto et al., 2013)
2004	Italia	107.84	EUR	persona/año	(Alberini et al., 2005)
2005	Taiwan	7.62-40.5	USD	persona/año	(Chen, 2005)
2005	Japón	32.76	YEN	año	(Aizaki et al., 2006)
2004	Italia	289.54	EUR	año	(Travisi and Nijkamp, 2004)
2007	Canadá	130.81	CAD	acre/año	(B.C. Ministry of Agriculture and Lands, 2007)
2007	Canadá	9.63-19.36	CAD	acre/año	(Voora and Venema, 2008)

Elaboración propia a partir de 800+ estudios en el Environmental Valuation Reference Inventory

Partiendo de los valores proporcionados por estudios primarios, es posible atribuir un valor económico a los servicios ecosistémicos producidos en otras zonas utilizando técnicas de transferencia de beneficios (Benefit transfer). La transferencia de beneficios es una metodología de valoración para aquellos bienes y servicios que no tienen un mercado (sin precio), que transfiere la información y las estimaciones de otros estudios sobre el valor de uno o más recursos servicios ecosistémicos en otra área de estudio. Un reciente estudio basado en la metodología de transferencia de beneficios estimó el valor de los servicios ecosistémicos de la agricultura de regadío en la Bonifica Renana (comunidad de regantes circundante a la ciudad de Boloña, en Italia) entre 2.7 y 7.2 millones EUR/año (Nomisma, 2019). Este valor se obtuvo aplicando un principio de precaución para obtener una estimación con un “alto grado de confianza”, si bien el máximo valor hipotético en el estudio era de 47 millones EUR / año (Nomisma, 2019).

LA GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: EL PAGO POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (PSE)

Los Pagos por Servicios Ecosistémicos (PSE) se han convertido en las últimas tres décadas en una herramienta cada vez más relevante para la gestión económica de los servicios ecosistémicos (Gómez-Baggethun et al., 2010). Los PSE se definen como transacciones voluntarias y condicionadas a la provisión de servicios ecosistémicos bien definidos entre al menos un proveedor y un usuario (Wunder, 2015a), basándose en el principio de “el beneficiario paga” (beneficiary pays). En el caso de la agricultura de regadío han adoptado particular relevancia los PSE por servicios ecosistémicos relacionados con los recursos hídricos, esto es aquellos que incluyen “los beneficios para las personas producidos por los efectos del ecosistema terrestre en la disponibilidad y calidad del agua dulce” (Kate A. Brauman et al., 2007). Los PSE pueden ser financiados por el gobierno (donde el comprador es una tercera parte), financiados por el usuario privado (donde el comprador es el usuario final) o financiados por una empresa de servicio público (que posteriormente repercute los costes sobre los usuarios, e.g. a través de tarifas) (Porras et al., 2013).

Recuadro 5

Los canales de riego son un elemento clave para mantener los ecosistemas de alta montaña en Sierra Nevada, su origen es árabe y aprovechan el agua del deshielo. Hoy día, el sistema de gestión establecido desde el siglo XV sigue activo con una red de zanjías de 658 km (333 km acequias de careo, 267 acequias de riego y 57 de uso mixto.



Fotografía: Proyecto MEMOLA (<https://memolaproject.eu/>)

La red permite controlar el agua de deshielo y conducir el agua a través de zanjías, permitiendo que una parte importante se retenga y recargue acuíferos en las laderas de la Sierra llegando a niveles inferiores, a través de los manantiales y zanjías de riego que cruzan los campos cultivados. El sistema logra dos objetivos: retrasar la entrada de agua (a veces aparece meses después de haber sido derramada en los sumideros) y permitir que alimente las fuentes y fuentes de elevaciones más bajas (a veces más de 1000 m desde diferencia de cota).

El riego implantado en la montaña, con el tiempo, ha generado paisajes y ecosistemas de alto valor, permite la existencia de vegetación típica de áreas más húmedas y pastos de altura (borreguiles) para uso ganadero y alimentación de fauna salvaje. Soporta espectaculares bosques de Quercus y nogales y castaños. Es un sistema que hace que la montaña se comporte verdaderamente como un embalse natural y juega un papel indispensable en muchos municipios de la Alpujarra para los suministros urbanos.‡

Los PSE tienen amplia difusión fuera de Europa (Gomez-Baggethun and De Groot, 2010) y son cada vez más relevantes en Europa. Los programas de PSE se han promovido en la estrategia UE 2020 y su potencial se subraya aún más en la Hoja de ruta para una Europa eficiente en el uso de los recursos (EC, 2015). En el contexto español, los programas de PSE se han utilizado en la agricultura de regadío para establecer programas de readquisición de derechos de uso de agua orientados a mitigar impactos negativos sobre los ecosistemas. En estos programas, la administración compensa a los regantes para que estos no empleen sus dotaciones de agua de riego, y de esta manera contribuir a incrementar los caudales ambientales. En la cuenca del río Segura, dos PSE (2007 y 2008) adquirieron 2,9 millones de metros cúbicos (hm³) cada año a un costo anual de 0,5 millones de euros. En la cuenca del río Júcar, un PSE adquirió en 2006 27.3 hm³ a un costo de EUR 5.5 millones, y otro PSE adquirió en 2007 50.6 hm³ a un costo de EUR 12.7 millones (Garrido et al., 2013). En la cuenca del río Guadiana, el Plan Especial para el Alto Guadiana (SPUG) abordó los problemas de sobreasignación de aguas subterráneas y planeó una inversión de 810 millones de euros para lograr una reducción permanente de las extracciones agrícolas de 200 hm³ / año para 2027. Sin embargo, la incertidumbre con respecto al precio sombra real del agua llevaron a la agencia gubernamental a adquirir derechos sobre la tierra en lugar del agua (Garrido et al., 2013). Las licitaciones de compra subsiguientes adquirieron tierras agrícolas por EUR 66 millones, reclamando para el medio ambiente una cantidad inferior a la inicialmente planificada (entre 13.3-13.6 hm³ / año) (Rey et al., 2011).

Existen otros ejemplos de PSE en el regadío en los que se remuneran comportamientos virtuosos conducentes a la generación de servicios ecosistémicos de valor para la población. Por ejemplo, en Italia los PSE se han utilizado para compensar a los regantes que han implantado bosques artificiales en sus tierras para incrementar la recarga natural de los acuíferos. Estos bosques tienen un beneficio que trasciende la recarga de los acuíferos debido al valor estético que suponen en comparación al uso agrícola anterior (Pettenella et al., 2012). En Francia, Vittel (Nestlé Waters) firmó contratos con otros agricultores en los que les compensaba por utilizar técnicas de producción más sostenibles y mejorar las instalaciones agrícolas. A nivel comunitario, la Política Agrícola Común (PAC) 2014-2020 actualizó y fortaleció su 'segundo pilar' (CE, 2005), reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos producidos en las zonas rurales. La llamada "ecologización" (greening) de la PAC condiciona la asignación de los fondos disponibles en su segundo pilar a avances en el cumplimiento de normativas ambientales críticas (por ejemplo, la Directiva Marco del Agua) (OJ, 2013a). La nueva CAP también introduce un fuerte componente ecológico en su 'primer pilar', condicionando parte de los pagos directos a los agricultores al cumplimiento de objetivos ambientales predeterminados (esto es, un PSE) (OJ, 2013b).

Los ejemplos anteriores resaltan el valor aportado por los PSE en la identificación y ejecución de soluciones integradas, en la creación de nuevas oportunidades de financiación para medidas de protección ambiental que de otro modo carecerían de mercado y en el apoyo a la gestión de políticas públicas de conservación de la naturaleza. Los PSE también se perciben como más flexibles, más fácilmente aplicables y menos costosos que otras herramientas, como las regulaciones (Ferraro and Simpson, 2002). Sin embargo, el éxito de los PSE depende en gran medida del contexto político, sociocultural e institucional en el que se implementan (Muradian et al., 2013). Los factores clave para su éxito incluyen: 1) En primer lugar, los objetivos a alcanzar con la implementación del PSE deben estar claramente definidos y acordados por los participantes. 2) Además, es importante definir claramente los derechos de propiedad iniciales, quién puede vender y quién quiere comprar. Esta es una gran barrera para el desarrollo de los PSE para la gestión de los recursos hídricos en la agricultura española, debido a que el agua es un recurso público para el cual solo existe el derecho de uso. 3) Tener una visión clara de los vendedores y compradores, sus objetivos y medios de financiación es un tercer factor que incide importantemente en el éxito de los PSE.

4) Un marco sólido para el monitoreo y la evaluación es fundamental para el éxito de los PSE y para facilitar su difusión. 5) Finalmente, deben identificarse y tratarse los posibles incentivos perversos, que pueden resultar en ineficiencia económica, desigualdades entre vendedores y compradores e ineficiencia social (Engel et al., 2008).

CONCLUSIONES

La agricultura de regadío genera importantes servicios ecosistémicos, si bien también se encuentra en el origen de impactos ambientales negativos que afectan tanto a los usuarios agrícolas como a los no agrícolas, y que deben ser identificados, valorados, y adecuadamente gestionados.

Este trabajo proporciona una primera aproximación al concepto de servicios ecosistémicos, identifica las categorías más relevantes en el caso de la agricultura de regadío, presenta los métodos de valoración existentes en la literatura económica, y ofrece un análisis preliminar con el que comenzar un razonamiento que permita entender cómo la gestión virtuosa del medio natural en la actividad agrícola, y los beneficios derivados de la misma, puedan ser identificados, gestionados y remunerados por los sujetos presentes en el territorio a través de PSE.

Este mecanismo de gestión implica una evaluación que, a través de análisis primarios o la aplicación de metodologías de transferencia de beneficios, permita estimar el valor de los servicios ecosistémicos generados y determinar el nuevo régimen de gestión (PSE, regulación, otros) que se pueda desarrollar por parte de los organismos institucionales de referencia.

Referencias

- Aizaki, H., Sato, K., Osari, H., 2006. Contingent valuation approach in measuring the multifunctionality of agriculture and rural areas in Japan. *Paddy and Water Environment* 4, 217-222. <https://doi.org/10.1007/s10333-006-0052-8>
- Alberini, A., Rosato, P., Longo, A., Zanatta, V., 2005. Information and willingness to pay in a contingent valuation study: The value of S. Erasmo in the Lagoon of Venice. *Journal of Environmental Planning and Management* 48, 155-175. <https://doi.org/10.1080/0964056042000338136>
- Baskaran, R., Colombo, S., Cullen, R., 2013. Public preferences in irrigation and conservation development projects: Does simultaneous consideration of substitutes in choice sets matter? *Land Use Policy* 33, 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.01.004>
- Baskaran, R., Cullen, R., Takatsuka, Y., 2009. Estimating the value of agricultural ecosystem services: a case study of New Zealand pastoral farming. *Australasian Journal of Environmental Management* 16, 103-112. <https://doi.org/10.1080/14486563.2009.9725224>
- B.C. Ministry of Agriculture and Lands, C., 2007. Public Amenity Benefits and Ecological Services Provided by Farmland to Local Communities in the Fraser Valley: A Case Study in Abbotsford, B.C. B.C. Ministry of Agriculture and Lands, Canada.
- Brauman, Kate A., Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A., 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources* 32, 67-98. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>

Brauman, Kate A, Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A., 2007. The {Nature} and {Value} of {Ecosystem} {Services}: {An} {Overview} {Highlighting} {Hydrologic} {Services}. *Annual Review of Environment and Resources* 32, 67-98. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>

Chaikaew, P., Hodges, A.W., Grunwald, S., 2017. Estimating the value of ecosystem services in a mixed-use watershed: {A} choice experiment approach. *Ecosystem Services* 23, 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.015>

Chen, M., 2005. Evaluation of Environmental Services of Agriculture in Taiwan. Department of Agricultural Economics, National Taiwan University.

Dachary-Bernard, J., Rambonilaza, T., 2012. Choice experiment, multiple programmes contingent valuation and landscape preferences: How can we support the land use decision making process? *Land Use Policy* 29, 846-854. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.002>

Dias, V., Belcher, K., 2015. Value and provision of ecosystem services from prairie wetlands: A choice experiment approach. *Ecosystem Services* 15, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.07.004>

Dupras, J., Laurent-Lucchetti, J., Revéret, J.-P., DaSilva, L., 2018. Using contingent valuation and choice experiment to value the impacts of agri-environmental practices on landscapes aesthetics. *Landscape Research* 43, 679-695. <https://doi.org/10.1080/01426397.2017.1332172>

EC, 2015. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive (Technical Report No. 2015- 086, No. 31), CIS Guidance Document. European Commission, Brussels (Belgium).

EC, 2013. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital (Communication No. COM(2013) 249 final). European Commission, Brussels (Belgium).

Engel, S., Pagiola, S., Wunder, S., 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics* 65, 663-674. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011>

Ferraro, P.J., Simpson, R.D., 2002. The {Cost}-{Effectiveness} of {Conservation} {Payments}. *Land Economics* 78, 339-353. <https://doi.org/10.2307/3146894>

Freeman, A.M., 2003. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future, Washington D.C. (US).

Galioto, F., Marconi, V., Raggi, M., Viaggi, D., 2013. An {Assessment} of {Disproportionate} {Costs} in {WFD}: {The} {Experience} of {Emilia}-{Romagna}. *Water* 5, 1967-1995. <https://doi.org/10.3390/w5041967>

Garrido, A., Rey, D., Calatrava, J., 2013. Water trading in Spain, in: *Agriculture and the Environment in Spain: Can We Square the Circle?* CRC Press, Taylor & Francis, pp. 205-216.

Gomez-Baggethun, E., De Groot, R., 2010. Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society. *Issues in Environmental Science and Technology* 30, 105-121.

Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P.L., Montes, C., 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics* 69, 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>

Holzman, D.C., 2012. Accounting for Nature's Benefits: The Dollar Value of Ecosystem Services. *Environ Health Perspect* 120, a152-a157. <https://doi.org/10.1289/ehp.120-a152>

Millenium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>

Muradian, R., Arsel, M., Pellegrini, L., Adaman, F., Aguilar, B., Agarwal, B., Corbera, E., Blas, D.E. de, Farley, J., Froger, G., Garcia Frapolli, E., Gómez Baggethun, E., Gowdy, J., Kosoy, N., Coq, J.F. Le, Leroy, P., May, P., Méral, P., Mibielli, P., Norgaard, R., Ozkaynak, B., Pascual, U., Pengue, W., Perez, M., Pesche, D., Pirard, R., Ramos Martin, J., Rival, L., Saenz, F., Hecken, G. Van, Vatn, A., Vira, B., Urama, K., 2013. Payments for ecosystem services and the fatal attraction of win-win solutions. *Conservation Letters* 6, 274-279. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00309.x>

Nomisma, 2019. *Valutazione economica degli effetti ecosistemici generati dalle attività irrigue* (Report). Nomisma, Bologna (IT).

OECD, 2010. *Paying for {Biodiversity} - {Enhancing} the {Cost}-{Effectiveness} of {Payments} for {Ecosystem} {Services} - en - {OECD}*. Paris (France).

OJ, 2013a. Regulation (EU) No 1305/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Council Regulation (EC) No 1698/2005, *Official Journal of the European Union - Regulation*.

OJ, 2013b. Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 establishing rules for direct payments to farmers under support schemes within the framework of the common agricultural policy and repealing Council Regulation (EC) No 637/2008 and Council Regulation (EC) No 73/2009, *Regulation*.

Pettenella, D., Vidale, E., Gatto, P., Secco, L., 2012. Paying for water-related forest services: A survey on Italian payment mechanisms. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 5, 210-215. <https://doi.org/10.3832/for0626-005>

Porrás, I., Aylward, B., Dengel, J., 2013. Monitoring payments for watershed services schemes in developing countries.

Power, A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 365, 2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>

Rey, L., Calatrava, J., Garrido, A., 2011. *Water Market Scenarios for Spain (Deliverable No. WP2 Water Cap and Trade)*, *Water Market Scenarios for Southern Europe: New Solutions for coping with increasing water scarcity and drought risk?*

Reynaud, A., Lanzasova, D., 2017. A Global Meta-Analysis of the Value of Ecosystem Services Provided by Lakes. *Ecological Economics* 137, 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.001>

Sangkapitux, C., Suebpongsang, P., Punyawadee, V., Pimpaoud, N., Konsurin, J., Neef, A., 2017. Eliciting citizen preferences for multifunctional agriculture in the watershed areas of northern Thailand through choice experiment and latent class models. *Land Use Policy* 67, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.05.016>

Southgate, D., Haab, T., Lundine, J., Rodriguez, F., 2010. Payments for environmental services and rural livelihood strategies in Ecuador and Guatemala. *Environment and Development Economics* 15, 21-37. <https://doi.org/10.1017/S1355770X09005361>

Swinton, S.M., Lupi, F., Robertson, G.P., Hamilton, S.K., 2007. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics, Special Section - Ecosystem Services and Agriculture* 64, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020>

TEEB, 2015. TEEB for Agriculture & Food Interim Report. Geneva, Switzerland.

Travisi, C.M., Nijkamp, P., 2004. Willingness to Pay for Agricultural Environmental Safety: Evidence From a Survey of Milan, Italy, Residents. Department of Management Economics and Industrial Engineering, Polytechnic of Milan, Milano (Italy).

Troy, A., Bagstad, K., 2009. Estimating Ecosystem Services in Southern Ontario (Report). Province of Ontario. Ministry of Natural Resources.

Voora, V., Venema, H.D., 2008. An Ecosystem Services Assessment of the Lake Winnipeg Watershed Phase 1 Report - Southern Manitoba Analysis. International Institute for Sustainable Development.

Wilson, S.J., 2010. Natural Capital in BC's Lower Mainland: Valuing the Benefits from Nature. The David Suzuki Foundation.

Wunder, S., 2015a. Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics* 117, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.08.016>

Wunder, S., 2015b. Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics* 117, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.08.016>

7- El regadío y la mitigación del cambio climático (captura de CO₂)

Luca Testi y Álvaro López Bernal

EL CICLO DEL CARBONO A ESCALA DE PARCELA

El carbono es el elemento químico más estrictamente asociado a lo que llamamos "vida", pues todos los seres vivos están constituidos e intercambian energía a través de compuestos con esqueletos de carbono. El carbono en el ciclo de la vida da origen a una cantidad enorme de compuestos químicos de tal complejidad y con características tan especiales que necesitan de su propia sección de la ciencia química: la química orgánica.

El ciclo del carbono es sin duda el más complicado de todos los ciclos biogeoquímicos, ya que comprende fases y reacciones orgánicas e inorgánicas. Sin embargo, si excluimos las perturbaciones de origen antrópico como la combustión (proceso inorgánico) de materiales fósiles (orgánicos en origen) y los procesos geológicos como el vulcanismo, los pasos claves del ciclo del carbono se reducen a dos procesos puramente biológicos: la fotosíntesis y la respiración.

La fotosíntesis es el complejo de reacciones que produce compuestos orgánicos (carbohidratos como la glucosa, por ejemplo) a partir del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico en los organismos que sintetizan clorofila (autótrofos, o más precisamente fotoautótrofos). Se trata de una reacción bioquímica compleja y endotérmica, por lo que requiere energía del exterior para producirse. Esta energía es proporcionada por parte del espectro de la radiación solar, que en los cultivos es interceptada por las hojas de las plantas. Se puede pensar en la fotosíntesis como la reacción bioquímica que transforma un compuesto simple, estable, inorgánico y que contiene poca energía química (el CO₂) en compuestos complejos, relativamente inestables, orgánicos y con alto contenido de energía química (los carbohidratos). Éstos, a su vez, serán transformados y sus cadenas carbónicas usadas en múltiples vías metabólicas para construir miles de compuestos orgánicos de media-alta complejidad, utilizados para construir tejidos vivos, enzimas o como reserva de energía.

Al contrario de la fotosíntesis, la respiración invierte el sentido de la transformación: en presencia de oxígeno, se "desmontan" compuestos orgánicos complejos con alta energía y se libera CO₂ inorgánico a la atmósfera. Obviamente la respiración libera energía química, que puede ser empleada por el organismo respirante en otras funciones o para sintetizar nuevos compuestos. Al contrario que la fotosíntesis, que es prerrogativa de plantas, algas y algunos grupos de bacterias arcaicas, la respiración es un proceso utilizado por prácticamente todos los organismos vivos. Así, incluso los organismos que pueden obtener energía a través de la fotosíntesis como las plantas y cultivos (por eso dichos autótrofos) obtienen energía respirando parte del carbono que asimilan de la atmósfera. Esta cantidad de carbono que retorna a la atmósfera casi inmediatamente no se puede obviamente contabilizar como capturada o absorbida.

En consecuencia, y hablando ya a nivel de comunidad vegetal, podemos definir la Productividad Primaria Neta (PPN) como la diferencia entre la fotosíntesis –que a nivel de comunidad y para tiempos prolongados se llama Productividad Primaria Bruta (PPB)- menos la respiración (R) de la comunidad de plantas, es decir de los organismos autótrofos que han capturado ese mismo carbono:

$$PPN = PPB - R_{auto}$$

[1]

Sin embargo, un ecosistema no está exclusivamente constituido por plantas, incluso en el caso particular de parcelas de cultivo. El balance de carbono debe tener en cuenta la actividad de los organismos que no pueden llevar a cabo la fotosíntesis por sí mismos, y viven obteniendo energía a través de la respiración de compuestos orgánicos provenientes de tejidos y residuos vegetales o animales. Estos organismos que tienen que obtener energía respirando carbono ajeno se llaman heterótrofos y, en esta categoría encontramos a los animales (incluidos naturalmente los humanos) y prácticamente todos los seres que viven en el suelo, como hongos, protozoos, bacterias...

Si a la productividad primaria neta le restamos la respiración de los organismos heterótrofos, lo que obtendremos será el balance final entre el ecosistema y la atmósfera, que llamamos Productividad Neta del Ecosistema (PNE):

$$PNE = PPN - Rhetero = PPB - Rauto - Rhetero \quad [2]$$

El conjunto de las respiraciones ($R_{auto} + R_{hetero}$) se denomina Respiración del Ecosistema (Reco). La PNE es el instrumento que hay que usar para evaluar si un ecosistema (o un cultivo) es una fuente o es un sumidero de carbono. La tasa de PNE es variable, y depende de muchas características ambientales, como veremos más adelante.

CARBONO Y AGUA ENTRAN Y SALEN POR LA MISMA PUERTA: EFECTOS DEL REGADÍO Y LIMITACIONES.

Como se dijo en la sección anterior, la Productividad Neta del Ecosistema será más alta cuanto más intensa sea la fotosíntesis (PPB) y cuanto menos intensas las respiraciones (R_{auto} y R_{hetero}) (Eq. 2). Veamos entonces a qué condiciones ambientales responden estos procesos.

La respiración autotrófica (R_{auto}) responde directamente a la temperatura; es decir, incrementando la temperatura la respiración de las plantas aumenta y más carbono recientemente asimilado por la fotosíntesis regresa a la atmósfera. Además, R_{auto} es proporcional a la cantidad de biomasa vegetal presente. R_{auto} depende muy débilmente (o nada) del estado hídrico del suelo en el corto período, pero aumentará cuando debido a un buen estado hídrico la biomasa total aumenta.

La respiración de los organismos heterótrofos (R_{hetero}) es una cuestión más complicada. Como en el caso anterior, un incremento de temperaturas se traduce en un aumento de la actividad de los heterótrofos, aunque éstos pueden verse perjudicados cuando la temperatura es excesiva. Por otro lado, los organismos responsables de R_{hetero} se encuentran libres en el suelo, de modo que su respiración depende fuertemente de la disponibilidad de agua en el entorno. Otra limitación en la actividad de los organismos heterótrofos del suelo es la cantidad de materia orgánica que puede ser respirada: al aumentar de la cantidad de materia orgánica en el suelo, aumentará la probabilidad que los organismos la encuentren y -ya que tienen disponibilidad de energía- se reproduzcan, y por consiguiente aumentará la respiración heterotrófica total.

La productividad primaria bruta (PPB) es una acumulación en el tiempo de la fotosíntesis de los organismos autótrofos y responde a las mismas variables ambientales. La temperatura tiene un efecto variable, con una curva de campana cuyo máximo se encuentra a la temperatura óptima (muy variable dependiendo de la especie y de la intensidad de radiación) y se reduce a temperaturas infra y supra-óptimas. La concentración de CO_2 en el aire también incrementa la tasa de fotosíntesis y la PPB. Pero lo que nos interesa ahora es el efecto que tiene sobre la fotosíntesis el estado hídrico de la planta, ya que tiene relación directa con el regadío.

Las hojas y otras partes verdes de las plantas presentan una cutícula impermeable que les ayuda a evitar la desecación. Sin embargo, esta barrera impide también la entrada de CO_2 para alimentar las reacciones de fotosíntesis que ocurren dentro de las células. Las plantas superiores, categoría que incluye todos los cultivos, resuelven este problema a través de aperturas en la cutícula, llamadas estomas. A través de estas aperturas que el CO_2 entra en la hoja; al coste de perder una cierta cantidad de agua en forma de vapor (transpiración).

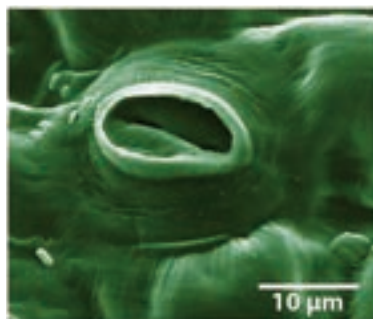


Ilustración 1: Estoma de hoja de tomate (Wikipedia)

Los estomas tienen la capacidad de abrirse y cerrarse, funcionando como válvulas regulables. Cuando las raíces no consiguen absorber del suelo agua suficiente para reponer la que se está perdiendo por los estomas, éstos empiezan a cerrarse (estrés hídrico) para evitar que las hojas se marchiten. La reducida apertura de los estomas permite así reequilibrar la entrada y salida de agua de la planta. Como consecuencia del cierre de estomas para reducir el flujo de salida de vapor de agua, las plantas reducen también la difusión de CO_2 hacia el interior de la hoja (ya que el estoma es la puerta de entrada y salida para los gases) y, consecuentemente se reduce la tasa de fotosíntesis y la asimilación de carbono. Es el precio que la planta debe de pagar para no deshidratarse y morir. Por este motivo el estrés hídrico reduce la productividad de los cultivos, y evitar el estrés hídrico es la razón de la práctica del regadío, que es casi tan antigua como la misma agricultura.

La consecuencia es que, en términos generales, la aportación de agua a un sistema vegetal con el regadío incrementa su Productividad Primaria Bruta, a veces en manera muy significativa (especialmente en ambientes áridos). En un sistema en regadío la fotosíntesis se incrementa, y más CO_2 presente en el aire se convierte en carbono orgánico. No obstante, es la Productividad Neta del Ecosistema la variable de control que tenemos que observar para determinar el efecto del regadío en la captura de carbono de los cultivos, como se dijo anteriormente. Para esto hay que evaluar también el efecto del regadío sobre las tasas de respiración Rauto y Rhetero.

La respiración autotrófica aumenta con la cantidad de biomasa de plantas presentes. Cualquier alternativa de manejo que aumente la productividad primaria bruta (como el regadío) también aumentará la Rauto del sistema, lo que en cierto modo puede ser considerado una retroacción a la productividad primaria bruta: el efecto es reducir esta última de una manera proporcional, aunque su efecto final es más complejo, ya que PPB y Rauto dependen de la temperatura, y su respuesta a la misma es diferente.

Ya que el suelo más húmedo permite una mayor actividad de los organismos heterótrofos presentes en él, es de esperar que el efecto del riego aumente la tasa de Rhetero. En climas secos, la magnitud de este incremento está mediatizada por el tipo de riego. Por ejemplo, el volumen de suelo mojado por el riego será muy diferente con sistemas de cobertura completa o riego localizado. Otro efecto indirecto del regadío es el incremento de la entrada de materia orgánica al suelo como resultado de una mayor PPB: el incremento en la PPB implica que más biomasa de residuos vegetales caerá al suelo y que más biomasa de raíces muertas (por terminación del cultivo o renovación de raíces finas en plantas perennes) acabe alimentando el reservorio de carbono en la materia orgánica del suelo. Más materia orgánica en el suelo significa más carbono secuestrado (ver abajo), pero también más tasa de respiración heterotrófica.

Llegados a este punto podemos avanzar que la práctica del regadío siempre tiene un efecto positivo claro sobre la PPN y prácticamente siempre sobre la PNE (es decir, incluso contando las pérdidas por respiración heterotrófica) en comparación con el mismo cultivo en el mismo clima en condiciones de secano. Sin embargo, la cuantificación de este incremento en la captura de CO_2 debida al regadío es todo menos sencilla, ya que el sistema es muy complejo y la entrada (PPB) y salidas (las respiraciones) del balance de carbono (Eq. 2) varían todas a la vez y con modalidades y magnitudes que dependen del clima local, del año en concreto y del tipo y manejo del regadío. Estos tipos de sistemas complejos y dinámicos raras veces permiten generalizaciones y sólo pueden ser correctamente y cuantitativamente analizados con modelos de simulación, ya que la experimentación necesaria para un análisis empírico caso por caso sería enormemente laboriosa y económicamente inviable. En la siguiente sección se presenta un análisis con el modelo OliveCan de como los componentes del balance de carbono cambian en función del manejo del agua en un olivar de alta densidad.

¿CAPTURA O SECUESTRO? EL DESTINO DEL CARBONO ASIMILADO.

Cuando se analiza un cultivo o un sistema agrícola para evaluar su potencial de mitigación del cambio climático hay que dar un paso más en la escala temporal y considerar el destino del carbono una vez capturado por el sistema vegetal. Olvidar este paso puede conducir a grandes errores en la evaluación de ecosistemas antrópicos como los cultivos.

Hasta ahora hemos descrito los flujos de carbono entre cultivo y atmósfera a nivel de parcela (PPB, PPN, PNE, Rauto, Rhetero) y sus múltiples relaciones en la ecuación simplificada de balance (Eq. 2). Este tipo de análisis permite individuar las opciones de manejo de un sistema que favorecen la mitigación (aumentando la PPB, disminuyendo las respiraciones, etc.) y hemos llegado a la conclusión que el regadío aumenta, en general, la captura de carbono. Sin embargo, nuestro balance es válido para la parcela de cultivo: cuando ampliamos la escala las cosas pueden cambiar.

Para obtener una estimación correcta deberíamos incluir en nuestro análisis las exportaciones fuera de la parcela. Por ejemplo: gran parte de la PNE de un año de una parcela de trigo (casi la mitad de la biomasa por encima del suelo) es grano. En cuestión de meses el grano será comercializado, transformado en harinas que serán utilizadas para diversas preparaciones alimentarias, que serán ingeridas para humanos o animales y - al final- respiradas y convertida otra vez a CO_2 inorgánico para generar energía. La otra mitad es paja que será utilizada en diferentes maneras (por ejemplo, en ámbito zootécnico) y terminará en poco tiempo descompuesta y respirada por animales, hongos, etc., de modo que también este subproducto será transformado en CO_2 prácticamente en su totalidad. Todo este carbono ha sido capturado, pero no secuestrado: en un lapso de tiempo relativamente breve volverá a ser inorgánico y a estar en la atmósfera. Estas consideraciones son importantes para evaluar de forma racional el esfuerzo de mitigación de la agricultura y el verdadero impacto de un aumento en la capacidad de captura (PNE) con el regadío.

Otro tipo de análisis es más conveniente para discriminar el verdadero secuestro: analizar los reservorios (depósitos) de carbono que tengan cierta estabilidad en el tiempo. Estos depósitos son sólo dos en la práctica: el suelo y los tejidos vegetales vivos. Cuando hablamos de secuestro de carbono, pues, nos referimos a la capacidad de retención del carbono capturado a muy largo plazo en el ecosistema.

Como hemos mencionado anteriormente, la materia orgánica es inestable en condiciones biológicamente activas. Sin embargo, el tiempo necesario para su degradación es variable. Así, hay compuestos

orgánicos en el suelo que, por haber sido transformados en moléculas extremadamente grandes y complejas y por encontrarse acopladas químicamente con partículas de arcilla del suelo, se convierten en materia orgánica muy estable (humus), con tiempos de degradación que pueden exceder el siglo. La cantidad que se produce anualmente de estos compuestos es muy pequeña, pero su gran estabilidad permite su lenta acumulación en el suelo, en caso de que se cumplan las condiciones para su formación. La gran mayoría de la materia orgánica se degrada más rápido, pero una cierta cantidad está siempre presente en el suelo si se mantiene una buena fuente (proporcionada por los residuos y raíces senescentes de la vegetación o cultivo) con respecto a la tasa de mineralización. Dado que el regadío permite aumentar la producción de biomasa vegetal y, con ella, la generación de estos residuos, éste contribuye a aumentar el secuestro de carbono en el suelo, especialmente cuando está asociado a una buena práctica de agricultura de conservación (se trata de reducir las labores al mínimo, ya que cada entrada de oxígeno en el suelo desata los microorganismos aerobios que respiran muy eficazmente la materia orgánica).

Recuadro 6

La producción frutícola de Aragón se basa en unas 46.000 ha de riego. Según un trabajo del SRA de Aragón aplicando la norma ISO 14064, los frutales de Aragón fijan cada año más de un millón de toneladas de CO₂eq como captura por la biomasa.

No obstante según la norma ISO se deben incluir además de la propia biomasa del cultivo todas las emisiones tanto directas (consumo de combustible para el procesado en campo del cultivo, en las que se incluyen las labores de siembra, poda-triturado, aclareo, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, las necesarias para el procesado fresco, la recolección y el transporte al almacén así como los óxidos de nitrógeno procedentes del suelo por fertilización) y las indirectas debidas a la energía utilizada (p.ej bombeos). Por último, además de calcular la huella en fase de producción, se necesitan incluir las emisiones generadas además de en transformación y transporte.

Al tener en cuenta todos estos elementos (producción transformación y transporte) el saldo neto resultante es de unas 660.000 toneladas anuales lo que equivale a neutralizar las emisiones de responsabilidad directa de CO₂ que producirían 287.500 ciudadanos.

Este estudio no ha tenido en cuenta el potencial de reducción de emisiones que tiene la fruticultura (cubiertas vegetales, mejora de la fertilización, laboreo mínimo, etc.)

D.G.Agrícola Gobierno de Aragón (2013) "Los árboles frutales como sumideros de CO₂" Servicio de Recursos Agrícolas. Informaciones Técnicas, Num. 248

Para tener una idea de cuánto carbono puede estar secuestrado en los suelos, se ha estimado que los suelos del mundo contienen unas 2000 Gt (2 billones de toneladas) de carbono, tres veces la cantidad de carbono existente en la atmósfera en forma de CO₂ (Falkowsky y col. 2000). La mecanización y el aumento de labores junto con el desuso de fertilizantes orgánicos características peculiares de la agricultura de la segunda mitad del siglo XX, han disminuido en general la cantidad de carbono orgánico secuestrado en los suelos agrícolas. Parte del incremento de la concentración de CO₂ de la atmósfera que se ha registrado en los últimos 70 años se debe a la mineralización de la materia orgánica de vastas superficies de suelo de cultivo.

El otro reservorio para secuestrar carbono son los mismos vegetales y animales (o más en general, los compuestos orgánicos que producen y los constituyen). Esta materia es viviente, y constituye un reservorio estable solo mientras sigue estando viva: los órganos vegetales (hojas, frutos, ramas...) serán descompuestos por los animales, hongos y bacterias y su carbono devuelto a la forma de CO_2 en un tiempo relativamente breve después de su muerte. Sin embargo, una cantidad de biomasa vegetal viviente constituye una especie de reservorio dinámico: mientras los tejidos están vivos, ese carbono está secuestrado de la atmósfera y no contribuye al efecto invernadero. Una estimación prudente de la dimensión de este reservorio es que la cantidad de carbono que almacena es alrededor de 700 Gt (700 mil millones de toneladas), comparativamente similar a todo el carbono contenido como CO_2 en la atmósfera). El riego, aumentando la PPN, la velocidad de crecimiento de los cultivos y en general la cantidad de biomasa vegetal sobre y por debajo de la superficie contribuye sin duda a aumentar localmente el tamaño de este reservorio independientemente de los cultivos.

Mayor importancia en cuanto al secuestro en biomasa de la agricultura, la tienen los cultivos perennes. Mientras que la cantidad de carbono secuestrada por los cultivos anuales se "resetea" cada año - su biomasa en forma de residuos puede incrementar el carbono del suelo a largo plazo, pero las plantas mueren cada año -, en los cultivos perennes este efecto es (parcialmente) acumulativo, ya que presentan estructuras permanentes (raíces gruesas, ramas y troncos) que se mantienen y crecen a través de los años.

ALGUNOS EJEMPLOS DE SIMULACIÓN DE EFECTOS DEL REGADÍO SOBRE CAPTURA Y SECUESTRO.

Hoy en día contamos con diversas técnicas que permiten medir los principales flujos de carbono de los ecosistemas, lo que nos ha permitido conocer los factores más determinantes para el balance de este elemento. El problema es que la implementación de estas técnicas tiene numerosos inconvenientes en la práctica, además de depender de instrumentación muy sofisticada y cara. Como resultado, las medidas suelen realizarse sobre periodos de tiempo relativamente cortos, con lo que la información obtenida es difícil de generalizar habida cuenta que los flujos de carbono del ecosistema cambian a lo largo del tiempo y son dependientes de las condiciones ambientales y de manejo. En este contexto, los modelos de simulación de cultivos aparecen como una herramienta auxiliar que nos puede ayudar a expandir el conocimiento limitado obtenido con medidas sobre el terreno para el caso particular de los ecosistemas agrícolas.

Los modelos de simulación consisten en una serie de algoritmos matemáticos recopilados en un programa informático que permiten reproducir virtualmente el comportamiento del cultivo en respuesta a las condiciones ambientales y de manejo durante el ciclo del mismo. En tanto en cuanto su capacidad para simular las respuestas del cultivo se haya contrastado, un modelo de simulación hace posible realizar experimentos en el ordenador con el objeto de evaluar cuantitativamente el efecto de diferentes estrategias de manejo bajo una gama amplia de climas o suelos y para escalas temporales (años, décadas) inabarcables mediante la experimentación en campo. En esta sección, se muestran los resultados de varias simulaciones realizadas con el modelo de simulación OliveCan.

OliveCan (desarrollado por la Universidad de Córdoba y el Instituto de Agricultura Sostenible - CSIC) es un modelo completo del cultivo del olivo que simula los principales componentes de los balances de agua y carbono en las plantaciones, estimando el crecimiento, desarrollo, uso del agua y productividad del cultivo en respuesta a factores climáticos, edáficos y agronómicos. En función del tipo de plantación, de su manejo y de las características del suelo y el clima, el modelo también proporciona estimaciones de los principales flujos por separado (PPB, Rauto, Rhetero) y depósitos de carbono (biomasa de los olivos y materia orgánica del suelo) en la plantación.

Para ilustrar los efectos del riego sobre estos elementos, se presentan a continuación resultados de simulaciones de una plantación de olivar en seto virtualmente cultivada en la comarca jiennense de “La Loma” sobre un suelo de textura arcillosa y un metro de profundidad. Las simulaciones tienen una duración de 15 años, usándose los registros meteorológicos obtenidos por una estación meteorológica en la localidad de Sabiote para alimentar al modelo. En este ejercicio con OliveCan se comparan tres escenarios de manejo del agua: secano (no se aplica agua de riego), riego deficitario (aplicando 150 mm de riego al año entre primavera y otoño) y riego abundante (aplicando 300 mm de riego al año en el mismo periodo que en el caso anterior).

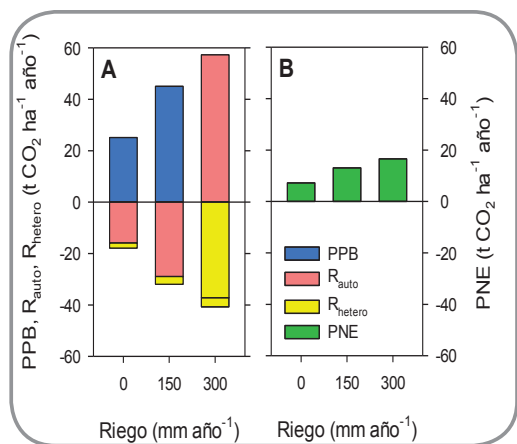
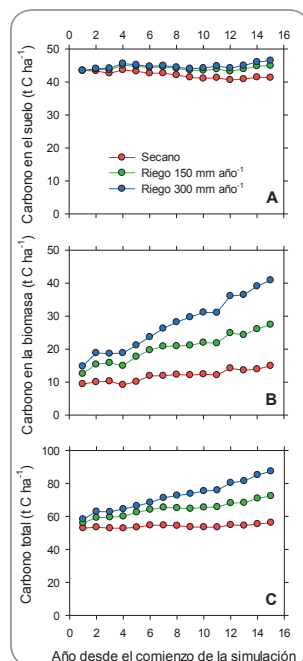


Figura 1: Valores promedio de Productividad Primaria Bruta (PPB), Respiración de los árboles (R_{auto}), Respiración de los organismos del suelo (Rhetero) (A), así como de su resultante, la Productividad Neta del Ecosistema (PNE) (B) para la plantación de olivar en seto simulada bajo tres escenarios de uso del agua. Valores positivos indican flujo de carbono desde la atmósfera a la plantación.

Pese a que el riego aumenta simultáneamente los flujos de entrada (PPB) y de salida (R_{auto}, Rhetero) de carbono del sistema, es la resultante (es decir, la PNE) lo que nos interesa evaluar para determinar el efecto sobre la capacidad de captura de carbono de la plantación, y esta se muestra en la Figura 1B. Por una parte, los resultados permiten observar que la PNE resulta positiva independientemente del manejo del agua, lo que indica que en los tres casos el sistema tiende a capturar carbono de la atmósfera. Por la otra, parece claro que el aumento en la cantidad de agua aplicada potencia esta capacidad de captura, siendo la PNE de la plantación con 300 mm año⁻¹ de riego prácticamente el doble de la simulada en condiciones de secano.

Figura 2: Evolución del carbono secuestrado en el suelo simulado bajo tres escenarios de uso del agua durante 15 años.

(A) en la biomasa de los árboles
(B) y en el conjunto suelo+biomasa
(C) para la plantación de olivar en seto



Una vez hemos comprobado que nuestras plantaciones virtuales actúan como sumideros de carbono, cabe preguntarse cuál es el destino del carbono capturado en el sistema. La respuesta se presenta en la Figura 2, donde se muestra la evolución de los contenidos de carbono acumulados en el suelo (Figura 1A) y la biomasa de los olivos (Fig. 2B) a lo largo de los 15 años de la simulación. En relación al suelo, OliveCan predice que el carbono en la materia orgánica, aun siendo muy importante en términos absolutos, cambia poco a lo largo de la simulación (Figura 2A). Y es que la dinámica del carbono en el suelo es lenta porque los heterótrofos mineralizan la mayor parte de los residuos que se incorporan al suelo y sólo una pequeñísima fracción de la materia orgánica pasa a formas más estables (aumento de materia orgánica) o lo contrario (disminución de materia orgánica) cada año. Por el contrario, el carbono presente en la biomasa de los olivos aumenta claramente con el tiempo, lo que indica que éste es el destino de la mayor parte del carbono atmosférico capturado (Figura 2B).

De manera similar, la aplicación de riego tiene un efecto clarísimo sobre la producción de biomasa, y también mejora ligeramente el carbono retenido en el suelo respecto al escenario en secano. De hecho, aunque las diferencias absolutas entre escenarios al final de los 15 años son pequeñas, las simulaciones revelan que la plantación en secano tiende a reducir su contenido de materia orgánica a lo largo de la simulación, mientras que, en los dos casos en riego, este aumenta.

Finalmente, la Figura 2C presenta, para cada escenario, la evolución del contenido total de carbono acumulado en el ecosistema a lo largo de la simulación, habiendo sido calculado como la suma del carbono en la materia orgánica y el presente en la biomasa.

8- Los regadíos ante el cambio climático

José Ignacio Sánchez Sánchez-Mora

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y sus posibles efectos sobre la vida en la Tierra constituyen un tema preocupante para los ciudadanos con la vista puesta en lo que pueda ocurrir a lo largo del siglo XXI. La elevación térmica que experimenta nuestro planeta y sus consecuencias colaterales sobre los diferentes sectores económicos y sociales, hacen que grupos multidisciplinares de expertos, estudien las medidas necesarias de mitigación y adaptación a este cambio climático.

El regadío que es un sector de gran importancia para la humanidad, especialmente por su contribución destacada para asegurar el abastecimiento alimentario de las gentes, también se verá afectado por las consecuencias que este cambio climático en el que estamos inmersos originará en la disponibilidad de agua, en el consumo de los cultivos y en la generación de fenómenos extremos como inundaciones y sequías. Este trabajo tiene como objeto el describir estos posibles efectos y abrir un camino de estudio de soluciones para mitigar aquellos que sean negativos y subrayar los aspectos positivos del regadío en relación con el cambio climático.

EL CAMBIO CLIMÁTICO - DEFINICIONES

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático lo define como "Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

En el cambio climático interactúan dos componentes: la variabilidad natural del clima y los efectos de las actuaciones antrópicas que inciden en el mismo. Efectos parecidos se han producido en el clima a lo largo de la historia de la tierra. Hay referencias históricas de períodos de hambruna por causa de sequía en fases temporales de elevaciones térmicas y de disminución de las precipitaciones.

Por eso nos movemos en el terreno de la incertidumbre sobre si el cambio climático es producido por causas naturales o si está además ligado al incremento de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en la atmósfera. De ahí la utilización de términos probabilísticos en los informes: grado de confianza alto (8 sobre 10) o muy alto (9 sobre 10), virtualmente cierto ($p \geq 99\%$) muy probable ($p \geq 90\%$), o probable ($p \geq 66\%$) son términos usados. Cada vez se admite más por los científicos que el cambio climático se debe al aumento de la concentración en la atmósfera de GEI¹ producidos por la actividad del hombre.

¹ Los principales Gases de Efecto Invernadero son el Anhídrido Carbónico (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Perfluorocarbonos (PFC), Hidrofluorocarbonos (HFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆)

ORIGEN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

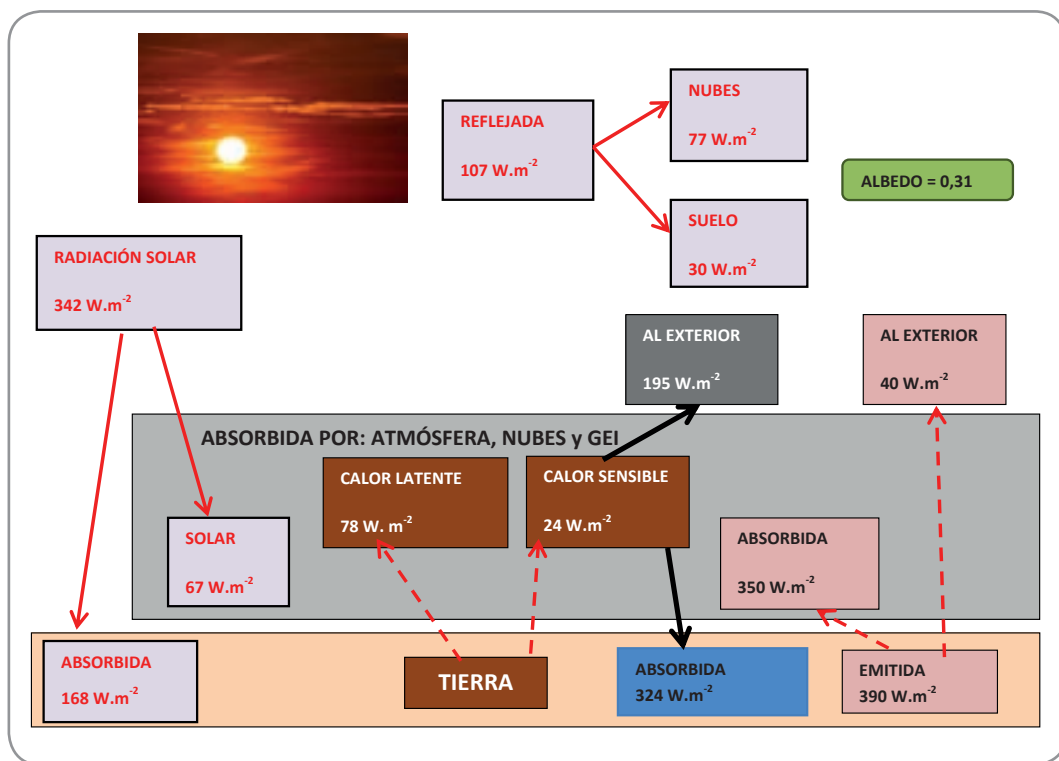


Figura 1 - Esquema del calentamiento atmosférico.

El cambio climático se origina por un sobrecalentamiento de la atmósfera producido al absorber los GEI la radiación que, recibida del sol, es posteriormente emitida por la tierra. La acumulación de estos gases produce un efecto invernadero elevándose la temperatura de la atmósfera. La concentración de CO_2 eq. en la atmósfera no ha dejado de aumentar. En 1880 la concentración era de unas 280 ppm y en la actualidad alcanza las 408 ppm. En el esquema siguiente se recoge el proceso.

Ha de hacerse constar que la existencia de CO_2 en la atmósfera es necesaria para mantener la temperatura de la Tierra (media de $15 - 17^\circ\text{C}$)² que permite la vida en la misma. La eliminación total del CO_2 rebajaría la temperatura media de la Tierra a unos -18°C lo que dificultaría o impediría la vida en nuestro planeta.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN RELACIÓN CON LOS REGADÍOS

De acuerdo con los informes emitidos por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) órgano dependiente de la ONU y las estimaciones de diferentes organismos, los efectos más importantes que el cambio climático traerá consigo en relación con los regadíos son:

- Disminución de las precipitaciones y en consecuencia de las aportaciones de recursos hídricos a los cursos de agua, embalses y acuíferos.

² De acuerdo con la Ley de Desplazamiento de Wien para esta temperatura de la Tierra (288°K) la longitud de onda preferente de emisión resulta ser de $10,06 \text{ fm}$ que corresponde al infrarrojo medio.

- Mayor consumo de agua de los cultivos al incrementarse la temperatura y variar otros parámetros que harán aumentar la evapotranspiración.
- Incremento de los fenómenos extremos: precipitaciones torrenciales y sequías.
- Como aspecto favorable se encuentra el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera que facilitará la realización de la función clorofílica por parte de las plantas y en este sentido podría esperarse un incremento de la producción de materia seca.

ANÁLISIS DE LA NUEVA SITUACIÓN

Menor disponibilidad de agua

Los expertos estiman que se producirá una disminución de las precipitaciones y en consecuencia una disminución de aportaciones de agua. En la Tabla 1 que sigue se recogen estimaciones de esta disminución de aportaciones.

Tabla 1. Estimaciones reducción aportaciones de agua (%).

Demarcación Hidrográfica	IPH	CEDEX 2010		P.H.Tajo	
		SRESB2	SRESA2	RCP 4.5	RCP 8.5
España	-5	.5	-6	-3	-7
Miño – Sil	-3	-2	-5	-4	-7
Cantábrico Oriental	-2	-9	-11	-4	-8
Cantábrico Occidental	-2	-8	-11	-2	-6
Duero	-6	-5	-7	-5	-10
Tajo	-7	-7	-7	-5	-10
Guadiana	-11	-2	-6	1	-5
Guadalquivir	-8	-8	-6	0	-7
Segura	-11	-8	-5	-8	-11
Júcar	-9	-12	-3	-8	-15
Ebro	-5	-5	-5	-1	-5

Fuente: Documentos iniciales. Plan Hidrológico Cuenca del Tajo 2021. Adaptado.

Las estimaciones corresponden a la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y los Documentos Iniciales del Plan Hidrológico del Tajo 2021. En esta última estimación los RCP (Representative Concentration Path) corresponden el 4.5 a un escenario de emisiones medias y el 8.5 a un escenario de emisiones altas de GEI. Los SRES se refieren a (Special Report on Emissions Scenarios) de los informes del IPCC. En la Tabla 2 se recoge la disminución de aportaciones (en hm³) sobre las habidas en el año 1998 en las cuencas españolas en las que existen mayores superficies de regadío en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Tabla 2. Aportaciones de agua en diversos escenarios.

Demarcación	Aportaciones en régimen natural hm ³		
Hidrográfica	1998	RCP 4.5	RCP 8.5
España	111.186	107.850	103.403
Duero	13.660	12.977	12.294
Tajo	10.883	10.339	9.795
Guadiana	5.475	5.530	5.201
Guadalquivir	8.601	8.601	7.999
Segura	803	739	715
Júcar	3.432	3.157	2.917
Ebro	17.967	17.787	17.069

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y elaboración del autor.

En los próximos planes hidrológicos de las diferentes demarcaciones se tendrá en cuenta esta reducción de aportaciones a la hora de asignar recursos a los regadíos y a otros usos.

MAYOR EVAPOTRANSPIRACIÓN. MAYOR CONSUMO DE LOS CULTIVOS.

La temperatura es uno de los parámetros meteorológicos que más influye en la Evapotranspiración de Referencia (ET_0). El incremento térmico que traerá consigo el cambio climático originará un aumento de la ET_0 y por consiguiente también se incrementarán las necesidades de riego de los cultivos al hacerlo la Evapotranspiración del Cultivo ET_c .

$ET_c = K_c \cdot ET_0$. Siendo K_c el Coeficiente de Cultivo.

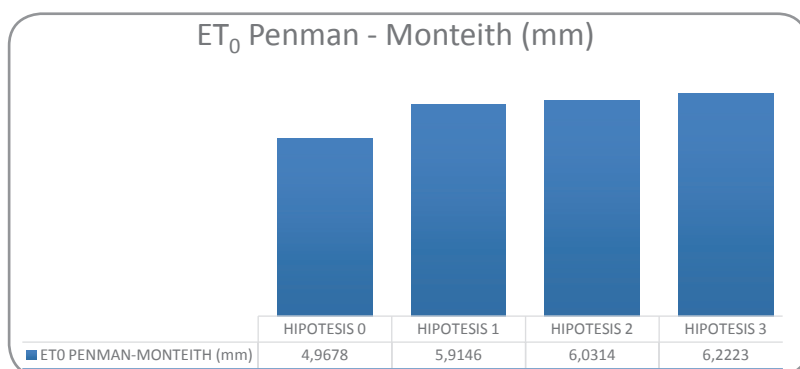
Para estimar el incremento que se originará en el valor de la ET_0 determinada por la fórmula de Penman - Monteith se ha llevado a cabo una simulación de cómo se incrementaría la Evapotranspiración de Referencia en una serie de hipótesis de variaciones de parámetros meteorológicos ligados al cambio climático. Se realiza sobre la ET_0 calculada por la fórmula de Penman - Monteith correspondiente al 27 de julio de 2011 en la estación agrometeorológica de la red REDAREX³ de la Finca La Orden en las Vegas Bajas del Plan Badajoz.

Tabla 3 - Condiciones de la hipótesis

Hipótesis	Condiciones de las hipótesis	ET_0 (mm.d ⁻¹)
0	Datos de la estación La Orden el 27/07/2011	4,9678
1	Δ de la Tmed en 1 °C, Δ de la velocidad media del viento en 10 %, Δ de la radiación neta en un 10 % y reducción de la humedad relativa media un 5 %	5,9146
2	Δ de la Tmed en 2,5 ° C sobre la hipótesis 0 y resto condiciones como la hipótesis 1	6,0314
3	Δ de la Tmed en 5 ° C sobre la hipótesis 0 y resto condiciones como la hipótesis 1	6,2223

3 REDAREX = Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura.

Figura 2 - Gráfico valores de la ETO (Penman - Monteith)



Del Cuadro anterior puede deducirse que el incremento de 1 °C en la temperatura produce un aumento de la ET_0 calculada por la fórmula de Penman - Monteith superior al 19 % y en el caso de un incremento de 2,5 °C en la temperatura el aumento sería del 21,4 %. En el caso extremo de un incremento térmico de 5°C el aumento en la evapotranspiración sería superior al 25 %. En consecuencia, el cambio climático traerá un mayor consumo de agua por parte de los cultivos y por tanto unas mayores necesidades de riego, en un escenario de disminución de aportaciones de recursos hídricos.

FENÓMENOS EXTREMOS: PRECIPITACIONES TORRENCIALES Y SEQUÍAS.

El aumento de la frecuencia en los fenómenos extremos: precipitaciones torrenciales y sequías también es un aspecto del cambio climático que afectará a los regadíos.

El incremento de la frecuencia de precipitaciones torrenciales que da lugar a inundaciones muy importantes de las tierras agrícolas tanto de secano como de regadío es un fenómeno observable: recientes DANAs (Depresión Aislada en Niveles Altos) o gotas frías que han causado importantes inundaciones en el Ebro o en el Mediterráneo español así lo acreditan.

Las tierras de regadío presentan un elevado riesgo de inundación, ya que mucha de la superficie de las zonas regables españolas está ubicada en formaciones geomorfológicas aluviales: llanuras de inundación, terrazas o abanicos aluviales que están afectadas por el régimen fluvial. Por eso el conocimiento de las zonas de inundación es un aspecto de alto interés para poder tomar medidas. Todo ello en un contexto de mantener las secciones de las estructuras hidráulicas de drenaje en adecuadas condiciones de funcionamiento para evacuar las avenidas.

Las sequías son un fenómeno al que estamos acostumbrados en la España seca y lo períodos de sequía han estado presentes en nuestra historia y han condicionado la necesidad de regular agua en períodos húmedos para utilizarla en los períodos secos. De ahí el importante número de embalses que existen en nuestro país.

El regadío ha de defenderse de la sequía mejorando la eficiencia de la aplicación del agua en los regadíos y también con una mejora de la gestión del agua de riego.

BUSCANDO EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

El cambio climático es un fenómeno de carácter difuso y paulatino. En la búsqueda de algunos signos que nos hagan comprobar cómo están evolucionando algunos parámetros climáticos, se han analizado los datos de dos estaciones agrometeorológicas de la REDAREX: La Orden ubicada en las Vegas Bajas del Plan Badajoz y Coria situada en la Margen Derecha de la zona regable del Alagón en la provincia de Cáceres.

Los datos tienen una ventaja y un inconveniente: la primera es que son representativos de las zonas regables al estar situadas en el interior de las mismas, el segundo es que son series cortas (1999 - 2018). Pero creo que dan idea de la situación existente y cómo evoluciona. En los cuadros que siguen se dan estos datos.

Tabla 4 - Temperatura media (°C)

Periodo	La Orden	Coria
Media (99 - 03)	15,99	15,06
Media (04 -08)	15,83	14,87
Media (09 - 13)	16,17	15,39
Media (14 - 18)	16,42	15,75
Media (99-18)	16,10	15,27

Fuente: REDAREX y elaboración del autor.

Analizando las medias móviles anteriores se observa que desde el período (99-03) hasta el (14 - 18) la temperatura media anual ha experimentado un incremento de 0,43 °C en La Orden y de 0,69 °C en Coria. Puede ser un indicio de cambio climático, que habrá de ser confirmado en años posteriores.

Tabla 5 - Evapotranspiración de Referencia (ET₀)(mm)

Período	La Orden		Coria	
	Penman-Monteith	Hargreaves	Penman-Monteith	Hargreaves
Media (99 - 03)	1.255,5	1.270,6	1.073,5	1.278,5
Media (04 -08)	1.300,8	1.317,5	1.164,4	1.316,3
Media (09 - 13)	1.310,7	1.329,8	1.115,9	1.360,3
Media (14 - 18)	1.281,0	1.370,0	1.118,4	1.366,8
Media (99-18)	1.287,0	1.322,0	1.120,4	1.333,2

Fuente: REDAREX y elaboración del autor.

En ambas estaciones el valor de la ET₀ determinado por la fórmula de Hargreaves (depende de la temperatura y la radiación solar) experimenta incrementos cercanos a 100 mm entre el período (99 -03) y el período (14 - 18). La ET₀ determinada por Penman - Monteith es menos clara en su incremento (además de la temperatura, depende de la radiación, humedad atmosférica y velocidad del viento) y presenta oscilaciones en sus valores.

Tabla 6 - Pluviometría (mm)

Periodo	La Orden	Coria
Media (99 - 03)	542,1	546,8
Media (04 -08)	396,4	531,2
Media (09 - 13)	532,6	608,2
Media (14 - 18)	432,5	526,7
Media (99-18)	475,9	572,1

Fuente: REDAREX y elaboración del autor.

En las precipitaciones no pueden extraerse conclusiones definitivas. En ambas estaciones las medias de los años (09 -13) son superiores a la del período (14 - 18) lo que podría ser indicador de una disminución de las mismas. En La Orden la disminución es de unos 100 mm y en Coria de unos 82 mm.

Se han analizado el conjunto de embalses cuyo principal aprovechamiento es el riego en la cuenca del Guadiana en Extremadura. El objetivo es comprobar si la teórica disminución de las lluvias ha tenido reflejo en las aportaciones a los embalses y en su acumulación en los mismos.

Tabla 7 - Volumen embalsado en embalses de riego del Guadiana (hm3)

Fecha	Serena +Zujar	Cijara+G.Sola +Orellana	Alange	Total
Media (08 - 10)	1.989,31	1.522,22	347,65	3.859,18
Media (11-13)	2.763,89	1.776,63	637,96	5.178,49
Media (14-16)	2.631,84	1.674,22	471,39	4.777,45
Media (17-19)	1.484	1.450	330	3.265
Media	2.217,27	1.605,88	446,84	4.269,99

Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana y elaboración del autor.

Se observa en todos los embalses una disminución importante en los recursos embalsados en el período 2017 - 2019, lo que puede ser indicio de efectos del cambio climático. Pero examinada la serie que es de corta duración no pueden extraerse conclusiones definitivas.

ESTRUCTURA DE LAS EMISIONES DE GEI EN EL SECTOR AGRARIO

Es interesante analizar las emisiones de GEI en el sector agrario que a estos efectos está constituido por los apartados 3 - Agricultura y 4 - Usos del suelo, cambios de uso del suelo y silvicultura en la clasificación de fuentes emisoras de GEI y sumideros publicada por el Ministerio de Transición Ecológica. Los apartados 3 y 4 hay que estudiarlos conjuntamente para reflejar con exactitud la responsabilidad del sector agrario como emisor - sumidero de GEI.

De acuerdo con los datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se analizan los resultados para el año 2017, último con datos definitivos.

Las emisiones brutas de la agricultura representan el 11,61 % del total, pero si se les descuenta el efecto sumidero, sus emisiones netas se quedan en 1.196,7 kt que representan solamente el 0,4 % del total neto. Concluimos en que el sector agrario y por tanto los regadíos tienen bastante poca responsabilidad en las emisiones de GEI a la atmósfera y por lo tanto en el cambio climático. Este tema se trata en profundidad en otro capítulo de este libro.

ACTUACIONES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LOS REGADÍOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.

REGADÍOS MÁS EFICIENTES.

El terrible período de sequía padecido en España entre 1992 y 1995, junto a las posibles influencias del cambio climático fueron el detonante para que las Administraciones y las Comunidades de Regantes acometieran a partir de la normativa nacional y autonómica de 1998 importantes programas para mejorar la eficiencia del uso del agua en nuestros regadíos y ahorrar agua.

La FAO ya advertía que, para poder alimentar a la población existente en la Tierra en 2030, los regadíos, respecto a la situación existente en el año 1998, habrán de incrementar su producción en un 81 %, pero sólo se podría aumentar la superficie de las tierras de riego en un 23 % y los recursos hídricos utilizados en un 14 %. En resumen, los regadíos tendrían que ser más eficientes tanto desde el punto de vista de la producción como desde el del uso del agua.

En la Tabla 8 que sigue podemos ver cómo ha evolucionado el consumo total y unitario de agua para el riego en España y en las comunidades autónomas en donde el regadío es más importante entre los años 2002 y 2016.

Tabla 8 - Evolución consumo de agua de riego por CCAA

CCAA	Año 2002			Año 2016		
	Superficie ha	Consumo Total hm ³	Unitario m ³ ha ⁻¹	Superficie ha	Consumo Total hm ³	Unitario m ³ ha ⁻¹
Andalucía	843.679	4.506,543	5.341,5	1.029.997	4.086,586	3.967,5
Aragón	411.037	2.200,616	5.353,8	403.157	2.032,466	5.041,4
Castilla y León	464.481	2.077,052	4.471,8	429.687	2.008,631	4.674,6
Castilla-LM	447.452	1.904,691	4.256,7	518.233	1.655,033	3.193,6
Com.Valenciana	318.982	1.853,550	5.810,8	286.690	1.234,802	4.307,1
Extremadura	213.691	1.371,943	6.402,2	267.214	1.577,803	5.904,6
Murcia	171.286	629,710	3.676,4	181.451	531,117	2.927,1
España	3.354.172	17.083,133	5.093,1	3.589.743	14.948,500	4.164,2

Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística) y MAPA - ESYRCE 2016 y elaboración del autor.

En España el consumo total de recursos hídricos para el riego en 2016 ha descendido en 2.134,6 Hm3 sobre el consumo que hubo en 2002, lo que representa un 12,5 % de lo que se consumía en este último año. Respecto al consumo unitario la disminución ha sido de 928,9 m3•ha-1 que equivale a un ahorro del 18,24 %. Como se ve el regadío ha hecho y sigue haciendo sus deberes para mejorar la eficiencia en el uso del agua.

De igual modo en la Tabla 9 que sigue se refleja el incremento del porcentaje de riego localizado de alta eficiencia (goteo y otros) sobre la superficie de riego total habido en las comunidades autónomas anteriores entre 2002 y 2018.

Tabla 9 - Evolución superficie riego localizado por CCAA

CCAA	% Riego Localizado/Total		Incremento
	Año 2002	Año 2018	%
Andalucía	53,58	76,00	22,42
Aragón	8,27	16,66	8,39
Castilla y León	1,48	6,34	4,86
Castilla La Mancha	38,19	62,6	24,41
Com. Valenciana	31,58	70,76	38,98
Extremadura	14,29	53,44	39,15
Murcia	69,98	85,6	15,62
España	29,59	51,78	22,19

Fuente: MAPAMA - ESYRCE 2002 Y 2018 y elaboración del autor.

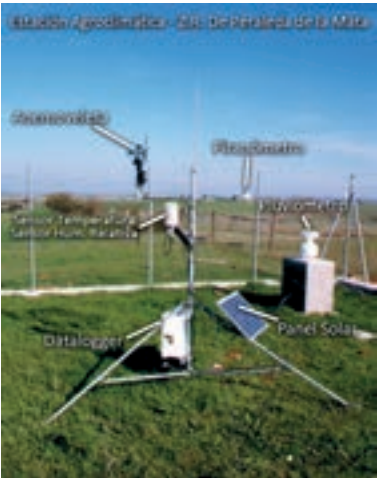
REDES DE CONTROL

Dos tipos de redes de control contribuyen a hacer los regadíos más eficientes y sostenibles. Se da una breve descripción de las mismas.

RED SIAR (SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA EL REGADÍO.

Esta red se comenzó a instalar en 1999 en un programa conjunto entre el Ministerio de Agricultura y las Comunidades Autónomas. Consta de un conjunto de 468 estaciones agroclimáticas, 1 centro nacional situado en Madrid y 12 centros zonales ubicados en las comunidades autónomas

Ilustración 2 Estación Agroclimática (Red REDAREX)



La estación meteorológica está constituida por sensores que determinan: temperatura y humedad relativa, dirección y velocidad del viento (anemoveleta), radiación (piranómetro), y lluvia (pluviómetro). Todo va montado sobre un trípode y dotado de una unidad central constituida por un dattaloger, modem y regulador que se alimenta con un panel solar. En la fotografía puede apreciarse una estación agroclimática de la REDAREX (Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura) integrada en la red SIAR.

En los centros nacional y zonal se determina diariamente los valores de la ETO por las fórmulas de Penman - Monteith y Hargreaves. Esto permite a los regantes conocer diariamente las necesidades de riego y en función de los tipos de cultivo y de los Kc correspondientes establecer las necesidades de riego de sus cultivos y las dosis a aplicar con la mayor exactitud. En la determinación de los coeficientes Kc pueden utilizarse imágenes satelitales de los programas Landsat o Sentinel.

RECAREX (Red de Control de la Calidad del Agua de Riego en Extremadura)

Esta Red que empezó a funcionar en el año 1998, tiene como objetivo el control de la sostenibilidad del regadío extremeño, siendo pionera y creo que única en España. Su objetivo es controlar la calidad del agua de riego en la entrada de las zonas regables y en los desagües y cursos de agua de salida de estas zonas, así como el control de la contaminación difusa por nitratos en las aguas subterráneas.

La red consta de 230 puntos de control en las zonas regables estatales extremeñas, y 48 puntos de control en zonas de futuros regadíos. Se determinan con carácter mensual o bimensual según épocas: CE (Conductividad Eléctrica) a 25 °C para evaluar riesgo de salinización, RAS para controlar el de alcalinización y contenido en nitratos para evaluar posibles fenómenos de contaminación difusa por nitratos procedentes del regadío. También periódicamente se realizan análisis completos para determinar los parámetros tendentes a clasificar la calidad de las aguas según las normas de la FAO o del USSL.

EL REGADÍO MECANISMO REGULADOR DE LA HUELLA HÍDRICA.

La flexibilidad del regadío a la producción de uno u otro tipo de cultivos (sólo tiene la limitación del tipo de clima o del tipo de suelos) supone una mejor utilización del agua virtual. En el cuadro que sigue se detalla el agua virtual¹ y el contenido calórico de diversos alimentos y aprovechamientos ligados al regadío.

Tabla 10 - Valores del agua virtual y potencial calórico de diversos productos

Producto	Ud	Agua virtual (l)	Kcal	Agua virtual l/kcal
Maiz	Kg	900	4.190	0,21
Arroz	Kg	2.291	3.540	0,65
Manzana	Kg	700	520	1,35
Cítricos	Kg	1.000	450	2,22
Carne Vacuno	Kg	16.000	2.120	7,55
Carne Ovino	Kg	6.143	1.780	3,45
Carne Pollo	Kg	3.918	750	5,22
Leche	Kg	990	470	2,11
Queso	Kg	5.000	3.820	1,31
Huevos	Kg	3.340	1.550	2,15
Legumbres y Tubérculos	Kg	1.000	3.500	0,29

Fuente: Elaboración del autor a partir de diversas fuentes.

¹ Agua virtual (virtual water) este concepto fue introducido por Allan en 1993, que se define como el volumen de agua necesario para obtener un producto o facilitar un servicio determinado.

La flexibilidad y adaptabilidad del regadío a la producción de uno u otro tipo de cultivos (sólo tiene la limitación del tipo de clima o del tipo de suelos) permite una regulación de la huella hídrica y una mejor utilización del agua virtual.

La mayor versatilidad de las producciones del regadío permite una mejor adaptación de la huella hídrica y del agua virtual consumida por los ciudadanos en su dieta alimenticia.

Hoy día existe una tendencia a sustituir en la alimentación humana la proteína animal por proteína vegetal debido a la menor cantidad de agua virtual que esta última necesita para su obtención. Aunque no ha de perderse de vista que la dieta alimenticia humana ha de ser equilibrada con presencia de hidratos de carbono, proteínas, grasas, oligoelementos y vitaminas.

USO RACIONAL DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS.

El nitrógeno aportado a los suelos por medio tanto de fertilizantes minerales como orgánicos (estiércoles), así como el fijado por las plantas tiene tres elementos competidores: la absorción por la planta, la emisión a la atmósfera en forma de N_2O (Óxido nitroso) o NO_x (= $NO + NO_2$) y la lixiviación a los acuíferos subterráneos disuelto en el agua de lluvia o riego en forma de nitrato altamente soluble.

Reduciremos las emisiones o la lixiviación si conseguimos que en la competición por el N gane la componente de absorción por la planta. Y eso pasa por llevar a cabo una fertilización nitrogenada de modo racional.

En abonados de fondo es conveniente utilizar la agricultura de precisión para aplicar los abonos nitrogenados en función de la fertilidad de cada suelo y de sus características dentro de la parcela a abonar. En la fertilización de cobertera poniendo los abonos a disposición de las plantas cuando estas realmente lo necesitan. En este sentido la fertirrigación que puede hacerse a través de los riegos localizados se muestra como un método muy eficaz para conseguirlo. De este modo reduciremos la emisión de Óxido nitroso y la pérdida de fertilizantes por lixiviación con el ahorro económico correspondiente para el agricultor. Y también se reducirá la contaminación difusa de los acuíferos por nitratos de origen agrario.

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

En el mes de julio del año 2008 los costes energéticos de los regadíos sufrieron unos incrementos desmesurados. La desaparición de las tarifas especiales de riego R0 y R1, sustituidas por una nueva normativa supusieron incrementos de hasta el 1.200 % en el importe del término de potencia y sensibles aumentos de precio en el término de energía con el consiguiente encarecimiento del coste final de la energía para el regante.

De inmediato se llevaron a cabo auditorías energéticas en las plantas de bombeo para reducir en lo posible estos costes: Instalación de condensadores o variadores de frecuencia fueron algunas de las actuaciones llevadas a cabo para mejorar los rendimientos y ahorrar energía.

Las más recientes realizaciones han sido la instalación de plantas fotovoltaicas de autoconsumo para reducir el coste energético. Para una estación de bombeo de un sector de riego del orden de 1.000 - 1.500 ha los ahorros con la instalación de renovables pueden estimarse en un 20 % del coste de la energía.

ADAPTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS A LAS NUEVAS CONDICIONES

Los efectos previsibles del cambio climático sobre los regadíos aconsejan incrementar la capacidad de regulación de agua, mediante la construcción de nuevos embalses para poder acumular recursos hídricos en los períodos de precipitaciones de alta intensidad de modo que se consiga, además de laminar las posibles avenidas, hacer frente a las crecientes necesidades de riego de los cultivos en los períodos secos.

Su ubicación ha de ser la más idónea una vez estudiada su viabilidad técnica, económica y ambiental. La nueva regulación es necesaria también para mantener el buen estado de las masas de agua respecto a sus condiciones ecológicas y químicas tal y como exige la Directiva Marco del Agua del año 2000. Esta necesidad implica la circulación de caudales ecológicos en los cursos de agua, los cuales no estaban previstos antes de promulgarse la mencionada Directiva.

Por otra parte, el aumento previsible en las lluvias de alta intensidad debe conducir a la limpieza y redimensionamiento de las secciones hidráulicas de los cursos de agua y redes de drenaje para asegurar, en función de los períodos de retorno que se establezcan, la evacuación de las avenidas que puedan producirse a fin de evitar daños en las personas y en las zonas regables.

ALGUNAS VENTAJAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Un mayor nivel en la concentración de CO₂ en la atmósfera facilitaría la realización de la función clorofílica por parte de los cultivos y en consecuencia la generación de materia seca, o lo que es igual se podría incrementar la producción. Por otra parte, el aumento térmico permitiría adaptar los ciclos de los cultivos buscando una mejora en la calidad de las producciones y un aumento cuantitativo de las mismas. Todo esto exigiría programas de experimentación e investigación de nuevas variedades y ciclos para adaptarse mejor a las consecuencias del cambio climático.

CONCLUSIONES.

El cambio climático producido por la conjunción entre la variabilidad natural del clima y la acción del hombre debida a sus incrementos en emisiones de GEI, concernirá sin duda a los regadíos, aunque su efecto se vaya produciendo de forma difusa y paulatina. El escenario previsible será: unas menores precipitaciones y aportaciones de agua, un mayor consumo de agua de los cultivos por el incremento térmico y un aumento en las frecuencias de fenómenos extremos: precipitaciones torrenciales y sequías.

El regadío en España ya ha empezado a tomar medidas serias de mitigación y adaptación al cambio climático. Las primeras de ellas han sido las llevadas a cabo en modernización de regadíos que han supuesto una sensible mejora en la eficiencia del riego y un considerable ahorro de agua con destacadas disminuciones del consumo total (-12,5 %) y unitario (-18,24%) en el período 2002 - 2016. La instalación de redes de control meteorológico y de la calidad del agua de riego son eficaces mecanismos para mejorar la eficiencia y asegurar la sostenibilidad de nuestros regadíos.

De igual modo las medidas tomadas para mejorar la eficiencia energética y la instalación de energías renovables en las plantas de bombeo son actuaciones muy importantes de lucha contra el cambio climático.

En este sentido se están mejorando los métodos para conseguir una fertilización racional que reduzca las emisiones de N₂O (Óxido nitroso) o NO_x (= NO + NO₂). La fertiirrigación y el uso de nuevos tipos de abono permitirán reducir las emisiones y la lixiviación de nitratos hacia los acuíferos subterráneos evitando su contaminación y ahorrando costes al regante.

Por otra parte, no debe perderse de vista que los regadíos son sumideros de CO₂ y en este sentido colaboran positivamente en la lucha contra el cambio climático, teniendo muy reducida o nula responsabilidad en el mismo cuando se efectúa un balance emisión - absorción.

Es importante la versatilidad que aporta el regadío respecto a la producción de alimentos para regular la huella hídrica producida por la humanidad en su alimentación. Esta razón y la mayor productividad de las tierras de regadío frente a las de secano traen consigo que los regadíos sean imprescindibles para asegurar un adecuado nivel alimenticio para los habitantes de la Tierra. No ha de olvidarse que hoy día 800 millones de personas en el mundo no tienen cubiertas sus necesidades alimenticias según datos de la ONU.

Un aumento de las estructuras de regulación de agua para hacer frente a las nuevas condiciones y la mejora de los cauces y redes de drenaje se revelan como actuaciones muy importantes para adaptar los regadíos a la nueva situación que comporta el cambio climático.

Y como conclusión final hemos de poner en valor que además de ser un elemento de mitigación del cambio climático los regadíos en España aseguran la alimentación de la humanidad, sus producciones son un componente muy destacado en las exportaciones, crean rentas y generan empleos, fijan la población en los territorios y son la base de la industria agroalimentaria.

Referencias

FAO - Crop Evapotranspiration - Guidelines for crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56 - Richard G. Allen, Luis S.Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. Rome 1998.

FAO 2003 - World Agriculture. Towards 2015 - 2030. J.Earthcans. London.

FAO - 2011 - Climate change, water and food security.. FAO Water Reports 36. Hugh Terral, Jacob Burke, Jean - Marc Faurés. Rome 2011.

FAO - IFA - Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y N₂O provenientes de las tierras agrícolas. Roma, 2004.

HOEKSTRA, ARJEN Y.; CHAPAGAIN , ASHOK K.;ALDAYA MAITE M.; MEKONNEN MES-FIN M. - Water Footprint Manual. State of art 2009. Water Footprint Network. Enschede. The Netherlands. Nov. 2009.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) - Informes IV y V - OMM - PNUMA. SÁNCHEZ SÁNCHEZ - MORA, JOSÉ IGNACIO; HUMANES CECILIA, MARINA - Implantación de la Red de Control de la Calidad del Agua de Riego en Extremadura (RECAREX) - Comunicación al XVIII Congreso Nacional de Riegos. Huelva Año 2000.

SÁNCHEZ SÁNCHEZ - MORA, JOSÉ IGNACIO - El Agua en Extremadura (Recursos Hídricos, Usos y Gestión del Agua). Editado por Diputación Provincial de Badajoz - 2012.

9- El regadío y el binomio agua-energía en la transición energética

Manuel Omedas

INTRODUCCIÓN

El mundo camina hacia nuevas fuentes de energía, la llamada “generación verde”. La dependencia de los combustibles fósiles es cuestionada por la sociedad actual, los acuerdos de París son un síntoma de las nuevas inquietudes sociales, aunque en el contexto mundial se está produciendo un incremento de la huella de carbono. Incremento producido porque hay cada vez más seres humanos en el mundo y, por otra parte, los hábitos de vida de los países tienden a confluir con los de los habitantes del llamado primer mundo que es muy intensivo en huella de carbono y también en alimentación.

En estos escenarios que se adivinan para este siglo, el regadío, indisolublemente unido al agua, es un actor fundamental. El regadío en el mundo, además de satisfacer la primordial necesidad del ser humano que es la alimentación, es muy intensivo en energía y lo que es muy importante, en el mundo actual, es el vector que en este momento puede facilitar el almacenamiento de energía; un aspecto todavía no resuelto eficazmente en la transición energética actual.

En este artículo se analiza la sostenibilidad alimentaria y energética de España para orientar el futuro del regadío. Pero una sostenibilidad integral como la define la ONU *«desarrollo sostenible es la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades»*.

Se analiza también el balance energético del regadío español, no sólo como demandador de energía, sino también, como productor de energía y neutralizador de las externalidades negativas para el medio ambiente en comparación con otras formas de energía. En tercer lugar, se hace especial hincapié en los problemas de la gestionabilidad de las fuentes de producción de energía eléctrica, especialmente de las nuevas energías renovables como la de origen solar y la proveniente del viento que son las que mayor trascendencia tienen para la transición energética.

El agua, en la situación actual da soporte al 99,4 % del almacenamiento de energía a gran escala mundial. El gran auge de las baterías es el reto para la gestionabilidad de la energía en el futuro, pero a pesar del desarrollo experimentado en los últimos años, no tiene un peso importante en la gestión de redes energéticas en el mundo, dado que la tecnología actual no permite almacenamientos a gran escala reduciéndose su campo a la distribución eléctrica a pequeña escala.

El regadío es el actor fundamental en la gestión del agua en el mundo y en España, como país árido, tiene un peso determinante. Por eso, las infraestructuras de regulación de agua son capitales para el regadío y para la gestión energética en el siglo XXI que estará sustentado en las energías renovables. Las grandes infraestructuras de regulación de agua, la gestión del almacenamiento de energía y los sistemas de regadío si se coordinan son piezas fundamentales en la transición energética de España.

Además, el regadío evoluciona de forma muy notable hacia la sostenibilidad en la gestión del agua y además tiene el reto de evolucionar hacia la sostenibilidad energética. La importante modernización de los regadíos españoles en los últimos años orientada hacia la gestión del agua requiere también una reflexión acerca de la gestión energética y ésta será sin duda la segunda modernización del regadío español.

SOSTENIBILIDAD ALIMENTARIA Y ENERGÉTICA DE ESPAÑA.

SOSTENIBILIDAD ALIMENTARIA

Los precios bajos de los productos agrarios y las grandes trabas burocráticas y ambientales a los empresarios agrarios en España hacen pensar que somos un país de excedentes agroalimentarios; que la sostenibilidad del complejo agroalimentario español (agricultura+ ganadería+ industria de alimentación) está garantizada; pues bien, nuestro territorio es incapaz por sí mismo de alimentar a los españoles y a los turistas que nos visitan.

España no es sostenible agroalimentariamente porque siguiendo la definición de sostenibilidad de la ONU, *no garantizamos las necesidades de la generación presente e incluso podemos decir que comprometemos la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*. La importación masiva de productos alimentarios podemos realizarla porque España como "país rico" puede permitirse-lo; no obstante, no podemos dar lecciones al mundo de sostenibilidad.

Analizando la sostenibilidad agroalimentaria en términos de agua vemos que, en la balanza de agua utilizada anualmente, España tiene un déficit estimado en torno a 12.000 hm³ de agua virtual. Es decir, para ser sostenibles y alimentar a nuestra población sin trasladar nuestra insostenibilidad a otros países, España debería aportar esa cantidad de agua en nuestros procesos productivos agroalimentarios.

La importación masiva de alimentos, especialmente cereales con hasta 10 millones de toneladas/año traslada nuestra insostenibilidad a otros países y lejos de considerar al regante como un depredador del recurso agua debe ser considerado como un colaborador de la sostenibilidad agroalimentaria de este país. El sector del riego está realizando una reconversión brutal generando mayor producto final y mayor valor añadido con la misma cantidad de agua mediante la modernización del regadío.

La modernización del regadío permite ajustar las dotaciones de riego a las necesidades estrictas del cultivo, disminuir la contaminación difusa y ha sido y sigue siendo, uno de los pilares de la Directiva Marco del Agua para conseguir el buen estado de las masas de agua.

A la loable modernización del regadío como medida para la sostenibilidad agroalimentaria de España ha de sumarse, por una parte, una mejor gestión de la distribución de alimentos evitando despilfarros, y sin falsos pudores, afrontar el gran reto que siempre ha tenido España que ha sido aumentar la producción propia de alimentos para satisfacer las necesidades de su población mediante una más eficiente gestión de agua. El denostado Joaquín Costa con su política hidráulica cobra en la actualidad pleno vigor cuando analizamos la sostenibilidad agroalimentaria holísticamente.

Las recias frases de Costa cuando denunciaba la barbarie de falta de alimentos en las épocas de sequía y cómo la famélica población salía camino de la emigración, se traducen en la actualidad en cómo ante la sequía, la sostenibilidad alimentaria de España se agudiza y la España interior se vacía.

SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Si agroalimentariamente España no es sostenible, energéticamente la insostenibilidad está mucho más clara. España depende de la energía fósil importada de países terceros. La insostenibilidad energética del país se transfiere a los países productores de combustibles fósiles de forma determinante. Los últi-

mos datos del Instituto Nacional de Estadística cifran la dependencia energética de España en el 73,9% aunque hay variaciones anuales debido principalmente a la variación de la producción hidroeléctrica, la tendencia no muestra unos valores mucho más favorables.

Las obras hidráulicas y el regadío están muy ligados a la gestión energética de España. El gran patrimonio hidráulico, conseguido con mucho esfuerzo durante las generaciones precedentes, ha favorecido la sostenibilidad energética y alimentaria de España. España cuenta con 17.792 MW de potencia hidroeléctrica instalada; la sexta parte de la potencia total instalada en el sistema eléctrico español.

La producción hidroeléctrica anual en España es muy variable y depende en gran medida de la hidraulicidad. En años húmedos supera los 40.000 GWh, pero en años secos no llega a 25.000 GWh, siendo la media de los últimos años 32.500 GWh, y representando un 17% de la producción anual. De la producción hidráulica anual, el 88% viene dado por las centrales convencionales, incluidas las de bombeo y el 12% por las minicentrales.

Sin embargo, el verdadero valor del agua como fuente de energía no radica en la cuantificación de los KWh producidos sino en la oportunidad de esos KWh. El 12% de la potencia hidroeléctrica corresponde a saltos fluyentes, sin posibilidad de gestionar la energía producida pero el 88% restante, especialmente los que disponen de importantes embalses de regulación, son los que permiten gestionar la oferta y la demanda de energía.

Los embalses de regulación, unidos a las centrales de bombeo, son el gran patrimonio de España tanto para garantizar el agua para regadíos, industria y abastecimientos como para gestionar eficazmente el sistema eléctrico de este país. La simple producción de electricidad es un problema resuelto con energías renovables. Las subastas mundiales con precios entre 20 y 30 EUR/MWh nos muestran que producir electricidad es barato.

Gestionar la electricidad producida para adaptarla a la demanda en cada momento es mucho más complejo porque las baterías no son competitivas en el presente, aunque, en un futuro pueden ser la solución. Por ejemplo, el proyecto Almacena de Red Eléctrica ha conseguido la loable cifra de 1 MW de almacenamiento con un sistema de baterías de litio, pero dista mucho de ser competitiva. El almacenamiento de energía a gran escala en el mundo en un 99,4 % se realiza con el agua, bien con el almacenamiento en embalses o con centrales de bombeo, también llamadas reversibles.

En España determinados aprovechamientos hidroeléctricos están vigilantes para aumentar o disminuir potencia según lo requiera el equilibrio del sistema. Esta misión la ejecutan de forma muy sencilla las centrales hidroeléctricas mediante el sistema denominado frecuencia-potencia, que consiste en mantener grandes grupos conectados a la red manteniendo la frecuencia de 50 Hz del sistema; de modo que si hay exceso de generación (disminución de demanda) se traduce en un aumento de frecuencia, lo que aprovechan las máquinas para reducir carga, disminuyendo el caudal y su velocidad de giro y con ello equilibrando la frecuencia; lo mismo ocurre pero en sentido contrario cuando el desequilibrio es por aumento de demanda. Las centrales que efectúan esta regulación son fundamentales en el sistema eléctrico y, por lo tanto, las que aportan una energía de mayor calidad. El siguiente escalón lo aportan las centrales que pueden aumentar o disminuir su potencia con mucha rapidez para ajustarse a la curva de demanda, es decir, hacen una función similar a la anterior pero no regulando automáticamente el sistema como hacen las indicadas anteriormente, sino a demanda de Red Eléctrica.

Los 55.000 hm³ de capacidad de embalse en España y las numerosas balsas de los regadíos son un rico patrimonio como almacenamiento de agua y energía. Tanto las Confederaciones Hidrográficas

como las comunidades de regantes tienen un gran reto a desarrollar. La planificación oficial prevé 3.500 MW de nuevas centrales de bombeo puro para el año 2030 pero los cambios son mucho mayores como demuestran los nuevos proyectos de las comunidades de regantes de elevaciones con energía fotovoltaica y almacenamiento en balsas de carga.

La sostenibilidad energética de España radica en la producción autóctona de energía para evitar transferir la insostenibilidad a otros países y en el desarrollo sobre todo del almacenamiento para no despilfarrar energía renovable producida y adaptarla a la demanda. Las Comunidades de Regantes tienen y van a tener más en el futuro, un protagonismo para contribuir a la sostenibilidad energética de este país facilitando la gobernabilidad del sistema eléctrico.

BALANCE ENERGÉTICO DEL REGADÍO ESPAÑOL.

El regadío es muy intensivo en consumo de energía tanto para proveerse del agua necesaria a la presión adecuada como para las actividades propiamente agrarias, fertilizantes, pesticidas, labores agrícolas, calentamiento de invernaderos etc. La estimación de los costes energéticos del regadío español se ha elaborado en varias publicaciones con datos dispares y con unas diferencias mucho mayores entre tipos de regadíos y de cultivos. En cualquier caso, puede concluirse que en determinados regadíos los costes energéticos pueden ser superiores al 40% de la producción final agraria.

Los regantes, por tanto, como primera premisa demanda energía barata para todas sus necesidades. Evidentemente en la gestión energética de actividades propiamente agrarias como son las labores agrícolas, hay un camino a recorrer, pero no es objeto de este pequeño texto.

Para los regantes, los costes energéticos han aumentado considerablemente en los últimos años debido al aumento de las tarifas eléctricas, a un incremento del consumo energético derivado de la modernización destinada a una mejor eficiencia en el uso del agua, al incremento de la altura de bombeo en aguas subterráneas, etc.

El consumo medio de energía del regadío español se encuentra en la horquilla de 0,3 a 0,4 KWh/m³ de agua existiendo una gran dispersión entre los prácticamente inexistentes consumos energéticos de los riegos por gravedad hasta los 4KWh/m³ de los regadíos con agua desalada.

El regadío por otro lado aporta energía al sistema. Muchos de los embalses tienen un uso múltiple hidroeléctrico y de regadíos, las Comunidades de Regantes gestionan aprovechamientos energéticos en sus canales, el regadío aporta biomasa para producción energética, empieza a haber instalaciones fotovoltaicas para elevación de agua etc.

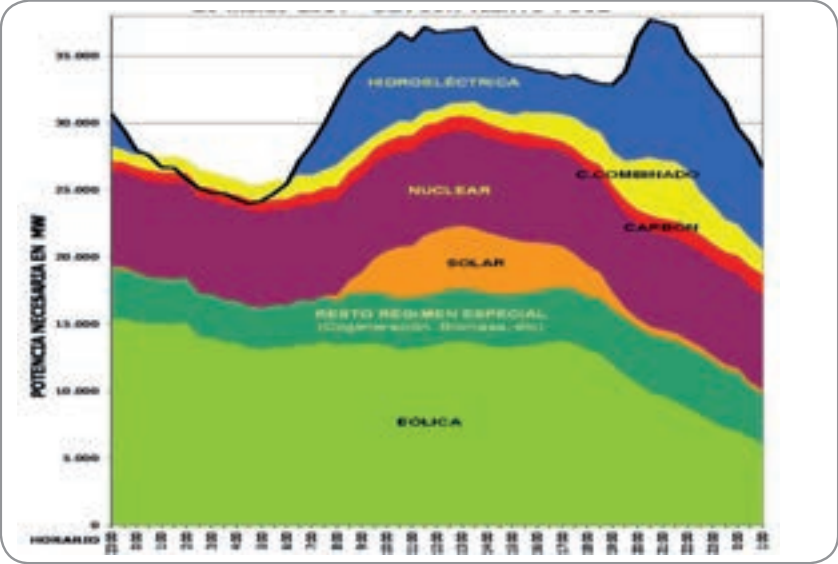
EL AGUA COMO VECTOR ENERGÉTICO ANTE LA TRANSICIÓN ELÉCTRICA DE ESPAÑA.

España junto a los países nórdicos que históricamente tienen más desarrollada la producción hidroeléctrica en Europa. La hidroelectricidad ha experimentado y representa un papel fundamental en la gestión eléctrica; la mera observación de la producción eléctrica a nivel diario de Red Eléctrica Española muestra como a las cuatro de la mañana, cuando más baja es la demanda de electricidad, los aprovechamientos hidroeléctricos detraen energía de la red para aportarla en las horas punta a final de la mañana y de la tarde.

Si analizamos los gráficos siguientes en el que se ve como se compone la demanda en un día con viento y sol la hidroelectricidad es la más flexible para adaptarse a la curva de demanda diaria. Como se

ve por la noche a las tres o cuatro de la mañana cuando la demanda es pequeña la hidroelectricidad no aporta energía, más bien retira energía para aportarla en las horas punta las 12 de la mañana y las 22 h de la tarde.

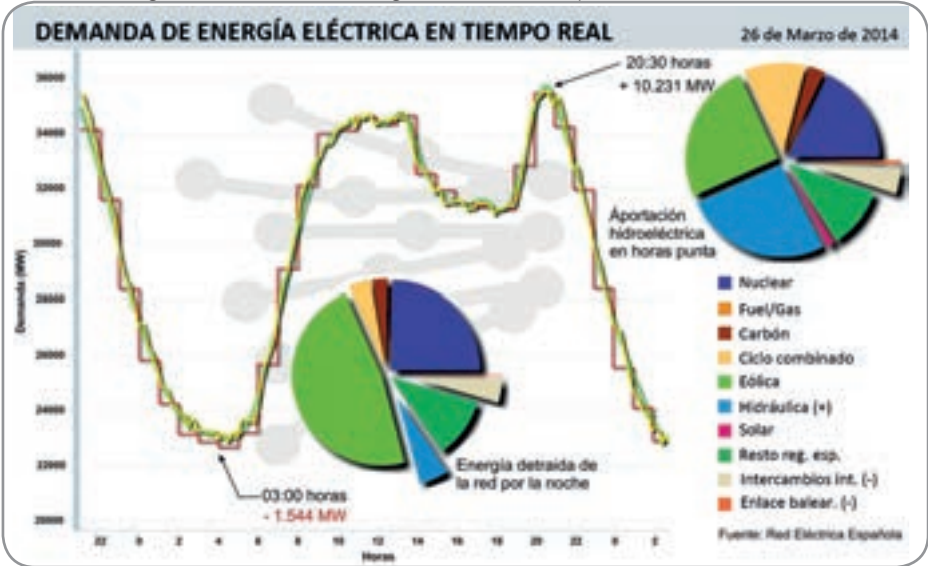
Figura 1: Curva de consumo eléctrico (24/03/2014), día con viento y sol.



Fuente: Datos Red Eléctrica adaptado

En la Fig. 2 puede verse el mercado en continuo de Red Eléctrica Española que muestra como las centrales de bombeo detraen electricidad a las 4 h de la mañana y como la aportan a la hora punta de las 20:30 h.

Figura 2: Demanda de energía eléctrica en tiempo real (26/03/2014).



Fuente: Datos Red Eléctrica adaptado

En España hay 3,3 GW de bombeo puro (aquellos que no están ligados a aprovechamientos hidroeléctricos) y 2.687 de bombeo mixto. Iberdrola tiende a tener el control de los bombeos. En 2013 terminó la central de Cortes - La Muela ampliándola hasta 1.720 MW y en la actualidad está construyendo la central de bombeo de Tamega 880 MW en Portugal en la frontera española. Los 8.000 MW previstos en el PNIEC 2030, en teoría, están sobrepasados con las iniciativas de empresas particulares, pero muchos de los proyectos, al menos en el Ebro, se prevé que no puedan ejecutarse, bien por problemas de agua, medioambientales o por reforzamiento de líneas para la evacuación de energía.

El aspecto más singular del almacenamiento de energía con el agua son las centrales de bombeo o reversible con 3.337 MW de bombeo puro y 2.687 de bombeo mixto. La previsión de la planificación energética es contar con 3.500 MW de nuevos bombeos puros y disponer de 8.000 MW de bombeo total.

Otros embalses tienen una función energética imprescindible como muestra la recomendación de Red Eléctrica a las Confederaciones Hidrográficas, para que determinados aprovechamientos hidroeléctricos fueran considerados estratégicos en la Planificación Hidrológica por razones de gestión energética nacional.

La transición energética que se está realizando en España con una fuerte implantación de energía fotovoltaica y eólica cambia de forma determinante la situación actual. No pueden hacerse previsiones valoradas ya que el propio Ministerio competente considera no viable toda la potencia presentada por la iniciativa privada, pero los signos son evidentes, habrá una fuerte implantación de energías renovables.

Recuadro 7

El riego solar al aplicar el ACV (ciclo completo de vida), tiene una reducción potencial de las emisiones de GEI por unidad de energía utilizada para bombeo de agua (CO₂-eq /kWh) del 95 al 97 por ciento en comparación con las bombas operadas con electricidad de red (mezcla de energía promedio global) y 97 a 98 por ciento en comparación con las bombas diésel [1]. La mayoría de los cultivos necesitan riego entre los 70 y 140 días al año, el resto del tiempo si hay una red disponible pueden verter a la red contribuyendo a la mitigación del cambio climático en el conjunto de la sociedad.

La derogación del 'impuesto al sol' y el abaratamiento de los precios de las placas fotovoltaicas, llevan al sector del regadío a liderar un modelo energético sostenible apostando por el autoconsumo. Los regantes son los segundos mayores demandantes nacionales de energía, sólo superados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias-Adif.

El regadío concentraba a fines de 2018 el 25% de las plantas solares para autoconsumo que se levantan en el territorio nacional, según datos de la Unión Española Fotovoltaica (UNEF). En 2018 se instalaron en España 261,7 megavatios (MW) de nueva potencia fotovoltaica, lo que supone un incremento del 95% con respecto al año anterior. De estos 261,7 MW, el 90% corresponde al autoconsumo energético.

1.Hartung, H.; Pluschke, L. (2018) The benefits and risks of solar powered irrigation. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization.

En países con una mayor implantación eólica y fotovoltaica, como Gran Bretaña o Alemania, ya se retribuye a los usuarios por consumir energía en determinados momentos y en España en algunos casos el precio de

la energía producida es prácticamente cero como los 4 EUR/MWh en Semana Santa o los 0,1 EUR/MWh durante buena parte del día 21 de diciembre de 2019. Por otra parte, hay precios de pool de hasta 180 EUR/MWh.

El regadío español dispone directa o indirectamente a través de las Confederaciones de una capacidad de regulación de agua importante y está reaccionando en su gestión energética con soluciones novedosas, ante esta fluctuación tan grande.

LAS INFRAESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

Inciendiando en el almacenamiento de energía individual o en comunidades de regantes las experiencias que tienen éxito son aquellas que trabajan en isla y en algunos casos con una conexión a red unidireccional, dadas las actuales posibilidades que ofrece la legislación eléctrica. El modelo es disponer de una balsa de agua en la zona baja del área regable unida por una conducción con una balsa situada a cota superior a ser posible que aporte la presión natural al riego presurizado. En el caso de aguas subterráneas es el acuífero el que garantiza la regulación inferior.

El dimensionamiento del volumen de cada balsa de regulación y del apoyo solar fotovoltaico es función de las características de cada proyecto, pero el óptimo viene definido por el ahorro en el término de potencia, el ahorro de energía suministrada de la red y por otra parte por los costos de inversión en las infraestructuras.

Las experiencias son positivas con ahorros significativos y con proyectos muy sostenibles. En algunos de los proyectos analizados, la amortización de la inversión se consigue entre 10 y 12 años. El desarrollo de la normativa de autoconsumo con el precio y las modalidades de evaluación de excedentes que están pendientes de aprobar por el Gobierno de la Nación, permitirán abordar proyectos de apoyo solar de más envergadura.

El llenado de embalses laterales en canales históricos con energía solar y la utilización de las láminas de agua de embalses y balsas para instalación fotovoltaica y además para evitar la evaporación son alternativas que contribuyen al almacenamiento de energía y, sobre todo, para hacer más beneficiosas las impulsiones y más sostenibles. En este sentido el apoyo solar en el mundo tiene un crecimiento exponencial y hay proyectos de envergadura en las Confederaciones con estudios pendientes de ejecutar como los casos de los embalses de La Loteta o Almudevar en el Ebro.

La calidad de la energía producida en los embalses en explotación se puede mejorar mediante la adopción de esquemas embalse-contrabalse, con el fin de atender el régimen de caudales de la demanda de los restantes usos desde el contraembalse, aguas abajo, y concentrar las horas de turbinación de caudales a potencia máxima en el embalse de aguas arriba, incluso, allí donde sea rentable, se puede incrementar la potencia instalada en el mismo

Los aprovechamientos reversibles que se promueven desde la iniciativa privada y contemplados en algunos casos en los Planes Hidrológicos y que podrían desarrollarse, son frustrados por una burocracia enorme; los requisitos medioambientales y las tardanzas de las Confederaciones en la resolución de concesiones de agua, unido a la dificultad de desbloquear los nudos de evacuación eléctrica, retrasan esas iniciativas que son una apuesta por la sostenibilidad energética de España.

El objetivo de conseguir 8.000 MW de saltos reversibles a 2030 contemplados en el PNIEC y en la Proposición de Ley de Cambio Climático y Transición Energética será difícil de conseguir a juzgar por la lentitud de los trámites existentes.

Existen varios proyectos de iniciativas privadas especialmente en las cuencas de los ríos Sil, Duero y Ebro, alguna de ellas pretende la repotenciación de saltos reversibles existentes, pero, en cualquier caso, las comunidades de regantes pueden tener un papel preponderante para una gestión más descentralizada del almacenamiento de energía.

En el caso del Ebro existe un importante proyecto de almacenamiento energético a gran escala contemplado en el Plan Hidrológico vigente R.D 1/2016 de 8 enero que permite crear sinergias entre la gestión energética y solucionar el déficit hídrico de la margen derecha del Ebro, uno de los aspectos importantes de la política del agua de España.

GOBERNANZA DEL AGUA Y LA ENERGÍA ANTE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La gestión de la energía ante los nuevos escenarios de la transición energética, con un peso importante de las energías renovables de difícil gestionabilidad, tienden a parecerse cada vez más a la compleja gestión del agua. Según las condiciones meteorológicas y climáticas se pasa de la abundancia a la escasez y por otra parte existe una rigidez en la demanda difícil de satisfacer si no se cuenta con la regulación pertinente mediante un fuerte almacenamiento.

España cuenta con un gran bagaje en la gestión del agua porque como país árido ha tenido que avanzar mucho en la gobernabilidad. Las Leyes de Aguas de 1879 y 1985 supusieron un éxito para una gestión pacífica del agua y además para una gestión muy eficiente ya que la satisfacción de las cuantiosas demandas está bastante garantizada y los precios en alta del m³ de agua disponible para los distintos usos es barata en comparación con los costes energéticos que soporta el regadío y otros usos.

Las principales razones del éxito en la gestión de aguas ha sido la seguridad jurídica que ha supuesto contar unas leyes de agua de carácter nacional vigentes durante muchos años. La permanencia de un régimen económico financiero estable que ha dotado a España de un patrimonio hidráulico público- privado extraordinario. La colaboración público - privada para solucionar los importantes problemas de agua en la que los usuarios del agua, organizados de forma reglada y con un equilibrio claro entre poder y responsabilidad han promovido actuaciones y mantienen la compleja gestión del agua.

Estos principios rectores en la gestión del agua pueden aplicarse a la transición energética que se está desarrollando. Son necesarias grandes inversiones para realizar la transición energética como nos muestran los Planes de la Unión Europea y de España, pero para el éxito, la sociedad civil debidamente organizada deberá participar. Los cientos de miles de usuarios del agua organizados en comunidades, federaciones y confederaciones pueden y deben ser una vanguardia en esa apuesta por la transición energética.

Para el éxito se demanda normas claras y universales especialmente en autoconsumo y almacenamiento energético, tramitaciones fáciles y ágiles; si el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición energética pretende fijar dos años máximo para la tramitación de nuevos proyectos que se cumpla.

Si en los planes de modernización de regadíos del Estado se incluyen los proyectos energéticos como sucede en algunas Comunidades Autónomas será un logro. Pero sobre todo los proyectos de incorporación de renovables en las Comunidades de Regantes no deben ser frenados por la lentitud e inseguridad jurídica de los trámites burocráticos.

CONCLUSIONES

La nueva transición energética demanda además de viento y sol, espacio y agua que son los dos componentes que dispone el regadío. El regadío es el actor fundamental en la producción de alimentos en el mundo y en España como país árido, tiene un peso determinante para hacer sostenible este país en la producción agroalimentaria que demandan los españoles de esta generación y de las generaciones futuras.

La sostenibilidad energética de España radica en la producción autóctona de energía para evitar transferir la insostenibilidad a otros países, especialmente con las extracciones y el consumo de energía fósil. La producción de electricidad es un problema resuelto con energías renovables. Las subastas mundiales con precios entre 20 y 30 EUR/MWh nos muestran que producir electricidad es barato.

Ante la nueva transición energética, gestionar la electricidad para no despilfarrar la energía renovable producida y adaptarla a la demanda en cada momento es mucho más complejo porque las baterías no son competitivas en el presente, aunque en un futuro pueden ser la solución. El almacenamiento de energía a gran escala en el mundo en un 99,4 % se realiza con el agua, bien con el almacenamiento en embalses o bien, con centrales reversibles.

Los embalses de regulación, unido a las centrales de bombeo son el gran patrimonio de España tanto para garantizar el agua para regadíos, industria y abastecimientos como para gestionar eficazmente la electricidad de este país. Las Confederaciones Hidrográficas y las Comunidades de Regantes tienen un protagonismo y van a tenerlo más en el futuro para contribuir a la sostenibilidad alimentaria y energética de este país.

El consumo medio de energía del regadío español se encuentra en la horquilla de 0,3 a 0,4 KWh/m³ de agua. Por esta razón es necesario realizar chequeos al consumo energético de los regadíos no sólo para reducir el consumo de energía sino para proponer inversiones alternativas con energías renovables que en muchos casos se pueden amortizar entre 10 y 12 años.

Con el gran desarrollo de las energías renovables de difícil gestionabilidad los precios tienden a fluctuar llegando a precios negativos en determinados momentos como en Alemania y Gran Bretaña o a precios prácticamente cero como en España en este último año. El regadío español dispone directa o indirectamente a través de las Confederaciones de una capacidad de regulación de agua importante y se le abre unas buenas oportunidades para el futuro a medio plazo.

En el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética se contemplan unos objetivos muy ambiciosos para la implantación de energías renovables al horizonte 2030 pero los trámites burocráticos están paralizando muchas de las iniciativas privadas especialmente en almacenamiento de energía con centrales de bombeo.

Los regantes consideran que debe cumplirse los tiempos de tramitación máxima de dos años con las nuevas instalaciones de energía renovable tal como recoge el Art. 15 del mencionado Proyecto de Ley. Los tramites ambientales, las concesiones de agua y las rigideces para la evacuación de energía a la red en la situación actual, se dilatan en el tiempo por lo que se disuaden las iniciativas de gestión sostenible de las Comunidades de Regantes y de otros promotores.

El modelo de gestión público - privada del agua a través de Confederaciones y Comunidades de Usuarios, que tiene un reconocimiento mundial, pueden ser extrapolables a la transición energética y en este sentido son un patrimonio organizativo importante para la dinamización de la transición energética.

10- Aplicación de las TIC en el Regadío

José F. Maestre Valero, Mariano Soto García

JUSTIFICACIÓN DEL USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN EL REGADÍO

Se estima que la producción de alimentos deberá incrementarse entre un 70-100% para el año 2050 para poder alimentar a 9000 millones de personas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que cumplir con este objetivo solo será posible bajo una agricultura intensiva de regadío, que actualmente produce el 40% de los alimentos con menos de un 20% de las tierras cultivadas (FAO 2017). Sin embargo, hoy en día, los recursos hídricos se encuentran bajo una fuerte presión debido a causas como el crecimiento demográfico mundial, el cambio climático y la competencia por estos recursos entre los diversos ámbitos: agricultura, población, energía, industria, turismo y medioambiente. En el caso de la agricultura, esta fuerte presión crea desequilibrios entre los recursos renovables y las demandas totales y pone en peligro la sostenibilidad del regadío, su resiliencia y, por lo tanto, la producción de alimentos (Faures et al., 2013).

Estas cifras ponen de manifiesto el papel trascendental de la agricultura de regadío en la producción sostenible de alimentos cuyo reto es claro: incrementar la productividad agrícola con menos recursos (principalmente agua y energía), tratando de preservar los ecosistemas. En este sentido, uno de los objetivos del regadío español es hacer totalmente compatible su actividad con el medioambiente al objeto de garantizar el buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua tanto superficiales como subterráneas. Este objetivo se está consiguiendo mediante una gestión basada en la modernización de regadíos, en el fomento de la investigación y la incorporación de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (TICs), el análisis de Big Data y el Internet de las cosas (IoT).

Recuadro 8

COSTES					
	Indicador	Unidad	EUR/Und	Total (10 ⁶ €)	%
[A]	Coste Anual Equivalente (CAE)	-	-	114,2	97,50%
[B]	Coste de las emisiones de CO ₂	83.187 t CO ₂	38,54	3,2	2,50%
[C]=[A]+[B]	Total			117,4	100.0%
BENEFICIOS					
	Indicador	Unidad	EUR/Und	Total (10 ⁶ €)	%
Servicios de aprovisionamiento					
[D]	Incremento en la productividad del agua	1.240 hm ³	0,12	148,8	36,60%
[E]	Incremento de empleo	6.006 UTA	10,08	44,5	11,00%
[F]	Incremento de la garantía	2.205 hm ³	0,06	132,3	32,60%
Servicios de regulación					
[G]	Incremento de cultivos arbóreos (captura de CO ₂)	2.048.277 t CO ₂	38,54	78,9	19,40%
[H]	Reducción de la fertilización aplicada por ha	14.777 t CO ₂	38,54	0,6	0,10%
[I]	Reducción de la contaminación difusa de las masas de agua	5.484 t N	208	1,1	0,30%
[J] = [D...I]	Total, Directos			406,3	100.0%
RATIO COSTE-BENEFICIO (Solo DIRECTOS)				3,5	
[K]	Multiplicador VAB conjunto de la Economía			72,9	n/a
[L]	Multiplicador Empleo conjunto de la Economía			29,7	n/a
[J]+[K+L]	Total, directo + multiplicador			508,9	n/a
RATIO COSTE-BENEFICIO (incluyendo MULTIPLICADOR)				4,3	

El análisis coste beneficio es una herramienta que se emplea para analizar el beneficio social que generan políticas de inversión. Un reciente trabajo¹ evalúa la ratio beneficio /costes de la modernización en la cuenca del Guadalquivir en 3,5:1 (beneficios directos) y en 1:4,3 (si se incluyen los indirectos).

Los resultados muestran un alto beneficio social en comparación con el coste de las medidas de modernización de regadíos, y será conveniente elaborar este análisis a escala nacional. Este saldo positivo contrasta con los análisis elaborados para el AVE que los costes superan a los beneficios incluso en las hipótesis más favorables.[2]

[1] Borrego-Marín, M.M.; Berbel, J. *Cost-benefit analysis of irrigation modernization in Guadalquivir river basin. Agricultural Water Management* 2019, 212, 416-423.

[2] Carrera-Gómez, et al. (2006) *Cost-benefit analysis of investment in high-speed train system in Spain. Transportation Research Record* 2006, 1960, 135-141.

Las TICs se definen como un conjunto de servicios de redes y aparatos (radio, televisión, teléfono móvil, internet, transferencia electrónica de dinero, etc.) que permiten la recopilación e intercambio de datos a través de la interacción y la transmisión. El análisis de Big Data y el IoT se definen como herramientas clave que posibilitan la optimización de resultados y una mayor eficiencia en los procesos productivos, pues permiten obtener y analizar grandes paquetes de datos multiparamétricos, geoespaciales y en tiempo real, al objeto de interconectar los objetos y máquinas cotidianas y prestar soporte para la toma de decisiones (Nawandar y Satpute, 2019). Su implementación es clave para el desarrollo tecnológico y agrario y permite mejorar la calidad de vida del ser humano dentro de un entorno e incrementar la eficiencia de los procesos (Ali et al., 2016).

En la agricultura de regadío, las TICs e IoT se implementan fundamentalmente a dos escalas. La primera escala es el perímetro de riego asociado a una comunidad de regantes, donde ésta es la encargada de controlar la gestión de los recursos hídricos. Las comunidades de regantes (CCRR) se definen como una agrupación de todos los propietarios de una zona regable, que se unen obligatoriamente por Ley, para la administración autónoma y común de las aguas públicas, sin ánimo de lucro. A esa zona concreta de tierra regable se le otorga una concesión de agua para regar". Las principales actuaciones realizadas por las CCRR han consistido principalmente en la modernización de las infraestructuras de transporte y distribución, así como en los sistemas de aplicación de agua en parcela. De esta forma se ha producido la sustitución de las tradicionales redes de conducciones abiertas por tuberías a presión; lo que ha permitido la implantación de las TICs e IoT en la gestión del regadío.



Figura 1. Sustitución de riego tradicional por riego localizando en una parcela en la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (Mula-Murcia)

La Figura 1 muestra un ejemplo de sustitución de riego tradicional por riego localizando en una parcela en la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (Mula-Murcia).

En segundo lugar, a escala de parcela la implementación de TICs e IoT se basa fundamentalmente en el uso de sensores para monitorizar el sistema continuo suelo-planta-atmósfera, sistemas de procesamiento de grandes paquetes de información como sistemas de ayuda y soporte a la decisión del agricultor y herramientas de teledetección para la monitorización de los recursos terrestres.

Este capítulo presenta las principales TICs e IoT aplicadas en el regadío, haciendo hincapié sobre los principales beneficios de su implementación y muestra diferentes escenarios de éxito de la aplicación de estas tecnologías en el regadío.

IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

La incorporación de las TICs e IoT a la gestión de las CCRR ha tenido una repercusión de enorme trascendencia en las prestaciones de estas entidades, dado que les ha ofrecido muchas oportunidades a sus gestores y usuarios, por contar con diferentes herramientas para mejorar el regadío. Entre las herramientas más utilizadas se encuentran:

- Sistemas de información geográfica (SIG). Conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz. En el caso de una comunidad de regantes, un SIG es una herramienta particularmente relevante para la gestión del regadío, debido a la gran cantidad de datos espaciales georreferenciados que se procesan (parcelas, red de distribución, balsas de riego, estaciones de bombeo, etc.). Esta gestión permite un control sobre cada metro cúbico de agua distribuido, e incrementa la eficiencia de la distribución de los recursos hídricos, con el ahorro de agua y energía que ello supone. La Figura 2 muestra el visor SIG de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (Murcia). La versión de acceso público se puede acceder a través del siguiente enlace: <https://gis.crcc.es:9000/multi/dev/>.



Figura 2. Visor SIG de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (Murcia)

- Sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Este sistema realiza el telecontrol y monitorización de la red de riego. Permite llevar la información hacia y desde los elementos de operación hasta el centro de control (Figura 3), realizando el análisis y control necesarios sobre los diferentes elementos (válvulas hidráulicas, contadores, grupos de bombeo, balsas de riego, etc.). Esto posibilita poder controlar la trazabilidad del agua en tiempo real, y ayudar a detectar las posibles pérdidas de agua o manipulaciones no autorizadas de la red de riego.



Figura 3. Interface del SCADA de la CR Traslase Tajo-Segura de Totana (Murcia)

- Sistemas de soporte a la decisión (SSD). Sistemas dinámicos que integran datos, modelos matemáticos y conocimiento del usuario y que ayudan a este último en la toma de decisiones. Su aplicación en la gestión de riego se inició aproximadamente a principios de los años 90, y es actualmente una herramienta de gran utilidad, ya que permite la consideración conjunta del riego, de la hidráulica, del consumo energético y de los criterios económicos (Figura 4); aspectos que permiten al usuario alcanzar niveles de optimización adecuados.

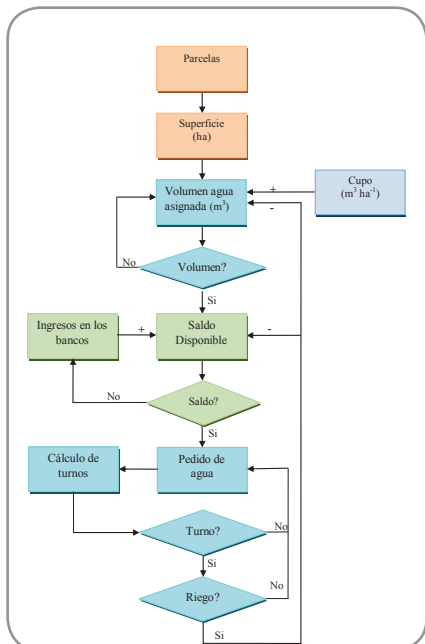


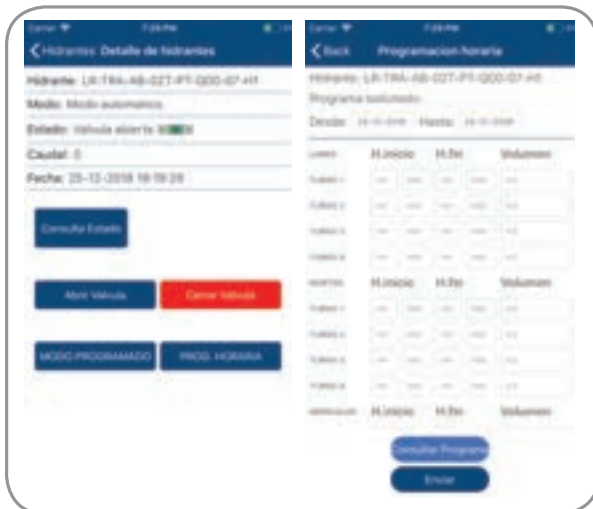
Figura 4. Diagrama de flujo de la distribución de agua en la CR de Campo de Cartagena (Murcia)

- Aplicaciones Web y App para telefonía móvil. La disponibilidad del uso de Internet en diferentes dispositivos electrónicos (PC, Tablet, Smartphone, y Smart TV) y el sencillo manejo de las diferentes aplicaciones Web y App permite establecer nuevos canales de comunicación para el uso de los servicios de las CCRR, tanto para el personal de la misma como para los regantes. La Figura 5 muestra un ejemplo de la aplicación para smartphone utilizada por la Comunidad de Regantes de Lorca (Murcia).

Figura 5. Aplicación para Smartphone de la CR de Lorca (Murcia)

- Redes sociales. Ofrecen una gran oportunidad a las CCRR para mostrar cómo se gestiona el agua, y los beneficios que tiene la agricultura de regadío para la sociedad (Figura 6).

Figura 6. Captura de pantalla de la red social Facebook de la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España



Conviene destacar la relación de las TICs e IoT en el entorno agrario. La conflictividad por el acceso a los recursos hídricos puede convertirse en un problema de especial importancia sobre todo en los periodos de escasez de agua, pues los encargados del reparto de agua entre los agricultores pueden no disponer de las herramientas adecuadas para garantizar la equidad entre los regantes. En este sentido, el uso de las TICs e IoT permite el reparto transparente, equitativo y controlado y, por lo tanto, reducir la conflictividad entre ellos. Además, los servicios de informaciones móviles son muy útiles para transmitir información sobre el clima (agrometeorología) a los agricultores y además les ofrece la oportunidad de reunir datos sobre las tendencias en tiempo real y compartirlos con otros agricultores. Unido a esto se encuentra la reducción en el tiempo de actuación como consecuencia de la implementación de las TICs e IoT.

En resumen, estas tecnologías (TICs e IoTs) aplicadas en las CCRR conllevan las siguientes ventajas: (i) una reducción del consumo de agua; (ii) una mejora en la eficiencia de distribución; (iii) un reparto equitativo del agua; (iv) una trazabilidad de cada metro cúbico de agua distribuido; (v) una gestión transparente; (vi) una reducción del consumo y coste energético; (vii) una mejora en los servicios ofrecidos a los comuneros y regantes, proporcionándoles una mejor calidad de vida, entre otros aspectos.

Es importante destacar que mientras que la superficie destinada a regadío ha incrementado un 9% entre 2002 y 2016 (de 3.354.172 ha a 3.655.417 ha; ESYRCE), el consumo de agua por la agricultura para el mismo periodo ha descendido un 13% (de 17.083 hm³ a 14.948 hm³). La Figura 7 muestra una reducción del consumo de agua por hectárea del 20% para el periodo 2002 - 2016.

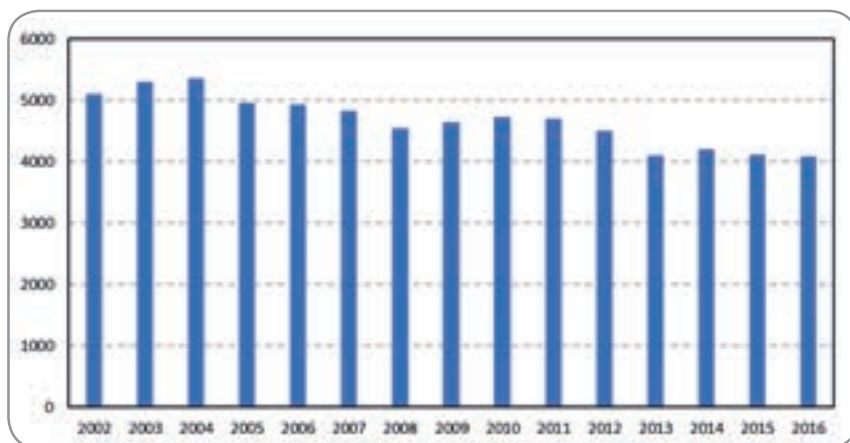
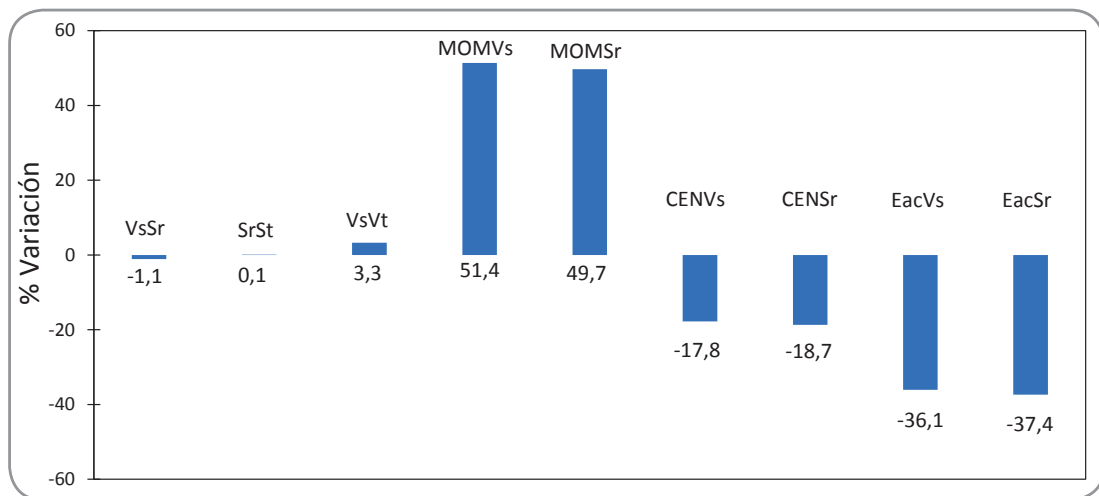


Figura 7. Evolución del consumo de agua por superficie. Elaboración propia a partir de datos Instituto Nacional de Estadística (INE) y de Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)

LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CAMPO DE CARTAGENA: UN CASO DE ÉXITO DE LA APLICACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

La Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), ubicada en el sureste de la Región de Murcia, se caracteriza por tener una de las agriculturas de regadío más tecnificadas y productivas de Europa. Esta comunidad tuvo un intenso proceso de modernización entre 1996 y 2010 cuando se sustituyeron los elementos de control y de medida por otros habilitados para el telecontrol, y se mejoraron las herramientas de gestión, incluida la automatización de los procesos administrativos de identificación, el control remoto de la infraestructura hidráulica, el monitoreo en tiempo real de todas las instalaciones y la implementación de nuevos servicios de comunicación a los agricultores (aplicaciones web y de telefonía móvil). Actualmente la CRCC comprende una superficie regable de 41.920 ha con 9.678 comuneros.

En 2013, Soto-García et al (2013a) estudiaron el efecto de la escasez de agua y la modernización en el rendimiento de varias comunidades de regantes de la Región de Murcia y de forma específica para la CRCC durante el periodo 2002-2011. La Figura 8 presenta los efectos asociados a la modernización (incorporación de las TICs) llevada a cabo en la CRCC expresados como porcentaje de variación con respecto a la situación antes de la modernización. En este trabajo se identificaron como principales ventajas la reducción en el consumo de energía, que derivaron en costos totales más bajos en comparación con el escenario de referencia antes de la modernización.



Fuente: Adaptado de Soto-García et al. (2013a)

Figura 8. Efectos asociados a la modernización (incorporación de las TICs) entre los años 2002 y 2011.

VsSr: intensidad de cultivo suministro anual de agua de riego por unidad de área regada ; SrSt: intensidad de cultivo ; VsVt: eficiencia del suministro de agua del sistema ; MOMVs y MOMSr: coste total de gestión, operación y mantenimiento por unidad de volumen suministrada a los usuarios o por unidad de área regada; CENVs y CENSr: coste de energía por unidad de volumen suministrada a los usuarios y por unidad de área regada; EacVs y EacSr: consumo de energía por unidad de agua suministrada a los usuarios y por unidad de área regada

Además de estos aspectos fácilmente cuantificables y relacionados con el ahorro de energía y económicos, esta implementación de las TICs e IoT produjo efectos sociales notables (Tabla 1) sobre los agricultores y sus familias (Soto-García et al. 2013b). Los agricultores se beneficiaron de una asignación más eficiente y equitativa de los recursos hídricos, se evitaron conflictos mediante el establecimiento de la trazabilidad del agua y se mejoró en la transparencia de la gestión con la puesta a disposición de nuevos servicios web y móviles, prestados las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Por otro lado, los celadores de la CRCC han pasado a realizar las tareas asignadas casi de una forma instantánea, incorporándose además nuevas capacidades no disponibles anteriormente, e incrementando la especialización de los trabajadores.

Tabla 1. Beneficios sociales expresados en tiempo requerido asociado a una determinada tarea en la modernización TIC llevada a cabo en la CRCC

Tarea	Tiempo requerido	
	Antes	Después
Tiempo entre el riego y la facturación	> 5 días	15 - 30 min
Apertura/cierre de válvulas	15 min - 1 h	< 5 min
Arranque/parada grupos de bombeo	20 min - 1 h	< 5 min
Conocer la lectura de un contador	15 min - 1 h	< 2 min
Conocer el nivel de las balsas	20 min - 1 h	< 2 min
Identificar un acto de vandalismo en la red de	-	Tiempo real
Identificar las parcelas de un regante	10 - 30 min	Tiempo real
Conocer los riegos de una toma	1-2 h	Tiempo real
Programar los turnos de riego de una semana	-	30 min - 1 h
Identificar unas parcelas con una serie de	-	< 2 min
Conocer la superficie regada de la CRCC	-	Tiempo real
Conocer la demanda de la CRCC	-	Tiempo real
Conocer la evolución de la superficie de cada	-	< 2 min
Mapas temáticos en función diferentes atributos	-	5-15 min

Fuente: Soto-García et al. (2013b)

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN E INTERNET DE LAS COSAS EN PARCELA

A nivel de parcela, las TICs e IoTs se asientan sobre dos ejes principales. En primer lugar, los servicios de asesoramiento al regante ofrecidos por las diferentes administraciones que permiten al regante obtener información y soporte en la toma de decisiones. Entre los más representativos a nivel nacional se encuentra el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR; <http://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>), que dispone de más de 450 estaciones agrometeorológicas automáticas distribuidas en superficies de regadío, que cuentan con sensores de precipitación, humedad, temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento que permiten el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos (Figura 9). Este sistema permite la consulta y descarga de datos meteorológicos cada media hora en tiempo real, así como diarios, semanales o mensuales de uno o varias estaciones meteorológicas y la estimación de las necesidades netas de los cultivos, teniendo en cuenta únicamente las condiciones climáticas y el cultivo. Existen en la actualidad diversos canales a través de los cuales el SiAR suministra la información gratuita generada, además de la página web, entre los que es destacable SiARapp, la aplicación gratuita para smartphones y tablets del SiAR.



Figura 9. Servicio de información Agroclimática para el Regadío (SiAR) proporcionado por el MAPA (izquierda captura de la web derecha SiARapp) (<http://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>).

Fuente: Elaboración propia

A nivel regional existen también iniciativas que permiten incrementar de forma notable la aplicación del agua a escala de parcela. Una de ellas es la que ofrece el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) de la Región de Murcia (<http://siam.imida.es/apex/f?p=101:1:6305762012688573>) que asesora al regante con información sobre agrometeorología, fertirrigación, plagas y enfermedades y análisis económico de explotaciones (Figura 10).



Figura 10. Captura de pantalla del Servicio de Información Agrario de Murcia (<http://siam.imida.es>).

Fuente: Elaboración propia

A nivel parcela también se ha realizado un gran esfuerzo. Además de los servicios de asesoramiento al regante ofrecidos por las diferentes administraciones, existen diferentes técnicas que se pueden aplicar para reducir el consumo de agua y fertilizantes (Figura 11), y que son viables gracias al empleo de las TICs; principalmente mediante el telecontrol y la monitorización con sensores (datos climáticos, humedad del suelo, fertilización, consumos de agua, fertilizante y energía, imágenes...), el procesamiento de datos (modelización, simulación y predicción) y el análisis de la información:

- El riego deficitario controlado, que consiste en reducir el riego por debajo de sus necesidades hídricas en los periodos en los que el déficit de agua no afecta a la producción ni a la calidad de la cosecha.
- El riego de precisión, que consiste en realizar una programación óptima del riego, estableciendo el momento, la frecuencia y el tiempo de riego para dar a la planta el agua que necesita en el momento adecuado. Esto permite la utilización más eficiente de los recursos agua, fertilizante y energía.
- La desecación parcial del sistema radicular, que es una técnica de déficit de riego. Consiste en crear dos zonas de distinta aplicación de riego en la raíz, una de ellas debe tener déficit hídrico y mientras la otra se mantiene irrigada, de forma que las raíces que se sumergen en el suelo seco sintetizan señales químicas por el estrés que supone la falta de agua en el lado que permanece seco. La planta desencadena una respuesta como si estuviera en un estrés hídrico, aunque mantiene un correcto nivel de humedad, reduciendo la apertura de los estomas, disminuyendo con ello la transpiración y así reduciendo de este modo el consumo de agua.



Figura 11. Programador de riego en explotación agrícola

Algunas de las tecnologías más significativas que se encuentran a disposición de los regantes son los tensiómetros, las sondas de humedad del suelo, los equipos de medida de potencial hídrico de tallo, los dendrómetros, las sondas de flujo de savia, los drones y los satélites.

Tensiómetros (Figura 12). Estos equipos permiten determinar el potencial matricial; energía con la que el agua se encuentra retenida en el suelo. Es un aparato consistente en un tubo plástico que posee en un extremo una cápsula de cerámica porosa y en el otro un vacuómetro o indicador de la succión que se produce dentro del tubo plástico. El tubo se introduce en el terreno a una determinada profundidad. Cuando la humedad del suelo es baja, se extrae el agua del interior del tubo a través de la cápsula de cerámica porosa causando una diferencia de presión que se registra en un vacuómetro. Cuanto más seco se encuentra en suelo, mayor es el valor registrado por el lector del vacuómetro. Algunos modelos permiten la conexión de este con un equipo de adquisición de datos por medio de un transductor de tensión lo que facilita el acceso en tiempo real a los registros. Cuando el tensiómetro marca -0,8 a -1 bar indica que el agua fácilmente asimilable por la planta está próxima al 50%. Para suelos arenosos este valor llega hasta al 70%. Cuando se alcanzan estos valores se puede tener una idea aproximada de la cantidad de agua fácilmente disponible.

Mediante la implementación racional de tensiómetros, Lao y Jiménez (2004) obtuvieron ahorros de agua del 22% en un cultivo de tomate en Almería bajo invernadero. Buttaro et al. (2015) programaron el riego en un cultivo de tomate bajo invernadero mediante el uso de tensiómetros en Bari, Italia, y concluyeron que un uso adecuado del tensiómetro permite establecer las dosis de riego óptimas y un empleo frecuente y controlado de los volúmenes de riego.



Figura 12. Tensiómetro en explotación agrícola

Sondas de humedad (Figura 13). Estas sondas, principalmente sensores TDR (basados en la reflectometría en el dominio del tiempo) y FDR o sonda de capacitancia (basados en la reflectometría en el dominio de frecuencias), permiten obtener una estimación precisa de la cantidad de agua que se incorpora al sistema suelo-planta en cada momento (kg agua/kg suelo o m³ agua/m³ suelo), de forma que se puedan evitar pérdidas de agua en profundidad o un déficit hídrico no deseado. El sensor TDR se compone de unas varillas que se introducen en el suelo a la profundidad deseada. Funciona bajo el

principio físico de que la presencia de agua en el suelo afecta a la velocidad de propagación de una onda electromagnética (la hace más lenta). El sensor FDR permite determinar el grado de humedad volumétrico a partir de la medida de la capacitancia eléctrica del suelo. La capacitancia eléctrica del suelo varía fundamentalmente según la humedad y se determina por la variación que produce en la frecuencia de una onda previamente emitida por el sensor.

La sonda FDR permite medir a varias profundidades. En la gestión y el manejo del riego, estas sondas permiten al regante analizar la tendencia de los contenidos de agua en las distintas capas del suelo, lo cual no requiere una calibración específica de la sonda. Además, conectadas a sistema de transmisiones vía radio, GSM o GPRS, la información de humedad es accesible al regante en tiempo real. Mediante la aplicación de 15 sondas FDR, Millan et al. (2019) automatizaron y programaron el riego localizado de un cultivo de ciruela japonesa durante 3 años en Badajoz. Estos investigadores compararon los resultados con un riego control basado en la determinación de las necesidades hídricas mediante el producto de la evapotranspiración de referencia (ET₀) y del coeficiente de cultivo (K_c). La programación mediante sondas capacitivas permitió ahorros de agua de hasta el 45% e incrementos de producción de hasta el 37%. Blanco et al. (2019) usaron sondas capacitivas para implementar un riego deficitario en cerezos dulces durante 4 años en Jumilla. Estos investigadores alcanzaron ahorros de agua entre 30 - 40% (3000 m³/ha) sin producir efectos negativos en el rendimiento de los cultivos.



Figura 13. Sensores de humedad en parcela agrícola y su aplicación para smartphone

Cámara de presión. Este equipo permite determinar el estado hídrico de cítricos y frutales (potencial hídrico) y conocer por lo tanto el momento adecuado para iniciar el riego. La determinación más usual es la del potencial hídrico de hoja no transpirante, comúnmente denominado “potencial de tallo”. En el estudio reciente de Blanco et al. (2019), se utilizó una cámara de presión tipo Scholander para monitorizar el estado hídrico de ciruelo.

Dendrómetros. Denominados sensores LVDT estiman el estado hídrico de las plantas a través de la medida de las variaciones de grosor del diámetro de un tronco o rama, transformándolas en señales eléctricas. En un día soleado el diámetro del tronco decrece durante las horas centrales del día, para luego recuperar lo perdido a lo largo de la noche e incluso crecer. Estas variaciones permiten determinar la máxima contracción diaria (MCD), como diferencia entre el máximo diámetro del tronco alcanzado temprano por la mañana y el mínimo alcanzado normalmente por la tarde, y la tasa de crecimiento, como diferencia entre los máximos diarios alcanzados por el tronco en dos días consecutivos. Blanco et al. (2019) utilizaron dendrómetros para monitorizar la evolución de la máxima contracción diaria de tronco y el crecimiento acumulativo de tronco durante los 4 años de periodo experimental. Los valores

obtenidos les permitieron analizar el comportamiento fisiológico de los árboles ante una situación de estrés hídrico causada por un riego deficitario.

Flujo de savia. Este sensor puede proporcionar una buena estimación directa de la transpiración (consumo de agua por la planta) mediante la medida del caudal de savia que fluye por el xilema. Este método consiste en medir la diferencia de temperatura entre dos agujas insertadas en la savia, la aguja superior se calienta con un suministro constante de energía, y la diferencia de temperatura se puede convertir, con una fórmula empírica, a la densidad de flujo de agua.

Drones y teledetección. El uso de sensores y cámaras acoplados en vehículos aéreos no tripulados (drones) y de la teledetección permite percibir las propiedades de un objeto sin estar en contacto con él. En este sentido, el uso de esta tecnología junto con análisis de procesamiento de imágenes tanto espectrales como térmicas permite obtener información relevante sobre el área en estudio y llevar a cabo una monitorización constante y ayudar a detectar posibles problemas de manera temprana como el estrés hídrico o el control de plagas.

Romero-trigueros et al. (2019) utilizaron imágenes térmicas procedentes de vuelos aéreos no tripulados y evaluaron la idoneidad de los indicadores térmicos por termometría infrarroja para determinar el estado del agua de un huerto comercial de pomelo con riego a largo plazo utilizando agua salina regenerada y riego deficitario controlado en el sureste de España. Conesa et al. (2019) controlaron el estado hídrico de un huerto de nectarinos por medio del uso de drones e imágenes térmicas y multispectrales, y mediante el cálculo de indicadores como la temperatura del dosel, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).



Figura 14. Usos de drones en explotación agrícola

CONCLUSIONES

Este capítulo ha presentado las principales TICs e IoT aplicadas en el regadío y sus beneficios. Los escenarios de éxito presentados tanto los referentes a una modernización a escala de perímetro regable (Comunidad de Regantes) como a los derivados de su aplicación a escala de parcela evidencian que la agricultura de regadío depende, en buena parte, de la implantación de estas tecnologías, que permitan la utilización más eficiente del agua, de los fertilizantes y de la energía de manera que se incremente la productividad de los sistemas agrícolas. La correcta tecnificación del riego permite incrementar la rentabilidad de las explotaciones y utilizada de forma racional minimizar el impacto ambiental de esta actividad, al disminuir tanto el uso del agua y de energía, así como la aportación de elementos contaminantes al entorno. Por consiguiente, la implantación de sistemas de riego inteligente está siendo fundamental para garantizar la sostenibilidad de la agricultura de regadío y la alimentación de la población, y de este modo alcanzar el equilibrio entre la intensificación sostenible de la producción alimentaria de calidad y la adaptación al cambio climático.

Referencias

- Ali S, AfshanJabeen U, Nikhitha M (2016) Impact of ICTs on agricultural productivity. *European Journal of Business, Economics and Accountancy*, 4, No. 5.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith (1998) Evaporación del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Serie Riegos y drenajes n° 56. 322 pp.
- Blanco V, Torres-Sánchez R, Blaya-Ros PJ, Pérez-Pastor A, Domingo R (2019) Vegetative and reproductive response of 'Prime Giant' sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. *Scientia Horticulturae* 249: 478-489.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.016>
- Buttaro D, Santamaria P, Signore A, Cantore V, Boari F, Montesano FF, Parente A (2015) Irrigation management of greenhouse tomato and cucumber using tensiometer: Effects on yield, quality and water use. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4: 440-444. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.050>
- Conesa MR, Conejero W, Vera J, Ramírez-Cuesta JM, Ruíz-Sánchez MC (2019) Terrestrial and remote indexes to assess moderate deficit irrigation in early-maturing nectarine trees. *Agronomy* 9: 630. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100630>
- Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE). Acceso febrero 2020.
- Faures JM, Bartley D, Bazza M, Burk, J, Hoogeveen J, Soto D, Steduto, P (2013) *Climate Smart Agriculture Sourcebook*; FAO: Rome, Italy, 557p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017) *The Future of Food and Agriculture—Trends and Challenges*; FAO: Rome, Italy.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). *Agricultura, agua y medio ambiente, estadísticas sobre el uso del agua*. Acceso febrero 2020.
- Lao MT, Jiménez S (2004) Leaching of nutrients in greenhouse cultivation of tomato crop in the Mediterranean area under different fertirrigation managements. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2: 370-375.<https://doi.org/10.1234/4.2004.153>.
- López-Bernal A, Testi L, Villalobos FJ (2017) A single-probe heat pulse method for estimating sap velocity in trees. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.14694>
- Millán S, Casadesús J, Campillo C, Moñino MJ, Henar-Prieto M (2019) Using soil moisture sensors for automated irrigation scheduling in a plum crop. *Water* 11: 2061.<https://doi.org/10.3390/w11102061>
- Nawandar NK, Satpute VR (2019) IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and Electronics in Agriculture* 162: 979-990. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.027>
- Fernández-Landa C, Calancha-Marzana F, Otero-Sardina SF, Esteve-Bargues J (2018) *La gestión del agua en España. Análisis y retos del ciclo urbano del agua*. Informe PricewaterhouseCoopers Asesores de Negocios, S.L.

Soto-García M, Martínez-Alvarez V, García-Bastida PA, Alcón F, Martin-Gorriz B (2013) Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. *Agricultural Water Management* 124: 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.019>

Soto-García M, Del-Amor-Saavedra P, Martin-Gorriz B, Martínez-Alvarez V (2013b) The role of information and communication technologies in the modernisation of water user associations' management. *Computers and Electronics in Agriculture* 98: 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.005>

11- Conclusiones y propuestas de futuro

Julio Berbel

CONTEXTO DE ESTE TRABAJO

Este libro se ha elaborado durante la primavera del año 2020, mientras que la crisis del coronavirus azotaba a España y al mundo entero. En este tiempo de adversidad, la epidemia del coronavirus ha servido para recordar a la población urbana y a nuestros políticos que la agricultura es una actividad esencial. Se ha puesto de manifiesto que la seguridad del abastecimiento, que consiste en que la cadena alimentaria en su conjunto funcione de manera fluida y eficiente, es otra variable importante que es crítica para conseguir la seguridad alimentaria, en la que tanto hemos avanzado estos últimos años.

El papel la agricultura como sector estratégico y esencial ha quedado manifiesto tanto en España como a escala internacional con declaraciones de FAO, OMS y OMC pidiendo a los países que no pongan limitaciones al comercio internacional de alimentos, ya que esto podría agravar los efectos de la pandemia. En España hemos visto como en toda esta crisis, el abastecimiento de alimentos ha estado garantizado en todo momento.

No obstante, no hay que dar por garantizado la seguridad alimentaria y queda claro a escala mundial y a escala española que la alimentación humana pasa por el regadío. No puede España dedicarse a parques naturales para que la población urbanita se pasee los fines de semana y dejar al resto del planeta la obligación de alimentarnos. No nos lo podemos permitir como país, como los hechos han demostrado, ni es solidario obligar al resto del mundo a darnos de comer.

PRINCIPALES RESULTADOS DE ESTE LIBRO

Aunque se han hecho referencias a otros regadíos y al contexto mundial, nos hemos centrado en el caso español. Hay muchos regadíos y muy diferentes que van desde las complejidades de los arrozales en el sur de Asia hasta los riegos suplementarios y estacionales de Finlandia por lo que es difícil generalizar. Este libro se centra en el riego en sistemas mediterráneos con un contexto social y ambiental muy específico. No es bueno generalizar.

Hemos visto que el regadío español es el principal soporte de un mundo rural que retiene a los jóvenes y a las mujeres en los pueblos evitando una pérdida de talento hacia las ciudades. El riego mantiene una densidad de población que permite servicios y calidad de vida y que remunera a los agricultores y trabajadores del campo mejor y de manera más estable que el secano.

El esfuerzo que se ha llevado a cabo por el regadío español mediante la modernización y las consecuencias positivas de estas inversiones: ahorro de agua, mejora de la calidad de las masas de agua (menores nutrientes exportados en los retornos), mejora de la productividad de todos los factores (tierra, trabajo, capital, agua) ha sido enorme [1,2]. Como contrapartida al impacto positivos de la modernización está el indeseable efecto del aumento de consumo de energía vinculado a los nuevos sistemas de riego.

Esto nos lleva por un lado a evaluar unas perspectivas donde agua, energía y riego se alimentan se combinan y donde las energías renovables juegan un papel complementario a la producción agraria propiamente dicha. Por otro lado, la modernización es condición necesaria para la entrada de nuevas tecnologías permiten incorporar las nuevas TIC y nos llevan a la puerta de una agricultura cada vez más inteligente y unos agricultores cada vez más preparados.

Vamos a entrar en un tiempo donde los servicios ecosistémicos positivos del regadío (producción de alimentos, mantenimiento de biodiversidad, paisaje, soporte de la vida rural, etc.) sean valorados por la sociedad, pero para ello hay que seguir investigando en métodos que permitan una agricultura menos agresiva con el medio ambiente aumenten la captura de carbono y continúen produciendo alimentos de calidad a un coste competitivo.

SOBRE EL CONSUMO DE AGUA DEL REGADÍO.

El riego es el principal consumidor de agua del mundo, decir esto es una obviedad. FAO estima el consumo de la agricultura en un 70% a escala mundial. Los números, sin embargo, están fuertemente influenciados por pocos países que tienen una extracción de agua muy alta por lo que la media aritmética por país se sitúa en un 59, 23 y 18 por ciento, para agricultura, industria y urbano respectivamente. En España, por su carácter mediterráneo estos porcentajes pasan a 75, 13 y 12 por ciento.

El agua es el elemento imprescindible para la producción de alimentos y de hecho la agricultura sigue siendo el sector que más consume a pesar del proceso de modernización de los regadíos en países como España donde se ha reducido un 15 por ciento el consumo por hectárea en la última década. España se ha convertido en el país, junto con Israel (cuya superficie regada es el 5% de la española) que usa el agua de riego de manera más eficiente. El uso de agua de riego en la normativa española está subordinado a otros usos de mayor prioridad como el abastecimiento a población, el mantenimiento del caudal ecológico, y suministro sectores industriales estratégicos teniendo esta jerarquía rango legal. El riego usa el agua 'sobrante' una vez que se han atendido los usos prioritarios (doméstico, económico y ambiental). Eso se pone de manifiesto en los planes hidrológicos que materializan esta priorización y en los episodios de sequía donde los recortes de dotaciones afectan la mayoría de las veces exclusivamente al sector agrarios.

El riego en un país mediterráneo hace que los cultivos aprovechen mucho mejor el agua de lluvia, multiplicando la productividad de la tierra unas seis veces de media y muchas veces con unas dotaciones de riego de apoyo y deficitario que son un ejemplo de eficiencia en el uso de los recursos. Para poder hacer esta maravilla tecnológica es inevitable la necesidad de infraestructura como embalses, que suponen un impacto ambiental innegable pero que también tienen externalidades positivas en su entorno más cercano y en el sistema hidrológico en su conjunto. Así mismo, esos embalses en nuestro país son una infraestructura multifuncional, aseguran la garantía de suministro a los usos prioritarios (urbanos, etc.) dan apoyo a la producción de hidroelectricidad, previenen inundaciones y avenidas. Esto es posible porque permiten almacenar el agua de invierno o de años lluviosos para usarla en verano y en años secos contribuyendo a todas las externalidades positivas que hemos venido describiendo en este libro.

Hay muchos temas que se han quedado sin tratar y que merecen un análisis profundo como la reutilización de aguas residuales que una vez que pasen por un proceso de desinfección, pueden emplearse en la agricultura reciclando agua y nutrientes. Este tema merece una atención detallada por las implicaciones para el ciclo hidrológico, y su contribución a la economía circular y la eficiencia de los recursos, que no se ha atendido por falta de espacio en este libro.

PARA TERMINAR

Será necesario una labor de educación social a todos los niveles (empezando por los profesores de universidad, los políticos y llegando hasta los niños en las escuelas) para que estos hechos pasen a ser de dominio público y no seguir siendo cuestionado por la ignorancia colectiva.

Pero la única forma de que la sociedad no olvide y papel jugado en esta crisis por los agricultores es insistir y hacerlo mejor cada día. Por el momento, en este libro hemos expuesto brevemente los impactos positivos del regadío en la sociedad, sirva este intento como principio de un camino que nos permita alcanzar la imagen que el regadío debe tener en la sociedad.

Referencias

[1] Berbel, J.; Montilla-López, N.M. In Efectos de la modernización de riegos en España 2002-2015 y más allá en, Congreso nacional del agua, Orihuela, 2019; J. Melgarejo (Editor): Orihuela, pp 189-214.

[2] Berbel, J.; Gutiérrez Martín, C. Efectos de la modernización de regadíos en España. Cajamar Caja Rural: Almería, 2017; Vol. 30.

Referencia curricular de los autores

Julio Berbel Vecino (Jerez de la Fra. 1961), Catedrático de la Universidad de Córdoba, Doctor Ingeniero Agrónomo y Máster (M.A.) Agricultural Economics (1986). Responsable del grupo de investigación Water, Environmental and Agricultural Resources Economics (WEARE). Coordina actualmente proyectos europeos y de cooperación científica con China en política de aguas (PI Rural, Gotham, Suwanu). Su actividad reciente se ha centrado en la economía agraria y ambiental y ha participado activamente en la implementación de la Directiva Marco de Aguas en España y Europa y en el diseño de la política de aguas europea ('EU Water saving potential' y 'BLUE2', entre otros), así como en la elaboración de Planes Hidrológicos de Demarcación. Ha recibido el Premio Galileo a la Transferencia del Conocimiento (modalidad de Humanidades, Ciencias Sociales y Jurídicas) de la Universidad de Córdoba (2019) por su trayectoria de transferencia de resultados de investigación. Con anterioridad, ha participado en la gestión de empresas agroalimentarias y de servicios ambientales. Ha estado y sigue participando en organizaciones relacionadas con la economía y el medioambiente como el Real Jardín Botánico de Córdoba y la Fundación Ibérica para la Economía Circular, entre otros.

En su producción científica destacan la publicación de más de 300 publicaciones, de las cuales, más de 100 han sido en medios internacionales de alto impacto, así como la dirección de 16 tesis doctorales. Entre sus trabajos de divulgación destacan libros como 'Efectos de la modernización de regadíos en España' y 'Sostenibilidad de la Agricultura de regadío europea. La Directiva Marco de Aguas'.

Alfonso Expósito García (Andújar, 1976) es doctor en economía por la Universidad de Sevilla (2002), siendo una de sus líneas de trabajo e investigación, la Economía del Agua. Formó parte del grupo de economistas del proyecto WATECO «Economics and The Water Framework Directive» representando a la C. H. Guadalquivir en 2003 y ha participado en diversos proyectos nacionales e internacionales dedicados al análisis económico del agua, destacando el «Informe sobre Análisis Económico del uso del agua según la Directiva Marco de Aguas 2000/60/CE» y «Evaluación de la política de modernización de regadíos en un contexto de cambio climático: Análisis del presente y escenarios de futuro de cuencas del sur de España». Actualmente es profesor del Departamento de Análisis Económico de la Universidad de Sevilla y miembro del grupo de investigación Water, Environmental and Agricultural Resources Economics (WEARE) de la Universidad de Córdoba. Sus trabajos de investigación se han publicado en numerosas revistas de ámbito nacional e internacional.

José A. Gómez-Limón (Córdoba, 1968) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (1996). Ha sido profesor titular y catedrático de Economía Agraria en la Universidad de Valladolid desde 1998 hasta 2009. Ha sido igualmente investigador titular en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (IFAPA, 2009-2011). Actualmente es catedrático del Departamento de Economía Agraria en la Universidad de Córdoba. Hasta la fecha ha desarrollado una intensa actividad docente e investigadora en temas de Economía y Política Agraria. Esta labor que generó una gran cantidad de publicaciones. Ha sido investigador principal en más de 20 proyectos de investigación financiados en convocatorias competitivas. En relación a la temática de este libro cabe destacar su labor como coordinador nacional de la «Red Científica de Economía del Agua de

Riego» (ECORIEGO), y de los proyectos «Diseño de nuevos mercados de agua para España: Evaluación como medidas para la mejora de la eficiencia en su uso y la adaptación al cambio climático» (MERCA-GUA) y «Cambio climático y sostenibilidad del regadío: nuevos instrumentos de demanda para la gestión de sequías » (IRRIDROUGHT), todos ellos financiados por el Plan Nacional de Investigación y Ciencia. Asimismo, cabe destacar su labor como editor de los libros titulados La economía del agua de riego en España (2009) y Los mercados de agua en España: Presente y perspectivas (2016), ambos publicados por Cajamar Caja Rural.

Carlos Gutiérrez-Martín (Córdoba, 1977) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (2013). Formó parte del Grupo de Análisis Económico del Agua del Ministerio de Medio Ambiente durante la primera fase de implementación del análisis económico de la Directiva Marco del Agua. Actualmente es profesor titular de universidad en el departamento de Economía Agraria en la Universidad de Córdoba. Su actividad investigadora se ha desarrollado en el ámbito de la Economía Agraria y de los Recursos Naturales, y más concretamente en la Economía del Agua. Ha participado de diversos proyectos nacionales y europeos, así como en publicaciones, tanto artículos como capítulos en libros colectivos en el ámbito nacional e internacional. Actualmente es investigador principal del proyecto «Cambio climático y sostenibilidad del regadío: nuevos instrumentos de demanda para la gestión de sequías» (IRRIDROUGHT), financiado por el Plan Nacional de Investigación y Ciencia y del proyecto «Evaluación de estrategias de adaptación a la sequía bajo el actual escenario de cambio climático» (SEKECO), financiado con fondos FEDER. Dentro de la labor de transferencia, ha sido editor del libro Efectos de la modernización de regadíos en España (2017), publicado por Cajamar Caja Rural.

Álvaro López Bernal (Córdoba, 1986) es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba (2015). En la actualidad desempeña labores de investigación y docencia en el área de Producción Vegetal del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba, habiendo ingresado en la misma en 2017 como investigador del Programa Juan de la Cierva-Formación. Su actividad investigadora combina aspectos de agrometeorología, fisiología y modelización de cultivos, con una especial dedicación al caso de especies frutales en general y del olivar en particular. Es autor de más de 20 publicaciones en revistas científicas internacionales, así como de varias publicaciones de ámbito nacional destinadas a la divulgación y transferencia de la investigación. Ha participado en una decena de proyectos de investigación a escala nacional e internacional, siendo en la actualidad el responsable de uno de ellos.

José Francisco Maestre Valero (Cartagena, 1983) es doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Cartagena con premio extraordinario de doctorado (enero, 2012). Es profesor titular de universidad del área de ingeniería agroforestal, con docencia en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Su actividad investigadora se ha desarrollado en el campo de la gestión de recursos hídricos en la agricultura, particularmente en la estimación de pérdidas de agua por evaporación en balsas y embalses y la aplicación de técnicas para su mitigación, el estudio agronómico y económico del empleo de aguas no convencionales (aguas regeneradas y agua marina desalinizada), la evaluación de técnicas de riego de precisión como el empleo del riego deficitario controlado y el análisis de ciclo de vida de diferentes agro-sistemas. Ha realizado una estancia de investigación en el Centre for Ecology and Hydrology; centro de reconocido prestigio en Reino Unido. Ha participado en 18 proyectos de investigación de convocatorias públicas de ámbito europeo, nacional y regional, siendo investigador principal en 2 de ellos. Cuenta con 43 artículos publicados

en revistas listadas en el ISI-JCR y 2 tesis doctorales dirigidas. Es editor asociado de 2 revistas listadas en el ISI-JCR. En el campo de la transferencia de tecnología ha desarrollado 15 contratos con distintas empresas e instituciones de los cuales ha sido investigador responsable en 7 de ellos. Desde 2019 es el Secretario Académico de la ETSIA en UPCT.

Luciano Mateos Doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba e investigador científico en el Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en Córdoba. Fue investigador posdoctoral en el CSIRO (Australia), «Research Fellow» de la OCDE en las Universidades de California y Nebraska e investigador visitante de la Universidad de Sao Paulo. Su especialización es la agricultura de regadío, particularmente la ingeniería, hidrología y gestión de los sistemas de riego, desde la escala de la parcela a la de grandes cuencas. Su labor investigadora se desarrolla principalmente en Andalucía, pero también en otros países en colaboración con universidades y centros de investigación de Estados Unidos, Australia, Brasil, Argentina y la Unión Europea. Buena parte de su actividad es en países en desarrollo, sobre todo en África Subsahariana. Ha sido experto invitado en FAO (Roma) y consultor de agencias internacionales de cooperación para el desarrollo. Actualmente es «global fellow» del Robert B. Daugherty Water for Food Global Institute (Universidad de Nebraska).

Joaquín Melgarejo Moreno (Ojós, Murcia. 1960) Catedrático de Historia e Instituciones Económicas del Departamento de Análisis Económico Aplicado (UA). Director del Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales (IUACA); director del máster en Territorio, urbanismo y sostenibilidad ambiental en el marco de la economía circular de la Universidad de Alicante (UA), miembro de la Comisión Académica del Programa de doctorado Empresa, Economía y Sociedad de La Facultad de Ciencias Económicas de la UA y Coordinador de la Comisión Académica del Programa de doctorado Agua y Desarrollo Sostenible (UA). Director de la Cátedra del Agua de la Universidad de Alicante y la Diputación de Alicante, así como Coordinador en la Universidad de Alicante del Campus de Excelencia de las universidades públicas valencianas HABITAT5U "Servicios Ambientales y del Territorio". Miembro del Comisión Técnica y de la Mesa del Agua de la Diputación de Alicante. Director de Proyectos (2008-2018) del Instituto de Estudios Económicos de la Provincia de Alicante (INECA).

Autor y/o coautor de numerosas publicaciones nacionales e internacionales que versan sobre agua, agricultura, economía de los recursos naturales, instituciones económicas o sobre la gestión del patrimonio y los bienes culturales, entre otras temáticas. Presidente del Congreso Nacional del Agua 2019 y del Congreso Nacional sobre Inundaciones 2020; Simposios sobre Industrias agroalimentarias (SyA Orihuela) en 2016-2017 y 2018 y, Chairman de congresos internacionales tales como: Urban Growth 2018, River Basin Management 2019 y Water Resources Management 2019. Editor del número especial en la revista "Water Economics and Water Distribution Management" (2020). Director de la revista Sostenibilidad: económica, social y ambiental (EcosUA)

Amparo Melián Navarro. Dra. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia y Máster en Dirección de Entidades Agrarias. Es profesora Titular del Departamento de Economía Agroambiental en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Autora de publicaciones científicas y de divulgación profesional en el área de economía, gestión de recursos hídricos, agricultura y medio ambiente. Coautora de libros y capítulos de libro. Recibió un Premio de Investigación en 1998 por su trabajo sobre el crédito cooperativo. Ha participado como investigadora en proyectos de concurrencia competitiva de ámbito nacional y autonómico. Participa habitualmente en congresos y reuniones científicas de ámbito

nacional e internacional, actuando como ponente. Es docente en diversos Masters de Universidades españolas como la Universidad de Alicante, la Politécnica de Cartagena y la Universitat de València, y cursos de doctorado. Directora del Máster en Valoración, Catastro y Sistemas de Información Territorial de la Universidad Miguel Hernández, y miembro del Grupo de Investigación Agua y Energía para una Agricultura Sostenible, ha realizado diversas estancias de investigación en Universidades Europeas. Actualmente es Miembro de la Junta directiva de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas y Presidenta del Grupo de Trabajo de Economía.

Manuel Omedas Margelí. Los últimos quince años hasta su reciente jubilación ha sido jefe de la Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Su vida profesional ha estado ligada al mundo del agua, en sus comienzos como Ingeniero Civil en la construcción del Trasvase Tajo-Segura y posteriormente como Facultativo Superior en la Confederación Hidrográfica del Ebro donde ha ocupado diversos cargos en obras, planificación y presidencia.

Ha representado a la Confederación del Ebro en diversos foros y conferencias nacionales e internacionales. Es autor de varios libros como "El agua en el desarrollo económico, social y medioambiental de Aragón" (Ibercaja 1994), "El Ebro, ¿Un Proyecto de Futuro?" Herald de Aragón. Y ha participado en multitud de publicaciones como Hiberus- Flumen "El Ebro y la Vida", "Impacto de la Agenda 2000 en el sector agrario aragonés", "El sector primario y la agroindustria en Aragón", "Los Organismos de Cuenca en el siglo XXI", "Curso sobre gestión integrada del agua "para el Banco Asiático de Desarrollo etc.

Dionisio Pérez-Blanco es Investigador Distinguido en la Universidad de Salamanca e Investigador Asociado en el Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Italia. Su investigación se centra en el análisis interdisciplinar de las políticas de gestión del agua a través de modelos multi-sistema (economía, hidrología, clima, agricultura). C. Dionisio Pérez-Blanco coordina en la actualidad el Proyecto SWAN del Programa de Atracción al Talento Científico y el Proyecto ATACC de la Fundación Biodiversidad en la USAL. Con anterioridad, C. Dionisio Pérez-Blanco ha coordinado proyectos y consultorías en España e Italia y ha recibido el reconocimiento de prestigiosos programas de investigación postdoctoral, incluyendo la Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship (en la Fondazione Eni Enrico Mattei, Italia), la AXA Research Fund (en el CMCC) y la Ikerbasque Fellowship. C. Dionisio Pérez-Blanco coordina el Economic Instruments of Water Security Working Group, una red internacional e interdisciplinar de científicos que informan y codesarrollan el Global Water Assessment. C. Dionisio Pérez-Blanco es consultor para el Environment and Climate Regional Accession Network (ECRAN), DG Clima, Nomisma, el Fondo Ambiente Italiano, la Confederación del Duero y WWF, entre otros. En los 6 años desde la defensa de su tesis doctoral, C. Dionisio Pérez-Blanco ha publicado 19 artículos en revistas JCR (12 de las cuales Q1) con un factor de impacto agregado de 68.6 (índice h: 12), y 9 capítulos en libros editados por Taylor & Francis, Springer, y Cambridge University Press, entre otros.

Sánchez Sánchez-Mora, José Ignacio. Natural de Plasencia (Cáceres) (1946). Ingeniero Agrónomo (1971, plan 1957) y Diplomado en Economía de la Empresa (1974) por la Universidad Politécnica de Madrid. Inició su carrera profesional en la empresa privada en la que trabajó 2 años. En la administración general del Estado ha prestado servicio en el IRYDA como Jefe de Sección y en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, siendo Director Provincial en Cáceres. También ha sido presidente de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. En la Junta de Extremadura ha ocupado los puestos de jefe del Servicio de Ordenación de Regadíos y Director General de Infraestructuras y Agua.

Es especialista en temas de regadíos en los que ha trabajado desde 1.978, habiendo participado desde el IRYDA y desde la Junta de Extremadura en temas de estudios, planificación y ejecución de regadíos. Ha sido profesor en cursos internacionales de regadíos impartidos por el IRYDA en Brasil entre 1.987 y 1.989 y también en los Máster Internacionales de Riego y Drenaje del CENTER (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) y del CEDEX (Ministerio de Fomento). Es autor de diversas publicaciones relativas a su especialidad destacando el libro: *El Agua en Extremadura: Recursos hídricos, Usos y Gestión del Agua*. Está jubilado desde diciembre de 2012. Desde enero de 2013 es asesor técnico de la Federación de Comunidades de Regantes del Tajo (FERTAJO).

Mariano Soto García (Murcia, 1972) es doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Cartagena. Desde 1996 presta sus servicios en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, donde ha sido autor de los proyectos de modernización y de reutilización, participando en la implantación de las TICs en esta comunidad de regantes. Desde 2017 es su Secretario General. Vocal de la Junta de Gobierno del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura. Coordinador de la Cátedra Trasvase y Sostenibilidad José Manuel Claver Valderas de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor asociado de la Universidad Politécnica de Cartagena desde 2005, y miembro del Grupo de Investigación Diseño y Gestión en Agricultura de Regadío (DYGAR). Autor de varios artículos científicos, capítulos de libros y ha participado en diferentes congresos relacionados con el regadío.

Luca Testi (Bologna, Italia, 1966) es Agrónomo por la Universidad de Bologna (Italia) y Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Córdoba. Es Científico Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) de Córdoba. Su actividad de investigación se centra en la determinación de la transpiración y evapotranspiración de cultivos, sobre todo arbóreos. Estudia la evapotranspiración del olivo y de cítricos con medios micrometeorológicos (covarianza de torbellinos). Junto a otros científicos del IAS ha participado al desarrollo de un avanzado modelo biofísico de olivar (OliveCan) basado en el paradigma del continuum Suelo-Planta-Atmósfera, y un innovador sistema de medida de la transpiración a través de la velocidad de ascenso de la savia en las plantas. Investiga la respuesta estomática a factores endógenos y exógenos, en particular el estrés hídrico, con vistas a maximizar la efectividad del riego deficitario. Desde 15 años estudia también el intercambio de carbono de los cultivos agrícolas, con numerosas campañas de medida, y desarrollo de modelos con el fin de cuantificar su capacidad de atenuación del incremento de CO₂ atmosférico y de maximizar la eficiencia del intercambio agua-carbono y la productividad. Es autor de numerosos artículos científicos y varios capítulos de libros.

Sinopsis

El actual siglo XXI nos plantea unos grandes retos derivados de una población mundial creciente, la existencia de desnutrición en muchos países y la consecuente presión sobre los recursos naturales, agravado por las incertidumbres derivadas del cambio climático. Sin duda será el Agua el factor limitante para el desarrollo sostenible. La FAO afirma que deberá aumentar la producción de alimentos más de un 55% antes de 2050. Probablemente deberá ser el regadío eficiente y tecnificado el actor principal, pues ocupando muy poco territorio permite incrementar la productividad. Sin embargo, el regadío hoy está injustamente tratado por una sociedad confundida por muchas contradicciones relativas a su relación con el medio natural.

En este libro se justifica que regar no es sólo producir alimentos, y su contenido trata sobre algunos de los efectos positivos del regadío para la sociedad y el territorio. Diversos autores muy cualificados se han coordinado para su redacción: técnicos, catedráticos de universidad e investigadores, todos con dilatada experiencia, y explican como el regadío contribuye al aumento de la diversidad, la mejora del paisaje, la contribución al desarrollo regional o la captura del carbono. Adicionalmente se exponen temas de futuro como la valoración de los servicios ecosistémicos, el nexo agua-energía y el empleo de las tecnologías de la información.

Hoy el regadío español, modernizado en más de un 75%, es uno de los más competitivos del mundo y actúa como motor de desarrollo de muchas comarcas rurales, manteniendo a la población en el territorio. A su vez, ha demostrado su capacidad de adaptación a las demandas cambiantes siendo garante de la seguridad alimentaria mundial, tal y como ha demostrado durante pandemias como la del Covid-19.