

# Evaluación de la eficiencia de un proyecto típico de modernización de regadíos

JAVIER ALARCÓN LUQUE (\*)

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El agua es un factor clave en la agricultura de muchas regiones, generando el regadío gran parte de la producción final agraria y del empleo en este sector, muy especialmente en regiones áridas con escasez de recursos. La expansión del regadío en años precedentes, con políticas de regulación y de transformación de secanos en regadíos, se ha visto frenada en favor de los planes de *modernización de regadíos*, cuyo impulso responde a unas dificultades crecientes para extraer nuevos volúmenes de las masas de agua. En un contexto de escasez creciente, acentuada por las desfavorables predicciones climáticas, resulta oportuno introducir criterios económicos en la gestión del agua, que ayuden a buscar los usos más eficientes, en la medida en que se pueda conseguir una misma producción con un menor consumo. Los riegos excesivos, por encima de las necesidades teóricas de los cultivos, la ineficiencia de las redes de transporte, en cuanto a la existencia de considerables pérdidas y la falta de control y regulación del recurso, así como la incorporación de nuevas zonas de riego, son factores que ahondan en la conveniencia de promover infraestructuras y sistemas de riego eficientes.

(\*) *Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Paseo bajo Virgen del Puerto, 3, 28005 Madrid.*

---

- Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 230, 2011 (119-145).

*Recibido enero 2011. Revisión final aceptada julio 2011*

El Plan Nacional de Regadíos apuntaba a la interrelación entre las producciones agrarias y a la coordinación de los poderes públicos, para evitar desequilibrios en la capacidad productiva de la agricultura y, en particular, los que pudieran derivarse de las nuevas transformaciones y el crecimiento desordenado de los regadíos. Propugnaba un marco nacional de actuaciones en materia de regadíos, al servicio de un desarrollo sostenible del medio rural, de una política coherente de ordenación de producciones y mercados y de la gestión eficiente de un recurso escaso como es el agua. Como principios y directrices generales, señala la ordenación de las producciones y los mercados agrarios y la mejora de las infraestructuras de distribución y aplicación del agua de riego. El Plan Nacional de Regadíos concibe la gestión del agua para el riego como un proceso continuo, que recorre un largo camino desde el embalse o acuífero hasta la planta, sin perder de vista los retornos de riego, en el que existen múltiples oportunidades para mejorar la productividad de los recursos empleados, pero que, por su gran complejidad, exige la aplicación de métodos integradores, sin los cuales resulta imposible encontrar la combinación de actuaciones más eficaces para cada circunstancia y disponibilidades presupuestarias (MARM, 2010c). Por su parte, los planes hidrológicos de cuenca particularizan para las zonas regables los objetivos de garantizar las dotaciones, de ordenar los usos en situaciones de escasez, de aumentar la oferta y de ahorrar agua mediante proyectos de modernización y rehabilitación.

El Programa A.G.U.A., de Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua, viene a materializar esta reorientación de la política del agua, promoviendo una mayor disponibilidad y una mejor calidad de los recursos hídricos en cuencas con déficit o con graves problemas de sobreexplotación y contaminación de acuíferos. Para ello, incorpora un conjunto de actuaciones dirigidas a la generación de recursos no convencionales, a la optimización y mejora de la gestión del agua, a la prevención de inundaciones y a la depuración (MARM, 2010b y Real Decreto Ley 2/2004). Con este Programa se promueve un suministro de agua, en cada caso, con el menor coste económico posible, incrementando la eficiencia en su uso y potenciando medidas de ahorro y la reducción del consumo al estrictamente necesario para cada actividad. Las actuaciones incorporadas al Programa A.G.U.A. deben minimizar el coste económico por metro cúbico de agua y maximizar la rentabilidad, trasladando

el ahorro obtenido a los beneficiarios de las actuaciones. Estos podrán así disponer de agua a un coste unitario que se pretende sea mínimo en cada caso.

En un mismo sentido, el Plan de Choque para la mejora y consolidación de regadíos (Real Decreto 287/2006) concretó la modernización de regadíos en un amplio programa de actuaciones, con las que lograr un ahorro significativo de agua. Estas actuaciones van dirigidas a las redes de transporte, tanto en cabecera (alta) como en parcela (baja), de zonas regables poco eficientes en el uso del agua pero con un importante número de agricultores, y contemplan la reparación de elementos dañados y la sustitución de los obsoletos, así como la racionalización del trazado de las redes y el cambio de los sistemas de aplicación por otros de mayor eficiencia.

Por otro lado, y siguiendo las pautas de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), el Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001, artículo 40) establece que la planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas, la satisfacción de las demandas, el equilibrio y la armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Para alcanzar estos objetivos, la normativa actual sobre planificación hidrológica contempla unos programas de medidas. Dichas medidas se clasifican en *medidas básicas*, que son las que se corresponden con los requisitos mínimos que deben cumplirse, y *medidas complementarias*, que son aquellas que, una vez aplicadas las anteriores, deben adoptarse para la consecución de los objetivos medioambientales o para alcanzar una protección adicional de las aguas (Real Decreto 907/2007, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica). Dentro de las medidas básicas se incluyen varias que explican la razón de ser de los proyectos de modernización de regadíos: control de los volúmenes utilizados, mejora de la eficiencia de conducción en redes de tuberías, entubación, revestimiento de conducciones a cielo abierto, mejora de la regulación, adecuación del riego por gravedad, sustitución del riego por gravedad por riego a presión y mejora de drenajes en zonas regables.

Por último, cabe hacer mención de las políticas sectoriales agrarias puestas en marcha durante el vigente Marco Comunitario de Apoyo (2007-2013), entre las que se plantea la necesidad de una reducción de la superficie de regadío, con nuevas propuestas de cultivos, y con varios programas orientados a la modernización de regadíos y explotaciones, los cuales se consideran medidas de eficacia directa, ya que suponen un ahorro en el consumo de agua.

### Eficiencia y productividad en el uso del agua

La Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008) define la *eficacia* de una medida como la aportación que esta hace a la consecución de los objetivos de estado en una o varias masas de agua. Puede evaluarse mediante la reducción de las presiones significativas que sufren esas masas y, con carácter preferente, mediante la reducción de los impactos medidos en ellas, es decir, por la mejora en los indicadores de estado de las masas de agua que propicia la medida.

Como señalan Rodríguez Ferrero *et al.* (2010), el concepto de *eficiencia* se refiere a la relación existente entre los recursos o *inputs* que se incorporan a un proceso productivo y los *outputs* generados por el mismo. Es decir, la eficiencia, así entendida, informa sobre la productividad de los recursos. Y se dice que un proceso productivo es eficiente si se obtiene el máximo de producto a partir de unos recursos dados (orientación *output*); o bien si se obtiene un cierto producto consumiendo la menor cantidad posible de recursos (orientación *input*).

Bajo esta última acepción, aplicar el concepto de eficiencia a las áreas de riego implica entonces buscar que éstas obtengan una determinada producción minimizando el consumo de recursos. Así pues, un regadío podrá ser considerado relativamente eficiente si no existe ningún otro tecnológicamente similar que obtenga el mismo valor de producción bruta, utilizando menos cantidad de algún factor productivo y no más de los restantes. Por lo tanto, una mejor gestión del regadío, por lo general, requeriría introducir políticas destinadas al aumento de la eficiencia de *inputs* como el agua, pues-

to que «se puede lograr más con menos agua» a través de una mejor gestión (Allan, 1999) (1).

Centrándonos en los proyectos de modernización, en el análisis de su eficiencia cabe utilizar, por un lado, dos tipos de datos. Unos se refieren a la producción que puede obtenerse con distintos consumos de agua, tanto como consecuencia de las obras como por el posible cambio de orientación productiva que pueda acompañar a la actuación. Otros datos son los que representan la capacidad para entregar agua por las redes que la transportan. La eficiencia de estos proyectos tiene pues una componente productiva –considerada como eficiencia económica por algunos autores–, y otra técnica, la cual se ve determinada por la calidad y el estado de las obras de conducción y distribución de agua y de los sistemas de aplicación en parcela (2).

Por otro lado, el análisis coste-eficacia se utiliza mucho para determinar la eficacia de una medida o un proyecto que conlleva un beneficio social o ambiental, considerando la eficacia en términos físicos de los logros que se consiguen con aquél. Resulta entonces un instrumento muy útil para determinar si el coste es o no desproporcionado con respecto al objetivo a conseguir. Como se señala en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), «el análisis coste-eficacia será un instrumento a tener en cuenta para la selección de las medidas más adecuadas para alcanzar los objetivos ambientales de las masas de agua, así como para analizar las medidas alternativas en el análisis de costes desproporcionados». En la IPH se propone el *índice coste-eficacia* como cociente entre el coste anual equivalente de la medida y la mejora conseguida con dicha medida.

Como también se detalla en la IPH, el coste de las medidas de planificación es el de todos los elementos que la integran, mientras que la eficacia es un valor indivisible asociado a la medida en su conjunto. El coste de las medidas se expresará como coste anual equivalente, excluidos impuestos, incluyendo los costes de inversión, los costes

---

(1) Para Rodríguez Ferrero et al. (2010), la alternativa de cultivos es el factor que más influye en la eficiencia en el uso del agua. Estos autores demuestran que en Andalucía los cultivos que se explotan con mayor eficiencia productiva son los intensivos (fresas y hortalizas), seguidos del olivar, los frutales subtropicales, los extensivos de invierno y el resto de frutales.

(2) Esta llamada eficiencia técnica se calcula por tanto como producto de las eficiencias de conducción primaria, de distribución secundaria y de aplicación en parcela, y viene a ser la eficiencia global de riego que la FAO (1977) define como la relación entre el agua añadida a la rizosfera y la cantidad total suministrada a la zona regable.

de explotación y mantenimiento, los costes sociales y ambientales y los costes indirectos. La IPH añade que el coste de las medidas se valorará a precios constantes, indicándose el año de referencia y especificándose la tasa de descuento utilizada para el cálculo de la anualidad.

## METODOLOGÍA

Se ha planteado primeramente la estructura de gastos e ingresos que se han de desembolsar y percibir, por un lado por la Administración promotora y gestora, y por otro, por los regantes afectados; tanto en la situación inicial, como una vez fuera implementado el proyecto de modernización que sirve de estudio de caso (el cual se detalla en el siguiente epígrafe). Después, se han adoptado las producciones que son consideradas, para ambos casos, en el correspondiente Informe de viabilidad (MARM, 2010a), las cuales quedan recogidas en la *tabla 2*. Por último, se ha estimado el consumo de agua al que se debería llegar con la implantación de dicho proyecto, manejando coeficientes medios de eficiencia técnica en las conducciones (*tabla 1*), volúmenes de agua aplicados y volúmenes netos requeridos (*tabla 2*), bajo *ocho escenarios*, los cuales surgen de considerar las siguientes posibilidades:

- I. El mantenimiento de la distribución original de cultivos o la reordenación o cambio que se contempla en el Informe de viabilidad del proyecto, sin variación de superficie total pero sí de la superficie ocupada por cada uno de esos cultivos (ver *tabla 2*).
- II. El ajuste o no de las dotaciones de agua a las *necesidades brutas o teóricas* de esos cultivos, o lo que es lo mismo, a las necesidades de riego netas divididas por la eficiencia de aplicación de riego (3).
- III. El cambio o no del sistema de aplicación del riego en parcela.

---

(3) De conformidad con la definición dada por la FAO (1977), por *necesidades brutas de riego de un cultivo se entiende la evapotranspiración del mismo, excluida la contribución de las precipitaciones, la de las aguas subterráneas, la del agua almacenada en el suelo y la de las aguas de circulación superficial, que se requiere para la producción normal del cultivo, más las pérdidas de agua y el agua desperdiciada en las operaciones de riego.*

### 1. *Escenarios sin cambio en la distribución original de cultivos*

*Escenario 1A:* Se mantiene la distribución original de cultivos, se mantienen los consumos de agua iniciales en parcela y el regante no cambia de sistema de aplicación de riego

*Escenario 1B:* Se mantiene la distribución original de cultivos, se ajustan los consumos de agua en parcela a las necesidades teóricas y el regante no cambia de sistema de aplicación de riego

*Escenario 1C:* Se mantienen la distribución original de cultivos y los consumos de agua iniciales en parcela y el regante sí cambia de sistema de aplicación de riego

*Escenario 1D:* Se mantiene la distribución original de cultivos, se ajustan los consumos de agua en parcela a las necesidades teóricas y el regante sí cambia de sistema de aplicación de riego

### 2. *Escenarios con reordenación o cambio en la distribución de los cultivos originales*

*Escenario 2A:* Se cambia la distribución de los cultivos originales, se mantienen los consumos de agua iniciales en parcela y el regante no cambia de sistema de aplicación de riego

*Escenario 2B:* Se cambia la distribución de los cultivos originales, se ajustan los consumos de agua a las necesidades teóricas de esos cultivos y el regante no cambia de sistema de aplicación de riego

*Escenario 2C:* Se cambia la distribución de los cultivos originales, se mantienen los consumos de agua iniciales de esos cultivos y el regante sí cambia de sistema de aplicación

*Escenario 2D:* Se cambia la distribución de los cultivos originales, se ajustan los consumos de agua a las necesidades teóricas y el regante sí cambia de sistema de aplicación

Para los ocho escenarios se ha podido calcular el valor actual o presente neto (*VPN*) de la inversión, como medida de la ganancia que proporcionaría el proyecto al regante, sin pérdida para la Administración gestora, así como el consumo de agua previsto en cada caso, y el ahorro consiguiente, entendido éste como disminución de volúmenes demandados en cabecera de la red con respecto a la situación original. La relación entre la ganancia privada en los veinticinco años de vida útil considerados para el proyecto y el consumo

de agua previsto en ese tiempo, es un valor que informa sobre la productividad en el uso del agua, bien entendido que semejante ganancia no deriva exclusivamente de este factor de producción, pues intervienen otros *inputs*. Esta productividad responde al concepto de *productividad aparente neta del agua* dado por Rodríguez Ferrero *et al.* (2008), que resulta de dividir el valor de la producción bruta por hectárea de regadío, descontados los costes de explotación, por el volumen de agua que es suministrada.

El fundamento de esta metodología puede descubrirse en varios trabajos. Así, en Navarro *et al.* (2007) se analiza el volumen de agua requerido por los cultivos y el volumen realmente aplicado en parcela, así como el rendimiento económico del agua en relación con su coste para el agricultor. Estos autores aprecian notables diferencias entre el rendimiento de la actividad y el que se podría obtener si se aplicase la lámina de agua requerida por cada cultivo, en cuatro zonas regables (4), concluyéndose que la productividad podría llegar a implementarse notablemente si se ajustase el riego a las necesidades teóricas, siempre y cuando el agua tuviese un coste eficiente.

Por otro lado, en el presente estudio se ha calculado un índice *coste-eficacia*, como cociente entre el coste anual equivalente de la modernización y la mejora conseguida con la misma. Concretamente, se ha tomado para el coste la suma de la inversión total (tanto en el proyecto de modernización, como, si cabe, en la instalación del nuevo sistema de aplicación en parcela), los costes de mantenimiento o conservación de las nuevas instalaciones (por reposiciones, reparaciones y limpiezas), así como el incremento de los costes de explotación y funcionamiento, todos ellos anualizados de acuerdo con la vida útil del proyecto a una tasa de descuento del 4%. Como mejora, se considera la reducción en el volumen demandado que se puede lograr en cabecera de la red, a consecuencia de la materialización del proyecto de modernización y durante toda su vida útil. Se trata en consecuencia de un análisis coste-eficacia basado en la reducción de las presiones, un método simplificado frente al preferido en la IPH de la reducción de impactos, que resulta váli-

---

(4) En Montijo (Badajoz) se obtiene un valor productivo medio del agua de riego de  $0,17 \text{ € m}^{-3}$ , pero se podría conseguir uno mucho mayor,  $0,27$ , si se ajustase el riego a las necesidades teóricas; en Burriana (Castellón) se podría pasar de  $0,12$  a  $0,29 \text{ € m}^{-3}$ ; y en la Margen Izquierda del Porma (León), de  $0,19$  a también  $0,29 \text{ € m}^{-3}$ . A diferencia de estas tres zonas, en Adra (Almería), con el volumen aplicado se obtienen  $4,39 \text{ € m}^{-3}$ , casi lo mismo que si se aportase el volumen teórico ( $4,47 \text{ € m}^{-3}$ ).



do ante limitaciones de información sobre la susceptibilidad de las masas de agua.

## ESTUDIO DE CASO

Se ha utilizado como estudio de caso el *Proyecto de Modernización de la zona regable del Genil, margen izquierda, Segunda Fase, en el término municipal de Palma del Río (Córdoba)*, con datos económicos correspondientes al año 2005 (CHG, 2009). La actuación afecta a los riegos situados al este del Cerro de San Cristóbal, aguas arriba del río Genil, en una extensión de 1.205 ha. El proyecto supone la sustitución de un sistema de riego por gravedad por otro moderno de riego a presión de goteo a la demanda, telecontrolado desde una estación central y desde estaciones sectoriales, con facturación por consumo de caudales y momento de consumo. Además, se promueve la sustitución parcial de cultivos tradicionales (algodón y maíz) por cultivos permanentes (naranjos y hortícolas).

Con este proyecto se prevé incrementar la producción y la rentabilidad de las explotaciones afectadas, de forma que se iguale a la del resto de la zona regable del Genil Margen Izquierda, que fuera previamente modernizada en una primera fase, adoptándose el mismo sistema de riego que el que se propone en la presente actuación. Cabe señalar que, para mayor simplicidad, el origen del agua se ha supuesto 100 % superficial (aún cuando en la Cuenca del Guadalquivir sea, por término medio, de un 76 %). Con ello se presupone una mayor demanda, si aceptamos la idea extendida, aunque no siempre válida, de que el transporte de agua superficial suele ser menos eficiente que el de agua subterránea, al estar sujeto a unas mayores pérdidas.

La solución adoptada considera el *entubamiento de toda la red de conducción y distribución* de agua a las parcelas de la zona regable. La longitud total de la red de riego es de 51.930 m y se diseña para un caudal de  $1,37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . La conducción de toma se ejecuta con tubería de acero de diámetro 1.420 mm y espesor 12 mm, en una longitud de 2.547 m, y está preparada para un caudal de  $1,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . En cada sector de riego, conectada a la conducción de toma, se dispone una red de distribución constituida por tuberías de acero para diámetros iguales o mayores de 1.000 mm, tuberías de PVC para diámetros

iguales o inferiores a 600 mm y tuberías de polietileno para distribución final. El trazado de las tuberías sigue en lo posible el de los caminos. Cada una de las 136 agrupaciones de parcelas dispone de una arqueta de donde salen las acometidas individuales de las fincas de la agrupación. A lo largo de toda la red se disponen válvulas de mariposa, válvulas de compuerta, válvulas de ventosa y válvulas aductoras, para seccionamiento, derivación, protección y control de sobrevelocidad.

El proyecto comprende a su vez una estación de filtrado a la salida de una balsa, que fuera construida en una primera fase. Está dotada de filtros de anilla de 4", y admite un máximo de sólidos en suspensión de 300 ppm, una presión mínima de contralavado de 3,5 atm, un caudal de diseño de 50-55 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> y un caudal de contralavado de 52 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Asimismo, en el proyecto se contempla la instalación de equipos de telecontrol, basados en sistemas de adquisición de datos de arquitectura RTU y la instrumentación apropiada para conocer exactamente la disponibilidad de la infraestructura hidráulica y sus recursos. Su estructura es jerarquizada, con tres niveles de actuación: periférico, intermedio y central. Dispone de sistemas de comunicación por radiofrecuencia y, como topología de la red, se tiene una estructura árbol-rama con tres niveles físicos y dos lógicos. La alimentación de la instalación es por energía solar fotovoltaica.

Aunque los datos que han permitido llevar a cabo este estudio provienen mayormente de este Proyecto (CHG, 2009), así como de su Informe de viabilidad (MARM, 2010a), también han sido utilizadas otras fuentes complementarias que se señalan en el texto.

### Gastos e ingresos del proyecto

Se han estudiado los gastos e ingresos a que da lugar el referido proyecto, tanto para el regante como para la Administración. Un extracto de la estructura prevista de gastos e ingresos para el regante, tanto en la situación inicial –*escenario 0*, sin proyecto– como en la final –con proyecto, bajo el *escenario 2C*, que se demostrará más favorable–, se presenta en las *tablas 3 y 4*.

### a) Gastos

Los gastos se dividen en dos grupos: los de explotación, no atribuibles al agua, y los relacionados con la utilización de este recurso. Los primeros se obtienen teniendo en cuenta los datos medios que ofrece, para el regadío de la Cuenca del Guadalquivir, Rodríguez Ferrero *et al.* (2008), la Consejería Agricultura y Pesca de la Junta Andalucía (2002) y la Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero (2005). Los segundos se han diferenciado en cuatro tipos: los de inversión y amortización de las nuevas obras, los gastos de mantenimiento y conservación, los de explotación y funcionamiento, y los gastos de administración o servicios generales, y han sido tomados mayormente de CHG (2009) y MARM (2010a).

Los gastos de inversión se refieren a la construcción de las obras contempladas en el proyecto, las expropiaciones que son necesarias y la reposición de los servicios afectados. Como viene siendo habitual en este tipo de proyectos, inicialmente los regantes costean el 25 % de las obras, corriendo a cargo de la Administración el 75 % restante (parte del cual luego recupera, a través de la tarifa de utilización del agua). Estos gastos se repercuten en realidad a lo largo del plazo de ejecución de las obras, y se distribuyen en tres anualidades. No obstante, para una mayor simplicidad, y dado que los resultados apenas se verían afectados, en este estudio se considera un único año (0) para el desembolso de la totalidad de los gastos de inversión, incluso aquellos que se derivan de la sustitución del sistema de aplicación en parcela y que debe costear el regante en su totalidad.

El presupuesto de ejecución por contrata del proyecto que sirve como estudio de caso supone una inversión de 14.589 €<sub>2005</sub> ha<sup>-1</sup> (con gastos generales, beneficios industriales e IVA). El presupuesto de ejecución material se reduce a 10.723 €<sub>2005</sub> ha<sup>-1</sup>. El capítulo principal de este proyecto, que con diferencia más peso tiene, es el de entubamiento de la red, pues representa casi el 73 % del total del presupuesto; la nueva estación de filtrado no llega al 10 %; los sistemas de telecontrol y automatismos y la reposición de servicios suponen en torno a un 7,5 % cada uno; mientras que las medidas correctoras y de seguridad y salud apenas suman el 2 %.

Los gastos de explotación y mantenimiento iniciales, que comprendían los de impulsión, reparaciones y limpiezas, ascendían a 45 € ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de acuerdo con el Informe de viabilidad del Proyecto

(MARM, 2010a). Los gastos de mantenimiento y conservación de las obras realizadas se estiman como un 1,2 % de la inversión en ellas (5). Los gastos de administración del organismo gestor, según la citada fuente, fueron de 20,30 € ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el año 2005, y se considera no experimentan variación en la situación con proyecto. Los gastos de explotación y funcionamiento, debidos principalmente al consumo de energía, aunque variables con el mismo, han sido estimados adoptando para el volumen demandado de agua un coste unitario de 0,023 € m<sup>-3</sup>, similar al que toma Rodríguez Díaz (2003) y coherente con los valores observados en ciertas zonas regables.

Por último, se incluye en la situación sin proyecto el coste resultante de imputar el valor medio del canon de regulación para los diferentes usos del agua; de modo tal que, al sumarse a las cantidades atribuibles a los gastos de administración, funcionamiento y conservación imputables a las infraestructuras hidráulicas, se obtenga el coste agregado del agua que registra la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2002), actualizado a 2005. En situación con proyecto, este canon o tasa se calcula de manera que permita a la Administración recuperar el 100 % de su parte de inversión y no incurrir en pérdidas con respecto a la situación original. El coste final del agua, que no representa un precio en sentido estricto pues no se deriva del mercado, resulta de dividir la suma de todos los costes mencionados, atribuibles al uso del agua de riego, entre el volumen utilizado.

### *b) Ingresos*

Para los escenarios en los que se mantienen los cultivos, se ha tomado el valor medio que dan, para el regadío de la Cuenca del Guadalquivir, Rodríguez Ferrero *et al.* (2008), la Consejería Agricultura y Pesca de la Junta Andalucía (2002) y la Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero (2005). En los otros escenarios en los que hay reordenación de cultivos, la superficie final de éstos es la que se contempla en el Informe de viabilidad del Proyecto (MARM, 2010a). Tomando entonces los mismos rendimientos que allí se barajan, se ha determinado el previsible incremento de producción que tendría

---

(5) Es el porcentaje que se sugiere en los Análisis Económicos del Plan Hidrológico Nacional (MIMAM, 2000).

lugar con respecto a la situación inicial (ver *tabla 2*). De acuerdo con MARM (2010a), el funcionamiento de la primera fase modernizada corrobora estas estimaciones y, además, se han implantado fábricas en la zona, asegurando con ello la demanda de esos productos. En cuanto a los márgenes netos, se ha optado sin embargo por tomar unos valores más modestos que los considerados para el Proyecto, en concreto, los datos medios que registra, para el regadío de la Cuenca del Guadalquivir, Rodríguez Ferrero *et al.* (2008).

Para la Administración, los ingresos previstos son los percibidos por el cobro a los regantes de la tarifa de utilización del agua, con la cual es factible recuperar una parte o incluso la totalidad de la inversión. Dicha tarifa se regula en el Texto Refundido de la Ley de Aguas y en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico que la desarrolla, los cuales determinan que se compone de los siguientes tres apartados, y que «la distribución individual de dicho importe global se realizará según criterios de racionalización del uso del agua, equidad en el reparto de obligaciones y autofinanciación del servicio».

1. El total previsto de gastos de funcionamiento y conservación de las obras realizadas.
2. Los gastos de administración del organismo gestor imputables a dichas obras.
3. El 4 por 100 del valor de las inversiones realizadas por el Estado, debidamente actualizado, teniendo en cuenta la amortización técnica de las obras e instalaciones y la depreciación de la moneda (6). El cálculo de dicha amortización se ha efectuado conforme se recoge en la legislación apuntada, si bien, aunque allí se fijan 25 anualidades como duración de la obligación de su pago, se ha concedido un período de carencia durante los 7 primeros años de explotación de las obras, en el cual no se repercute a los regantes la parte de las inversiones.

---

(6) El importe de las inversiones incluirá los gastos motivados por la redacción de proyectos, la construcción de las obras principales y complementarias, las expropiaciones o indemnizaciones necesarias y, en general, todos los gastos de inversión, sean o no de primer establecimiento.

## Beneficios y costes ambientales

El cambio en el sistema de aplicación, de riego por gravedad a riego por goteo, que promueve el proyecto aquí analizado, tiene otros beneficios ambientales, aparte de la probable reducción de las demandas de agua en la zona beneficiada. Al disminuirse la escorrentía superficial, se incrementa notablemente la absorción por los niveles edáficos superficiales, reduciéndose los excedentes de agua procedentes del riego y la percolación a los niveles freáticos de las aguas subterráneas. Se disminuye en consecuencia el aporte de productos agroquímicos y de compuestos como los nitratos y los fosfatos, que pudieran contener esos sobrantes de riego, a las masas de agua cercanas en donde acaban vertiendo, disminuyendo con ello el riesgo de eutrofización.

Cabe puntualizar no obstante que, al menos en los escenarios en que se incrementan las dotaciones, aún reduciéndose las pérdidas de agua en la entrega, esos menores retornos que se originarían a la salida de la zona regable afectarían a las masas de agua y a los usuarios que los vienen utilizando. Por añadidura, los proyectos de entubación de redes de acequias, como el que aquí se estudia, afectan negativamente a la vegetación hidrófila y a los hábitats que los regadíos tradicionales suelen albergar, los cuales contribuyen a articular el paisaje, al circular por ellas el agua durante un largo período del año, cuando los cauces están prácticamente secos (ESTEPA, 2010). Estas externalidades no han sido valoradas.

Por su parte, el incremento en el consumo de energía que conlleva el cambio de riego por gravedad a riego a presión ocasiona un coste ambiental que puede resultar más o menos elevado, dependiendo del tipo de fuente energética a utilizar para el bombeo de agua y de las exigencias de presión y caudal. Así ha quedado reflejado en algunos trabajos (7) y también en el presente, en el cual se ha adoptado un coste medio de  $0,023 \text{ € m}^{-3}$ , obteniéndose en la mayoría de los escenarios unos incrementos de costes por energía de más del 100 %.

---

(7) Rodríguez Díaz (2003) calcula para varias zonas regables de Andalucía unos gastos en energía que van de los  $40 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en zonas en las que se riega mayormente por gravedad, hasta los  $400 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en aquellas en las que hay redes a presión y se precisa mucha elevación.

Con respecto al cumplimiento de los requisitos que para la realización de nuevas actuaciones establece la Directiva Marco del Agua, en el Informe de viabilidad del Proyecto (MARM, 2010a) se considera que la actuación no afecta al buen estado de las masas de agua de la Demarcación a la que pertenece, ni da lugar a su deterioro, debido a que no produce modificación de las características físicas de las aguas superficiales ni alteraciones del nivel de las masas de agua subterráneas, y se interviene directamente mejorando la gestión de este recurso en la zona regable, compatibilizando su uso con su conservación. En este mismo sentido se pronunció la Dirección General para la Biodiversidad, al confirmar con fecha 25 de enero de 2006, que la actuación no produce afecciones sobre espacios incluidos en la Red Natura; y también la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático, al emitir con fecha 12 de mayo de 2006, la Resolución por la que se adopta la decisión de no someter a Evaluación de Impacto Ambiental el presente proyecto.

Tabla 1

### ESTIMACIÓN DEL CAMBIO EN LA EFICIENCIA TÉCNICA GLOBAL POR TRANSPORTE DE AGUA DE RIEGO

Eficiencia sin proyecto (%)		Eficiencia con proyecto (%)		Incremento de eficiencia (%)	
En alta	En baja	En alta	En baja	En alta	En baja
85	69	95	85	10	16
58,65%		80,75%		22,10%	

NOTAS: La eficiencia en baja inicial se ha afinado aceptando el dato de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2002), por el cual en la zona de estudio el consumo real fue, en términos medios, un 31% mayor que el teórico.

Para una mayor simplicidad en el estudio, se ha supuesto que el origen del agua en las situaciones sin y con proyecto es enteramente superficial.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Berbel *et al.* (2007), Strosser *et al.* (2007) y Luján (1992).

Tabla 2

ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL VOLUMEN NETO DE AGUA REQUERIDO, POR REDISTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS ORIGINALES

	DISTRIBUCIÓN ORIGINAL DE CULTIVOS						DISTRIBUCIÓN PREVISTA DE CULTIVOS						VARIACIÓN		
	Superficie		Producción		Volumen neto de agua requerido		Superficie		Producción		Volumen neto de agua requerido		Superficie %	Producción %	Agua %
	ha	%	10 <sup>3</sup> kg	%	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup>	%	ha	%	10 <sup>3</sup> kg	%	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup>	%			
Algodón	460	38,17	1.932	7,64	2.411,66	43,43	155	12,86	775	1,35	812,63	15,27	-66,30	-59,89	-66,30
Maíz	355	29,46	4.615	18,24	1.463,40	26,36	85	7,05	1.275	2,22	350,39	6,59	-76,06	-72,37	-76,06
Frutales (naranjos)	340	28,22	17.000	67,20	1.533,34	27,61	845	70,12	50.700	88,10	3.810,79	71,63	148,53	198,24	148,53
Hortícolas	50	4,15	1.750	6,92	144,24	2,60	120	9,96	4.800	8,34	346,17	6,51	140,00	174,29	140,00
<b>Totales</b>	<b>1.205</b>	<b>100</b>	<b>25.297</b>	<b>100</b>	<b>5.552,64</b>	<b>100</b>	<b>1.205</b>	<b>100</b>	<b>57.550</b>	<b>100</b>	<b>5.319,98</b>	<b>100</b>	<b>0,00</b>	<b>127,50</b>	<b>- 4,19</b>

NOTA: No se considera el ajuste de dotaciones de riego a las necesidades teóricas, ni el incremento de eficiencia en el transporte de agua que se derivaría de la modernización de la zona regable.

Fuente: Elaboración propia, a partir de MARM (2010a) y CEDEX (1988).



Tabla 3

DEMANDA Y COSTE DEL AGUA, MARGEN NETO DE EXPLOTACIÓN,  
VALOR PRESENTE NETO Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN LA SITUACIÓN INICIAL  
(ESCENARIO 0, SIN PROYECTO), PARA EL REGANTE

U.M.: Euros de 2005. Factor de actualización: 4%.

Año	TA (€ m <sup>-3</sup> ) (1)	CA (€ m <sup>-3</sup> )	DA <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	I (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GNA (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GA <sub>t</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GA <sub>mc</sub> + GA <sub>ef</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GA <sub>sg</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	ΣGA (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	M (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1	0,025	0,039	4.608	3.148	1.647	115	45	20	180	1.307
2	0,025	0,039	4.608	3.148	1.647	115	45	20	180	1.257
3	0,025	0,039	4.608	3.148	1.647	115	45	20	180	1.209
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	0,025	0,039	4.608	3.148	1.647	115	45	20	180	510
Productividad del agua <sup>(2)</sup> en parcela (€ m <sup>-3</sup> ): 0,18									VPN(€ ha <sup>-1</sup> ) = 21.240	
Productividad del agua <sup>(2)</sup> en cabecera (€ m <sup>-3</sup> ): 0,16										

NOTAS: (1) TA se corresponde con el valor medio del canon de regulación para los diferentes usos. Sumando a éste las cantidades atribuibles a los gastos de administración, funcionamiento y conservación, se obtiene el coste agregado del agua para el regante, CA.

(2) Es la productividad aparente neta del agua, a lo largo de toda la vida útil del proyecto. Se calcula dividiendo el VPN por la demanda de agua durante ese tiempo: PA = VPN / (25·DA).

Fuente: Elaboración propia, a partir de Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2002), Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero (2005) y Rodríguez Ferrero *et al.* (2008).

**Leyenda:** Variables para el cálculo del valor presente neto (VPN),  
la tasa interna de rendimiento (TIR) y la productividad del agua

TA : Tasa, que, en la situación inicial, se corresponde con el valor medio del canon de regulación para los diferentes usos; y, en situación con proyecto, se calcula de modo que la Administración no experimente pérdidas con respecto a la situación inicial y, además, le permita recuperar el 100% de su parte de la inversión.

CA : Coste o pseudo-precio final del agua; CA = ΣGA / DA<sub>b</sub>.

DA<sub>b</sub> : Demanda o consumo de agua en parcela; en la situación final, DA<sub>b</sub> se obtiene corrigiendo esa demanda o las necesidades teóricas, según los casos, con los correspondientes coeficientes de eficiencia de aplicación.

I : Ingresos o producción bruta.

GNA : Gastos de explotación no atribuibles al agua.

GA<sub>t</sub> : Gastos derivados de la aplicación de TA; GA<sub>t</sub> = TA · DA<sub>b</sub>.

GA<sub>mc</sub> : Gastos de mantenimiento y conservación de las infraestructuras hidráulicas (reposiciones, reparaciones y limpiezas), estimados en un 1,2% de las inversiones.

GA<sub>sg</sub> : Gastos de administración del Organismo gestor (servicios generales).

GA<sub>i</sub> : Gastos en inversiones del proyecto de modernización (tanto el inicial como los periódicos, por amortización de aquéllas).

GI<sub>p</sub> : Gastos de inversión en el sistema de aplicación en parcela.

GA<sub>ef</sub> : Gastos de explotación y funcionamiento (incluso los de energía).

ΣGA : Suma de todos los anteriores gastos atribuibles al agua.

M : Margen neto de explotación o producción neta; M = I – (GNA + ΣGA). Su actualización a euros de 2005 se ha hecho considerando una tasa de descuento del 4%.

Tabla 4

DEMANDA Y COSTE DEL AGUA, MARGEN NETO DE EXPLOTACIÓN, VALOR PRESENTE NETO Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA BAJO EL ESCENARIO 2C (CON PROYECTO), PARA EL REGANTE

Escenario 2C: modernización de las redes de conducción y distribución, reordenación de cultivos, consumos de agua iniciales y cambio del sistema de aplicación en parcela

U.M.: Euros de 2005. Factor de actualización: 4%.

Año	TA (€ m <sup>-3</sup> ) (1)	CA (€ m <sup>-3</sup> )	DA <sub>b</sub> (m <sup>3</sup> /ha/año)	GA <sub>t</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GIA (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GIp (m <sup>3</sup> /ha/año)	GA <sub>mc</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	GA <sub>ef</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) (2)	GA <sub>sg</sub> (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	ΣGA (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	M (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
0	-	-	-	-	3.647	2.503	-	-	-	6.151	-6.151
1	0,138	0,197	3.584	494	0	0	110	82	20	707	2.711
2	0,138	0,197	3.584	494	0	0	110	82	20	707	2.606
3	0,138	0,197	3.584	494	0	0	110	82	20	707	2.506
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	0,138	0,285	3.584	494	315	0	110	82	20	1.022	1.830
9	0,138	0,280	3.584	494	298	0	110	82	20	1.004	1.772
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	0,138	0,202	3.584	494	18	0	110	82	20	724	1.051
Productividad del agua en parcela (€ m <sup>-3</sup> ): 0,40								VPN (€ ha <sup>-1</sup> ) =		36.113	
Productividad del agua en cabecera (€ m <sup>-3</sup> ): 0,38								Incremento de VPN =		70 %	
Incremento de productividad (€ m <sup>-3</sup> ): 0,22 (144 %)								TIR =		45,5 %	

NOTAS: (1) Tasa TA calculada para que la Administración no experimente pérdidas con respecto a la situación inicial y, además, pueda recuperar el 100 % de su parte de la inversión. Sumando a TA las cantidades atribuibles a los gastos de administración, funcionamiento y conservación, se obtiene el coste agregado del agua para el regante, CA.

(2) El coste de explotación y funcionamiento se estima adoptando para la energía de impulsión un coste unitario de 0,023 € m<sup>-3</sup>.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Consejería Agricultura y Pesca de la Junta Andalucía (2002), Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero (2005), Rodríguez Ferrero *et al.* (2008), MARM (2010a) y Daimiel (2010).

**Leyenda:** Variables para el cálculo del valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y la productividad del agua

TA : Tasa, que, en la situación inicial, se corresponde con el valor medio del canon de regulación para los diferentes usos; y, en situación con proyecto, se calcula de modo que la Administración no experimente pérdidas con respecto a la situación inicial y, además, le permita recuperar el 100% de su parte de la inversión.

CA : Coste o pseudo-precio final del agua; CA = ΣGA / DA<sub>b</sub>.

DA<sub>b</sub> : Demanda o consumo de agua en parcela; en la situación final, DA<sub>b</sub> se obtiene corrigiendo esa demanda o las necesidades teóricas, según los casos, con los correspondientes coeficientes de eficiencia de aplicación.

I : Ingresos o producción bruta.

GNA : Gastos de explotación no atribuibles al agua.

GA<sub>t</sub> : Gastos derivados de la aplicación de TA; GA<sub>t</sub> = TA · DA<sub>b</sub>.

GA<sub>mc</sub> : Gastos de mantenimiento y conservación de las infraestructuras hidráulicas (reposiciones, reparaciones y limpiezas), estimados en un 1,2% de las inversiones.

GA<sub>sg</sub> : Gastos de administración del Organismo gestor (servicios generales).

GIA : Gastos en inversiones del proyecto de modernización (tanto el inicial como los periódicos, por amortización de aquéllas).

GIp : Gastos de inversión en el sistema de aplicación en parcela.

GA<sub>ef</sub> : Gastos de explotación y funcionamiento (incluso los de energía).

ΣGA : Suma de todos los anteriores gastos atribuibles al agua.

M : Margen neto de explotación o producción neta; M = I - (GNA + ΣGA). Su actualización a euros de 2005 se ha hecho considerando una tasa de descuento del 4%.

## RESULTADOS

El proyecto de modernización que sirve como estudio de caso ofrece muy distintos resultados, según sean implementados unos u otros escenarios de acompañamiento. En la *tabla 5* se exponen los principales resultados a los que se ha llegado, considerando los ocho escenarios manejados, con proyecto, y la situación inicial o *escenario 0*, sin proyecto. Los valores porcentuales representan las variaciones calculadas para aquéllos, con respecto a los valores iniciales, sin modernización. Puede verse cómo, únicamente en el supuesto de reordenar los cultivos originales, se consigue aumentar, y de manera notable, la renta privada; y que, en caso contrario, no resultaría rentable la modernización de regadíos que aquí se estudia. Y ello, aún cuando el regante haya de afrontar un gasto bastante mayor por el uso del agua. Lo mismo puede decirse con respecto a la productividad aparente neta, la cual prácticamente se duplica con el reajuste de superficies. Los mayores ahorros de agua se obtendrían cambiando el sistema de aplicación en parcela, de riego por gravedad a riego localizado, y, a diferencia de lo que pueda ocurrir en otras zonas, manteniendo las dosis de riego originales, ya que son ligeramente deficitarias con respecto a las necesidades teóricas (8). Consecuentemente, las mejores relaciones coste-eficacia se dan en esos mismos casos (1C y 2C).

El *escenario 2C* por el que se cambia la distribución de los cultivos, se mantienen los consumos iniciales de agua –ligeramente por debajo de las necesidades teóricas de riego– y el regante cambia de sistema de aplicación a riego localizado, ha resultado ser la opción más favorable, atendiendo al interés general, en tanto que repercute la mayor productividad aparente neta del agua y la menor relación coste-eficacia. No obstante, con ella, resultaría una renta privada inferior a la de los otros escenarios en los que hay reordenación de cultivos, si bien, cabe decir que la diferencia no sería muy significativa. Podría decirse entonces que con el *escenario 2C* el proyecto de modernización alcanzaría un mayor éxito colectivo. Generaría una

---

(8) En la situación sin proyecto, en términos medios, el volumen que reciben los cultivos con el riego que se aplica en esta zona representa un 90 % de sus necesidades brutas o teóricas. Esta relación resulta de dividir entre éstas el consumo medio en parcela, minorado con la eficiencia de aplicación del riego.

elevada renta privada a lo largo de su vida útil,  $36.113 \text{ € ha}^{-1}$ , lo que supone un incremento de un  $70 \%$  con respecto a la situación inicial sin proyecto; y, para la misma, la tasa interna de rendimiento del proyecto alcanzaría una cifra realmente alta: un  $45,5 \%$ . Y esto incluso cuando el pago por los servicios del agua, variable con los años y a repercutir con la correspondiente tarifa, se encarecería considerablemente con respecto a la situación inicial: de entre  $0,197$  y  $0,285 \text{ € m}^{-3}$ , en vez de  $0,039$ .

La productividad aparente neta en parcela tomaría bajo este *escenario 2C* un valor de  $0,40 \text{ € m}^{-3}$ , mientras que en cabecera alcanzaría los  $0,38 \text{ € m}^{-3}$ ; es decir, que con el proyecto de modernización analizado, se conseguiría un aumento del valor productivo del agua de un  $144 \%$  con respecto a la situación de partida. Y ello aún habiendo considerado un origen enteramente superficial (lo cual no es lo habitual), pues, cabe suponer que de haber y mantenerse una cierta demanda de origen subterráneo, estos valores se verían incrementados (por pérdidas menores). Teniendo en cuenta que la alternativa media de cultivos que se adopta con el proyecto está compuesta en un  $70 \%$  por naranjos, puede verse que esos resultados son bastante similares a las que obtienen Berbel *et al.* (2007) para el cultivo de cítricos en el valle del Guadalquivir y el mismo año de referencia ( $0,34 \text{ € m}^{-3}$ ).

El ahorro de agua en cabecera que teóricamente se conseguiría con la materialización del proyecto, con la reordenación de cultivos y con la sustitución del sistema de riego en parcela (*escenario 2C*) resulta ser de  $1.649 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , es decir, de un  $30 \%$  con respecto al volumen suministrado inicialmente. En el caso de que además se ajustara el consumo a las necesidades teóricas (*escenario 2D*), se ahorraría un  $23 \%$  ( $1.246 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ). El índice coste-eficacia atribuible al proyecto resulta de dividir el coste anual equivalente entre el agua que, por año, se prevé ahorrar en cabecera:  $0,56$  y  $0,75 \text{ € m}^{-3}$  en ambos casos *2C* y *2D*, respectivamente; cifras relativamente cercanas a las que ofrecen otras estimaciones, como las de Berbel y Gutiérrez (2004) o Camacho (2005), que se sitúan en torno a  $0,45 \text{ m}^{-3} \text{ año}^{-1}$ , o a la dada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2008),  $0,85 \text{ €}$  por  $\text{m}^3$  de agua ahorrada, para la modernización completa de riegos en el tramo medio del Guadalquivir y el Bajo Genil.

Tabla 5

**RESUMEN DE RESULTADOS, Y VARIACIÓN PORCENTUAL DE VALORES CON RESPECTO  
A LA SITUACIÓN ORIGINAL (ESCENARIO 0), PREVISTOS COMO CONSECUENCIA  
DE LA MODERNIZACIÓN DE LA ZONA REGABLE DEL GENIL, M.I., 2ª FASE, BAJO LOS DIFERENTES ESCENARIOS CONSIDERADOS**

U.M.: Euros de 2005

Escenarios	Reordenación de cultivos	Ajuste de riegos	Cambio de sistema de riego	Tasa de facturación del agua (TA)	Renta privada (VPN)		Productividad aparente neta del agua en cabecera		Ahorro de agua en cabecera		Coste – eficacia (2)	Beneficio ambiental (3)
					€ ha <sup>-1</sup>	Var. (%)	€ m <sup>-3</sup>	Var. (%)	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	% (1)		
0	-	-	-	0,025	21,240	-	0,157	-	-	-	-	-
1 A	-	-	-	0,107	7,695	-63,77	0,063	-59,51	571	10,53	1,44	14,27
1 B	-	✓	-	0,097	7,798	-63,29	0,058	-62,93	53	0,97	15,75	1,32
1 C	-	-	✓	0,132	5,034	-76,30	0,051	-67,37	1,484	27,37	0,63	37,09
1 D	-	✓	✓	0,119	5,167	-75,67	0,047	-69,74	1,063	19,61	0,88	26,58
2 A	✓	-	-	0,112	38,787	82,61	0,334	113,02	774	14,28	1,05	19,35
2 B	✓	✓	-	0,101	39,674	86,79	0,308	96,88	278	5,12	2,97	6,94
2 C	✓	-	✓	0,138	36,113	70,03	0,383	144,33	1,649	30,41	0,56	41,22
2 D	✓	✓	✓	0,125	37,029	74,34	0,355	126,36	1,246	22,98	0,75	31,15

NOTAS: (1) Ahorro de agua calculado como porcentaje del consumo original en cabecera de la zona regable, o del volumen que es aportado a la red de transporte, en situación sin proyecto (escenario 0).

(2) El índice coste-eficacia del proyecto resulta de dividir su coste anual equivalente y la mejora a conseguir, en este caso, el agua que se prevé ahorrar por año en cabecera. El primero se ha calculado sumando a la inversión total (tanto en alta, como, si cabe, en baja), los costes de mantenimiento de las nuevas instalaciones, así como el incremento de los costes de explotación, todos ellos anualizados de acuerdo con la vida útil del proyecto a una tasa de descuento del 4%.

(3) Estimación por ahorro de agua, que resulta de considerar el coste de oportunidad del recurso como valor medio del canon de los diferentes usos en el sistema de regu-lación general (0,025 € m<sup>-3</sup>).

Fuente: Elaboración propia.

Como una mera aproximación al beneficio ambiental que supone aumentar la disponibilidad de agua, se ha adoptado la sugerencia recogida en el Informe de viabilidad del Proyecto de modernización (MARM, 2010a): suponer que los «nuevos» recursos se imputarían a usuarios sujetos pasivos del canon que no tienen garantía plena de suministro en el sistema de regulación. Así pues, el valor que adquiriría el volumen que deja de ser utilizado, y por tanto que pasa a estar disponible para otros usos, se obtiene de considerar el coste de oportunidad del recurso como valor medio del canon de los diferentes usos en dicho sistema de regulación general ( $0,025 \text{ € m}^{-3}$ ) (9). En definitiva, el beneficio ambiental que con esta estimación repercutiría el escenario socialmente más favorable, el 2C, ascendería a unos  $41 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se plantea un análisis económico que permite valorar la eficiencia de un proyecto de modernización de regadíos. Dicho análisis ha sido aplicado en un estudio de caso, pero sus resultados deben ser tomados con cautela, debido a que ciertos datos empleados responden a valores medios, y a que otros, muy pocos, son previsiones, si bien están fundamentadas en una primera fase de modernización. Esto condiciona notablemente las expectativas de producción, renta agraria y ahorro de agua. No obstante, el análisis económico efectuado permite ver que las actuaciones de modernización de redes de riego pueden contribuir a reducir el consumo de agua, y además pueden implementar el margen neto de los regantes, incrementándose en definitiva la eficiencia productiva en el uso de este recurso.

Estos logros pueden ser atribuidos a cuatro cuestiones clave: *i*) la mayor eficiencia en el transporte de agua que se consigue con las obras de modernización; *ii*) un cambio en la orientación productiva hacia alternativas más rentables y más propias de la zona; *iii*) el ajuste de dotaciones a los volúmenes más adecuados, evitando riegos en exceso; *iv*) el mejor aprovechamiento del agua con los sistemas de riego localizado que con los tradicionales riegos por gravedad.

---

(9) Nótese que este valor es muy inferior al valor productivo del agua utilizada para riego en la cuenca del Guadalquivir, que, en la situación inicial y de acuerdo con los estudios disponibles, se situaba en  $0,29 \text{ € m}^{-3}$  de media, mientras que en la situación final con proyecto puede alcanzar, como se ha expresado, los  $0,38 \text{ € m}^{-3}$ .

A éstas podríamos añadir el efecto positivo que se puede conseguir en el uso del agua con la gestión conjunta de las zonas regables y con los modernos sistemas de telecontrol, con los cuales los propios agricultores pueden regular eficazmente el volumen de agua del que disponen. Y el hecho de que el aumento de la disponibilidad de agua superficial, además de contribuir a que se reduzca el uso de aguas subterráneas, repercute directamente sobre la seguridad de suministro en épocas de sequía. Esto conlleva la disminución del riesgo, y por tanto, estimula la posibilidad de inversiones futuras y una mejora en la competitividad del sector.

El estudio ha revelado que la modernización de regadíos puede no resultar rentable si no va acompañada de una reorientación productiva, adaptada a las condiciones del mercado, convirtiéndose éste en el factor de más trascendencia de los que aquí han sido tratados. Por otra parte, en aquellas zonas en las que se riega deficitariamente y en las que la eficiencia de aplicación en parcela es baja (lo cual no es lo habitual), resulta que el ajuste a esas necesidades provocaría un incremento en la demanda de agua, a no ser que se introdujesen sistemas de riego más eficientes. En caso de aumentarse las dotaciones y la producción, y no tener que hacer frente a semejante inversión en parcela, puede suceder que se obtuvieran valores elevados de renta privada, pero sin embargo las cifras de ahorro de agua y las relaciones coste-eficacia serían las más desfavorables. Por el contrario, la sustitución del riego por gravedad a riego localizado, en este estudio, redundaba en una mayor productividad y eficiencia, con una similar generación de renta privada, por lo cual tienen una mayor significación que el ajuste de dotaciones a las necesidades teóricas de riego.

En definitiva, puede concluirse que las obras de modernización no son suficientes por sí solas para alcanzar ahorros substanciales de agua y altas productividades, si no van acompañadas de la adopción de sistemas de aplicación eficientes en parcela y de la adaptación continua de la orientación productiva a los condicionantes del mercado. Y que es importante considerar las necesidades de los cultivos y estudiar si los riegos deficitarios tienen o no mucha repercusión sobre la renta privada, en tanto que con ellos puede lograrse un considerable ahorro de agua, y, en algunos casos, una mayor productividad. Es por ello que el asesoramiento a los regantes resulta ser una medida esencial de acompañamiento a los proyectos de modernización.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha surgido en el marco de los trabajos que su autor desempeña en el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX), al cual reconoce su confianza y apoyo. No hubiera podido ser llevado a cabo sin el Informe de viabilidad y el Proyecto de modernización de la zona regable del Genil, margen izquierda, Segunda Fase, en el término municipal de Palma del Río (Córdoba), de cuya disposición cabe agradecer al Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. El autor reconoce a su vez las estimables aportaciones hechas por los revisores de la revista en esta versión final.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLAN, T. (1999): «Productive Efficiency and Allocative Efficiency: Why Better Water Management May Not Solve the Problem». *Agricultural Water Management*, 40: 71-75.
- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ, C. (2004): *I Informe sobre la Sostenibilidad del Regadío*. Feragua. España.
- BERBEL, J.; KOLBERG, S.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. y MONTESINOS, P. (2007): *EU Water saving potential II, final report (ENV.D.2/ETU/2007/0001r)*. Eco-logic-Institute for International and European Environmental Policy.
- CAMACHO, E. (2005): *Análisis de la eficiencia y el ahorro de agua en el regadío de la cuenca del Guadalquivir. Inversiones en la modernización de regadíos*. Feragua. España.
- CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX, 1988): *Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Guadalquivir*. Anejo II. Informe parcial n.º 1. Madrid.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR (CHG, 2009): «Proyecto modificado n.º 1 de Modernización de la Zona Regable del Genil Margen Izquierda 2.ª Fase, del término municipal de Palma del Río (Córdoba)».
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR (CHG, 2008): *Documento del taller territorial: Tramo Medio del Guadalquivir y Bajo Genil, para el Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir*. URL: <http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/talleresJornadas/taller0013.html>.



- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA (2002): *Inventario y caracterización de los Regadíos de Andalucía (1996-2002)*. Sevilla.
- DAIMIEL, A. (2010): *Plantación intensiva de olivar regada por goteo (en Valldoro, Ciudad Real)*. URL: <file:///C:/Trabajo/Medidas%20basicas/Regadios/M%2025%20Sustituci%F3n%20de%20riego%20por%20gravedad%20por%20localizado/Daimiel%20Plantacion%20olivar%20regada%20por%20goteo%20inc%20presupuesto.ppt#256,1>.
- DIRECTIVA 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua).
- EMPRESA PÚBLICA DE DESARROLLO AGRARIO Y PESQUERO (2005): *Estructura de Costes de Cultivo de Regadío en Andalucía*. Sevilla.
- FAO (1977). Preparado por DOORENBOS, J. y PRUITT, W. H.: «Crop water requirements». *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma (Italia).
- LUJÁN, J. (1992). *Eficiencia de Riego*. CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Madrid.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (MARM, 2010a): *Informe de viabilidad «Proyecto de modernización zona regable del Genil Margen Izquierda 2.ª Fase T.M. de Palma del Río (Córdoba)»*. Clave CO-3116. URL: [http://www.mma.es/secciones/acm/aguas\\_continent\\_zonas\\_asoc/actuaciones\\_proyecto\\_aguas/informes/pdf/reggenilf.pdf](http://www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/actuaciones_proyecto_aguas/informes/pdf/reggenilf.pdf).
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (MARM, 2010b): *El Programa A.G.U.A.* URL: <http://www.mma.es/secciones/agua/programa/quees.htm>.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (MARM, 2010c): *Plan Nacional de Regadíos*. URL: <http://www.mapa.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm>.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (MIMAM, 2000): *Análisis Económicos. Documento anexo al Plan Hidrológico Nacional*. Madrid.
- NAVARRO, M.; MARÍN, R. y CASTILLO, F. J. (2007): *Estudio del rendimiento económico de la actividad por metro cúbico de agua empleada en función de su coste*. URL: [http://www.center.es/repository/downloads/ponencia\\_congreso\\_albacete\\_2007.pdf](http://www.center.es/repository/downloads/ponencia_congreso_albacete_2007.pdf).
- ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.
- REAL DECRETO 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- REAL DECRETO 287/2006, de 10 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener

un adecuado ahorro de agua que palien los daños producidos por la sequía.

REAL DECRETO 907/2007, de 6 de julio por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas Texto refundido de la Ley de Aguas.

REAL DECRETO LEY 2/2004, de 18 de junio, por el que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. (2003): *Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía*. PhD Thesis. Universidad de Córdoba.

RODRÍGUEZ FERRERO, N.; SALAS, M., y SÁNCHEZ, M. T. (2010): «Assessment of Productive Efficiency in Irrigated Areas of Andalusia», *International Journal of Water Resources Development*, 26 (3): 365-379.

RODRÍGUEZ FERRERO, N.; SÁNCHEZ, M. T. y LÓPEZ MARTOS, J. (2008): «Un análisis de la eficiencia socioeconómica del agua en el regadío andaluz». *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 217: 183-208.

STROSSER, P.; ROUSSARD, J. y GRANDMOUGIN, B. (2007): *EU Water saving potential II, final report (ENV.D.2/ETU/2007/0001r)*. Ecologic-Institute for International and European Environmental Policy.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN ESTUDIOS DEL TERRITORIO, DEL PAISAJE Y DEL PATRIMONIO. Universidad de Valencia (ESTEPA, 2010): *Los regadíos históricos españoles. Paisajes culturales, paisajes sostenibles*. HERMOSILLA, J. (director). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

## RESUMEN

### Evaluación de la eficiencia de un proyecto típico de modernización de regadíos

En este trabajo se plantea un análisis económico con el que valorar la eficiencia en el uso del agua que puede alcanzarse con un proyecto de modernización de regadíos. La comparación entre una situación inicial y otra con proyecto, bajo ciertos escenarios complementarios –que se refieren al cambio o no de la orientación productiva, al ajuste de riegos a las necesidades teóricas y a la sustitución del sistema de aplicación–, se establece mediante unos indicadores de eficiencia, tales como la renta esperada, la productividad aparente neta atribuible al agua, la predecible reducción en su demanda, así como un índice coste-eficacia.

Este análisis requiere una gran cantidad de datos, algunos de ellos de difícil determinación, pues responden a previsiones o expectativas de futuro, que podrían desvirtuar los resultados finales. Se recomienda en consecuencia una búsqueda precisa de esos datos en la zona beneficiada, en especial, los relativos a las producciones de los cultivos, los volúmenes de agua aplicados y los realmente requeridos, los gastos de explotación y la eficiencia en el transporte del agua.

**PALABRAS CLAVE:** eficiencia de riego, productividad aparente neta del agua, índice coste-eficacia, necesidades brutas o teóricas de riego, demanda de agua en parcela y en cabecera, margen neto de explotación.

**CLASIFICACIÓN JEL:** Q12 y Q25.

## SUMMARY

### Assessment of the efficiency of a typical modernisation plan of irrigation networks

In this paper an economic analysis is intended for assessment of the efficiency in the use of water which could be achieved by means of a modernisation plan of irrigation networks. Comparison between the initial situation and the ones which come up after the plan's implementation, under several scenarios of complementary uses of water, related to the change of agricultural production, the adjustment of consumption to the theoretical water requirements of crops and the replacement of the irrigation system at farm level, is dealt with performance indicators, such as the foreseen farm income, the water net productivity, the predicted demand reduction or a cost/effectiveness ratio.

This analysis demands a big deal of data, some of them difficult to achieve as long as they stand for expectations, which might spoil the results. Consequently a precise research of this data in the targeted area is strongly recommended, specially the one related to goods production, water amounts supplied and really required, operational costs and efficiency in transport networks.

**KEY WORDS:** irrigation efficiency, water net productivity, cost/effectiveness ratio, theoretical water requirements, water demand at farm level, water abstraction for irrigation, net margin or farm revenue.

**JEL CLASSIFICATION:** Q12 y Q25.

