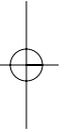


*Sobre la eficiencia,
el uso sostenible
del recurso del agua
y la gestión del territorio*

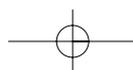


José Manuel Cruz León
Confederación Hidrográfica del Ebro
Jorge Bielsa Callau
Universidad de Zaragoza

ager • nº 1 • 2001

Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural
Journal of Depopulation and Rural Development Studies

Páginas: 85-112
ISSN: 1578-7168



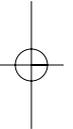


José Manuel Cruz es ingeniero agrónomo, jefe de la Sección Técnica de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Dirección para correspondencia:
Confederación Hidrográfica del Ebro
P.º Sagasta 24-28
50071 Zaragoza
Correo electrónico:
jmcruz@chebro.es

Jorge Bielsa es doctor en Economía, profesor asociado en el Departamento de Análisis Económico de la Universidad de Zaragoza.

Dirección para correspondencia:
Facultad de Económicas
Gran Vía, 2
50005 Zaragoza
Correo electrónico:
jbielsa@posta.unizar.es



Sobre la eficiencia, el uso sostenible del recurso agua y la gestión del territorio

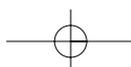
Resumen: El objetivo de este trabajo es reflexionar sobre la utilización del agua por parte de la agricultura y sus implicaciones sobre la gestión del territorio a través del concepto de eficiencia de riego. A lo largo del documento se analizan tres aspectos fundamentales: las causas técnicas y de gestión que pueden llevar a un sistema de riegos a tener una baja eficiencia, su repercusión sobre la cantidad y calidad del agua circulante por los cursos naturales y, sobre todo, sobre la sostenibilidad de la agricultura de regadío en un determinado territorio desde un punto de vista hidrológico, ecológico y económico.

Palabras clave: Eficiencia de riego, Desarrollo sostenible

On efficiency, the sustainable use of water resources and land management

Abstract: In this paper we use the concept of irrigation efficiency in order to reflect on the use of water by agriculture and its implications for territorial management. To that end, we analyse the technical and managerial reasons that could lead to a low level of irrigation efficiency, its implications for the quantity and quality of water flowing through natural channels and, above all, the sustainability of irrigation-based agriculture in a specific territory from the hydrologic, environmental and economic points of view.

Keywords: Irrigation efficiency, Sustainable Development.

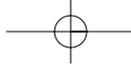


1. Introducción

Cada día es más evidente la importancia que ha adquirido una buena gestión de los recursos hídricos para la salud medioambiental y económica del territorio. Esta afirmación es válida con carácter general, pero se transforma en imperativa cuando tratamos con entornos semiáridos como la mayor parte del territorio español. Nos encontramos ante un campo de estudio que compete a un buen número de disciplinas científicas y en el que con mucha frecuencia se dan los “ángulos muertos”, es decir, problemas ante los que ninguna especialidad por sí sola es capaz de dar ni explicaciones ni respuestas satisfactorias. Se impone en estos casos un tratamiento multidisciplinar en el que las ciencias denominadas naturales y las ciencias sociales trabajen de forma conjunta.

Ese carácter transversal de la gestión del agua integrada en el territorio es el eje central de las páginas que siguen. Más concretamente, nos centraremos en el contexto de la aplicación del agua en el regadío, que por sí sólo consume y usa el grueso de los recursos hídricos superficiales disponibles en dichos territorios semiáridos.

Muchas de las alternativas que se plantean para compatibilizar el cuidado del medio ambiente, los nuevos aprovechamientos lúdico-turísticos y los regadíos pasan por un aumento en la relación entre los recursos estrictamente necesarios para el crecimiento de los cultivos y los que efectivamente se están utilizando (eficiencia de riego). Sin embargo, las implicaciones de un aumento en el valor del parámetro eficiencia de riego no son tan automáticas ni tan simples como a primera vista pueda



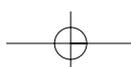
parecer. Por ello, a lo largo del trabajo mostraremos otras variables que son necesarias para valorar correctamente la gestión del agua en un territorio.

Por otra parte, las mejoras en la eficiencia no son solamente una cuestión de cambio tecnológico (en el sentido restringido de sustituir unas técnicas de riego por otras). Por el contrario, con frecuencia están relacionadas con medidas que no tienen porque consistir en la realización de costosas inversiones. Estaríamos hablando entonces de cambios tecnológicos en sentido más amplio (organización del riego) y de los incentivos que dichos cambios requieren.

Como veremos, tras el sencillo indicador de la eficiencia, se esconde un enorme volumen de información acerca de cómo se riega técnicamente, cómo se organizan las comunidades de regantes, cómo se distribuye el agua desde los embalses, cuál es la forma en la que los usuarios perciben el coste del agua y un largo etcétera de factores. Esto implica un acercamiento al concepto de eficiencia desde un punto de vista técnico, organizativo, jurídico y económico que justifica el carácter multidisciplinar que mencionábamos más arriba.

Los especialistas en cada una de las materias implicadas no encontrarán en estas páginas ninguna aportación metodológica ni resultado empírico especialmente novedosos. El objetivo de este trabajo es compilar elementos bien conocidos para cada una de las disciplinas que sean útiles para caracterizar lo que, a nuestro juicio, sería una correcta gestión del agua en un territorio a través de una mayor eficiencia de riego.

El artículo se estructura de la siguiente forma: primero definimos los conceptos necesarios para entender el concepto de eficiencia a los no iniciados en la materia (punto 2). En el punto 3 estudiamos las relaciones eficiencia-cantidad y eficiencia-calidad del agua. En el apartado 4 se establecen las relaciones entre las técnicas, la organización del riego y los niveles de eficiencia. Para terminar la exposición, cambiamos radicalmente el enfoque y planteamos la eficiencia en el contexto de las decisiones de una explotación agraria que busca maximizar su beneficio (punto 5). Por último, recopilamos y ponemos en un mismo esquema los aspectos más relevantes mencionados a modo de conclusiones. Dada la naturaleza de este trabajo, es esa recopilación y síntesis la que justifica, para bien o para mal, todas las páginas anteriores.



2. La eficiencia de riego

Comenzamos con un apartado técnico imprescindible para poder comprender los siguientes. Ciertamente, la definición general de eficiencia como cociente entre recursos necesarios y empleados no plantea ninguna dificultad por cuanto es de uso general en cualquier proceso productivo. Sin embargo, creemos necesario establecer algunas precisiones iniciales para el caso particular que nos ocupa.

En primer lugar debe indicarse que, como señala Losada (1994), cuando se habla generalmente de "eficiencia de riego", se está haciendo referencia a la eficiencia técnica y no a la eficiencia económica. Por ello, sería más correcto usar el término eficiencia técnica de riego. El cálculo de la eficiencia económica supondría tener en cuenta la valoración del agua utilizada y, como es bien conocido, ese no es un dato observable en un contexto de agua suministrada a precios o tasas muy inferiores a su coste de provisión o a su hipotético valor de mercado.

En segundo lugar, Mateos *et al.* (1996) señalan que la eficiencia en el proceso de riego presenta una diferencia sustancial con su homóloga en la mayor parte de procesos de producción: una parte significativa del agua usada en exceso (ineficiente) se reutiliza de manera espontánea en otros regadíos o usos aguas abajo. Por esta razón, niveles de eficiencia puntuales aparentemente bajos (si se los compara con otros procesos de producción) pueden ser aceptables si se toma un ámbito geográfico suficientemente amplio. Así, es necesario definir con claridad el nivel de agregación que corresponde al parámetro de eficiencia al que nos referimos si queremos valorar correctamente la información que contiene.

Pero esa reutilización espontánea o planificada encierra algunas dificultades por cuanto la calidad del agua retornada al sistema puede no ser la apropiada para los usos sucesivos. Como veremos, la calidad del agua influye en y es influida por la eficiencia de riego. Adicionalmente, es claro que la aplicación de agua en exceso provoca una pérdida de control sobre los recursos hídricos que generalmente proceden de embalses, por lo que cabe plantearse si ese hecho implica una mala utilización de dichas infraestructuras de regulación.

Por si esto no fuera suficiente, el parámetro de eficiencia se refiere a un cociente cuyos numerador y denominador son agua "que es necesario usar" y "agua realmente usada" respectivamente. Sin embargo, ese ratio nada dice acerca del agua que físicamente se ha consumido en la operación por lo que podríamos tener activi-

dades poco eficientes según nuestro indicador, pero escasamente consumidoras de agua en términos cuantitativos. Esta cuestión es especialmente relevante cuando se compara la eficiencia de riego con la de otras actividades diferentes como las industriales.

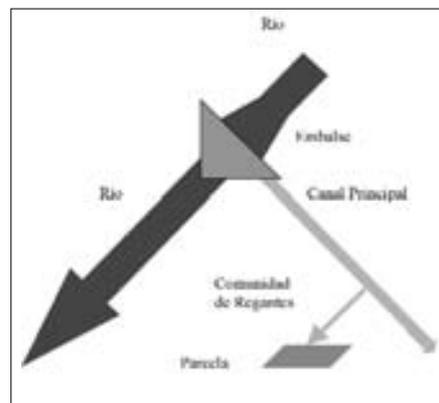
Por tanto, hay al menos dos puntos que es preciso clarificar inicialmente: quién es el agente de referencia para el cálculo de la eficiencia y qué características presenta el agua de retorno, esto es, que relación tiene con la calidad y cantidad de agua derivada en primera instancia para ese agente concreto.

Comenzaremos por definir el agente relevante a través de la descripción de los niveles en los que se desarrolla el proceso de riego.

Niveles de organización: definición del ámbito para el cálculo de la eficiencia

El proceso operacional del riego engloba tres niveles: el almacenamiento y transporte (embalse y canal principal), la distribución (comunidad de regantes) y la aplicación en parcela (regante o agricultor).

Esquemáticamente, estos niveles de organización son:



Del esquema puede deducirse que el canal principal "administra" el agua que obtiene de los ríos, acuíferos, etc. (red de transporte), para luego cedérsela a la comunidad de regantes que la gestionará para su distribución (red de distribución) hasta alcan-

zar el último nivel constituido por el regante o agricultor y la parcela de riego. Para cada uno de esos niveles podríamos definir un indicador de eficiencia que sería igualmente válido y eso es precisamente lo que haremos en el apartado correspondiente. A continuación trataremos de clarificar la relación existente entre uso y consumo

Uso consuntivo y no consuntivo

Es preciso delimitar claramente qué es "consumo" y, por extensión, qué se entiende por "pérdidas". De no hacerlo, podrían surgir múltiples malentendidos ya que, como hemos señalado más arriba, no todo el consumo de agua es útil y, no toda el agua aplicada en exceso puede considerarse perdida por cuanto puede ser reutilizada. Clasificamos los usos de agua en dos tipos básicos: consuntivos y no consuntivos. Atendiendo a este criterio, definimos de acuerdo con Playán et al. (1999):

- **Uso consuntivo:** Es el que se produce cuando el agua deja de estar disponible para otros usos porque se evapora, transpira o porque es vertida fuera de la cuenca
- **Uso no consuntivo:** Es el agua que es usada para algún propósito y después sigue su curso, sin merma en su cantidad aunque con posible pérdida de calidad

Los distintos usos no consuntivos tienen, en principio, un cierto nivel de compatibilidad entre sí y con otros usos consuntivos. Sin embargo, no hay usos consuntivos compatibles.

Dentro de los usos consuntivos, podemos clasificarlos como productivos o no productivos, según sirvan o no para el fin al que se han destinado. El uso consuntivo productivo es el debido a la evapotranspiración asociada a la síntesis y producción de biomasa por parte del cultivo. Pero además se dan usos consuntivos no productivos como son: el agua evaporada desde embalses y canales o la evapotranspirada por las plantas que viven en los márgenes de las conducciones o en los lindes de las parcelas, y cuya cuantía, en términos generales, es muy inferior a la anterior.

Los usos no consuntivos asociados al regadío se denominan habitualmente retornos de riego y están constituidos por varios componentes, entre los que cabe destacar las pérdidas durante el transporte de agua a la parcela, la percolación profunda producida por un riego excesivo y la escorrentía superficial en los campos de cultivo.

La suma de los usos consuntivos no productivos y de los usos no consuntivos se denominan y contabilizan de forma genérica como pérdidas, tal y como aparecen recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1
Principales tipos de Pérdidas en los distintos niveles de un sistema de riegos.

Nivel	Pérdidas
Parcela	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por percolación profunda (riego en exceso). • Escorrentía (vertidos a desagües). • Evaporación y arrastre por viento (típico del riego por aspersión).
comunidad de regantes y embalses.	<ul style="list-style-type: none"> • Filtraciones y evaporación en acequias y embalses. • Pérdidas en tuberías. • Vertidos a desagües. • Evapotranspiración de plantas situadas en los márgenes de acequias y embalses.
canal principal	<ul style="list-style-type: none"> • Filtraciones y evaporación desde el canal. • Vertidos operacionales a cauces naturales. • Evapotranspiración de plantas situadas en los márgenes de los canales.

En el aspecto cualitativo, la proporción relativa de las componentes constitutivas del retorno de riego le inducen características distintas, pues mientras la escorrentía superficial y las pérdidas operacionales en canales y acequias vierten directamente a los cauces y acequias (o a la red de drenaje), las pérdidas por percolación profunda y las filtraciones desde las redes de transporte y distribución lo hacen tras fluir a través de la matriz del suelo (zona radicular del cultivo y estratos geológicos), disolviendo sales y arrastrando otras sustancias presentes en la matriz, transportándolas hacia los cauces naturales, y afectando negativamente a la calidad del agua circulante por éstos. De esta manera, los aspectos cuantitativos y cualitativos se interrelacionan. Volveremos sobre este importante aspecto en el epígrafe correspondiente. Por ahora, pasamos a definir el concepto de eficiencia de riego.

La eficiencia

De acuerdo con Burt et al. (1997), podemos definir la *eficiencia del riego* como el porcentaje del agua total suministrada a un cultivo que sirve efectivamente para



satisfacer sus necesidades hídricas (su uso consuntivo productivo). Así, podemos expresarla según la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia de riego} = \frac{\text{Agua evapotranspirada por los cultivos}}{\text{Agua suministrada a los cultivos}} \cdot 100$$

Pero este cociente, como hemos indicado más arriba, puede realizarse para diferentes niveles de agregación. Así, puede hablarse de eficiencia de la cuenca hidrográfica, del sistema de riegos (zona regable) y, dentro de este último, según los distintos niveles de organización que lo componen: Parcela de riego, comunidad de regantes y canal Principal.

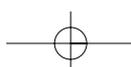
Dado que las pérdidas de agua se producen en todos los niveles de organización de un sistema de riegos, la eficiencia del sistema de riego puede descomponerse en tres componentes correspondientes a cada uno de los niveles de organización. Por tanto, siguiendo a Playán (1994), podemos definir la eficiencia en parcela (EPA) o eficiencia de aplicación, eficiencia en comunidad de regantes (ECR) o eficiencia de distribución y eficiencia en el canal principal (ECP) o eficiencia de transporte. A su vez, las eficiencias del canal principal y de la comunidad de regantes se podrían agrupar en una única eficiencia: la eficiencia de la red (EDR).

$$EPA = \frac{\text{necesidades hídricas de los cultivos}}{\text{agua que se aplica a la parcela}} \cdot 100$$

$$ECR = \frac{\text{agua que se aplica a las parcelas}}{\text{agua suministrada a la comunidad}} \cdot 100$$

$$ECP = \frac{\text{agua suministrada a las comunidades}}{\text{agua tomada del embalse principal}} \cdot 100$$

La combinación de las tres anteriores es la eficiencia del sistema de riegos (ESR) o eficiencia global del sistema:



$$ESR = \frac{\text{Necesidades hídricas de los cultivos}}{\text{agua tomada del embalse principal}} 100$$

$$ESR = \frac{EPA}{100} \frac{ECR}{100} \frac{ECP}{100} 100$$

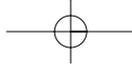
En la cuenca hidrológica, la eficiencia del riego (ECH) se puede calcular como el porcentaje del agua derivada por el sistema de riegos y no devuelta en forma de retornos, de esta manera tendríamos:

$$ECH = \frac{\text{Necesidades hídricas de los cultivos}}{\text{Agua tomada del embalse principal} - \text{Retornos de riego}} 100$$

Según esta definición los retornos (pérdidas) de un sistema se convierten, desde el punto de vista cuantitativo, en aportación para el sistema situado aguas abajo del primero. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo, las magnitudes que se restan en el denominador no son homogéneas. Esto se debe a que en general las aguas de retornos de riego tendrán una peor calidad que las aguas circulantes por la red fluvial. Por ello, tras el proceso de mezcla, estas últimas verán reducido su valor potencial como recurso y, tras pasados determinados umbrales, su capacidad de satisfacer cualquier tipo de demanda. Pero veamos con más detalle esas interacciones en el punto siguiente.

3. Eficiencia, cantidad y calidad

Para que la mejora de la eficiencia del sistema de riego repercuta sobre la cantidad y calidad del agua, los esfuerzos deberán centrarse en la reducción del uso no productivo (consuntivo y/o no consuntivo) del agua, ya que el uso productivo del sistema de riego es la evapotranspiración del cultivo que, a su vez, es una función dependiente del clima y del propio cultivo e independiente de la tecnología de riego que se utilice.



Efectos sobre la cantidad de agua

En el sistema de riegos la disminución de las pérdidas que corresponden a usos consuntivos no productivos significa un aumento de la disponibilidad del recurso agua a nivel del sistema de riegos o zona regable. Entre las consecuencias prácticas de interés se halla el hecho de que las infraestructuras de transporte (canales) ven incrementada su capacidad para satisfacer la demanda punta de la zona regable. No es menos destacable el hecho de que el mayor control sobre los recursos se traduce en un menor coste asignable a la unidad de agua regulada. No olvidemos que en climas semiáridos la posibilidad de disponer recursos en los meses de riego pasa en buena medida por la construcción de costosas obras de regulación.

En relación con la cuenca hidrográfica: es la disminución del uso consuntivo (como la evapotranspiración de plantas situadas en los márgenes de canales, acequias y depósitos, la implantación de cultivos menos intensivos o reducir la superficie de los más intensivos, etc.) la que puede representar un aumento de la disponibilidad del recurso en la cuenca. Por el contrario la disminución de pérdidas por uso no consuntivo no supone en principio un aumento sobre la cantidad del recurso, ya que la red de drenaje reintroduciría los retornos de riego en el balance general de cuenca (a expensas de saber cuál es su calidad y su localización).

Esta es una cuestión a tener en cuenta cuando se habla de "ahorro" de agua como consecuencia de una mejora en la eficiencia del regadío. Así, si se dedican esos volúmenes "ahorrados" a un incremento de superficie o a la intensificación del regadío, cuestión esta última que en ocasiones se plantea como símil de una buena gestión, se está implícitamente aceptando una reducción de los caudales circulantes por nuestros ríos. Esta situación queda reflejada en las figuras 1 y 2 tomadas nuevamente de Playán (1994).

La consecuencia es clara: hemos mejorado la ECH hasta un 80% a la vez que hemos incrementado la "presión" sobre el río (de un RIO-54 hemos pasado a un RIO-66).

En resumen, desde un punto de vista meramente cuantitativo, la eficiencia en el ámbito de cuenca aumenta sólo cuando se actúa sobre los usos consuntivos, mientras que a nivel de sistema de riegos resulta esencial disminuir cualquier tipo de pérdidas, ya que de esta manera se optimizan las estructuras y se aumenta el uso (y/o posibles usos) del recurso regulado, concepto éste que en la literatura se viene denominando como conservación del recurso (Playán et al., 1999).

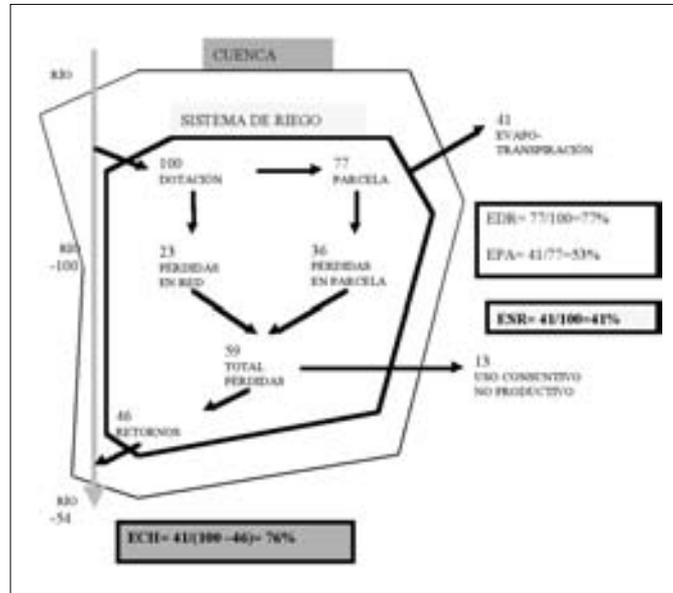


Figura 1: eficiencia sistema de riegos 41 %

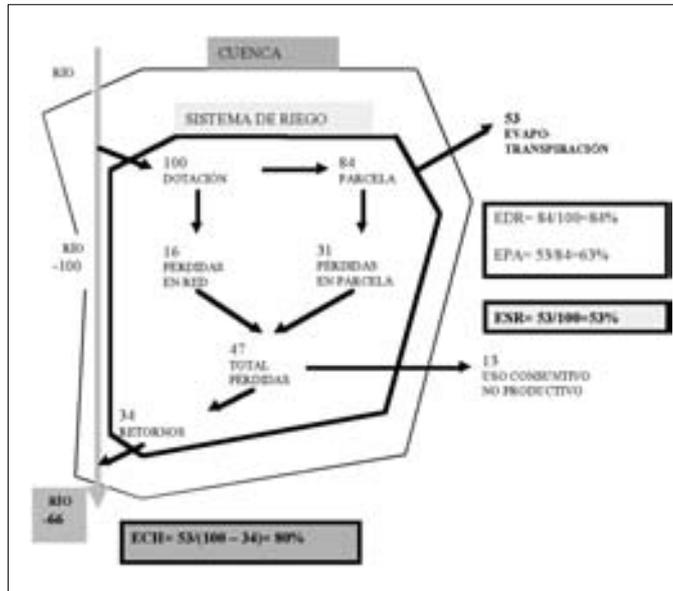


Figura 2: eficiencia sistema de riegos 53 %

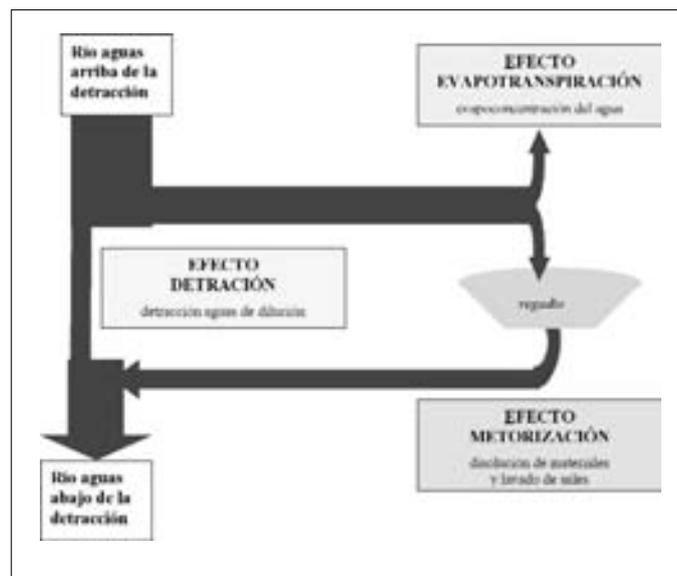
Sobre la eficiencia, el uso sostenible del recurso agua y la gestión del territorio



Efectos sobre la calidad del agua.

Como señalan Naredo y Gascó (1994), la afección más importante del regadío sobre la calidad del recurso agua es, en territorios semiáridos, el aporte de sales solubles (salinidad)¹, tanto de las presentes en la matriz del suelo o subsuelo de forma natural como de las incorporadas en el proceso productivo (fertilizantes). Este es un aspecto especialmente relevante y que no ha sido suficientemente estudiado hasta la fecha. Es destacable la gran efectividad que podría tener la mejora de la eficiencia de riego sobre la calidad del agua del río. Para el área del valle del Ebro pueden verse los trabajos de Alberto (1986) o Bielsa (1999), que inciden en las repercusiones de los retornos de los regadíos sobre la salinidad.

Los efectos producidos por una detracción de caudales con destino al regadío, se concretan en el gráfico adjunto:



- 1• La salinidad es un problema muy antiguo que ha limitado la extensión y el uso sostenible del regadío desde hace milenios. Estudios históricos concluyen que la decadencia y/o desaparición de algunas civilizaciones (Sumeria, etc.) basadas en la agricultura de regadío ha sido debida a un proceso progresivo de degradación (salinización) de los suelos y las aguas, como consecuencia de un manejo inapropiado del riego.

Las definiciones de cada uno de ellos son:

1. Efecto detracción: la consecuencia inmediata de la detracción de aguas con destino al riego es la disminución de la capacidad de dilución del río. Esto hace que se incremente el "peso" relativo de los aportes subterráneos, con mayor carga salina, contribuyendo de esta manera a la salinización del río.

2. Efecto evapotranspiración: una vez realizado el riego, y como consecuencia de la evapotranspiración del cultivo, en el suelo se van concentrando las sales en disolución, contribuyendo de esta manera a la salinización del suelo.

3. Efecto meteorización: la interacción entre las aguas de riego y la matriz del suelo o subsuelo da lugar a procesos de disolución de sales y de meteorización geoquímica de los minerales presentes en éste, contribuyendo de esta manera a la salinización de las aguas de percolación profunda.

Siguiendo a Aragüés (1998), la importancia relativa del efecto meteorización en territorios semiáridos es muy superior a las otras dos. En consecuencia, el agua de riego aplicada a las parcelas de cultivo aumenta considerablemente su contenido en sales, tras atravesar el perfil del suelo y capas geológicas con altos contenidos de las mismas, constituyendo una fracción de los denominados retornos de riego. Esto no sólo afecta a los propios retornos de riego circulantes por la red de drenaje, sino que la salinidad del agua que resulta de mezclar el agua de retorno con las aguas de los ríos, modifica las condiciones de calidad de estas últimas en relación directa a la masa de sales aportada e inversa a los caudales circulantes, limitando así su "potencialidad" natural.

La Figura adjunta, tomada de Aragüés (1998), que incluye datos medidos y datos simulados, nos da una idea de la magnitud del problema en la cuenca del Ebro.

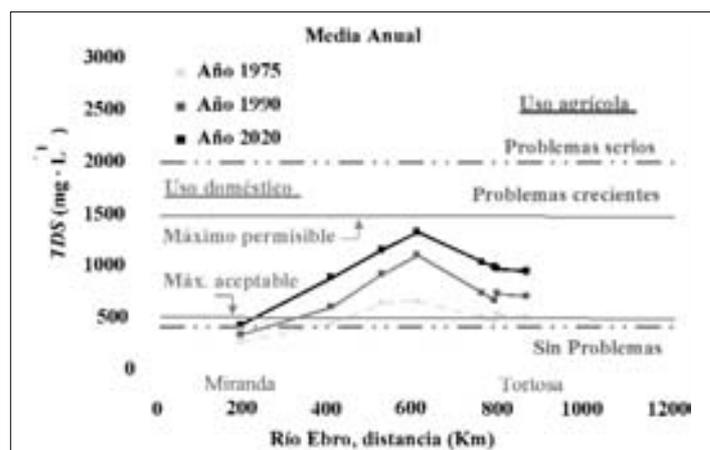


Figura 3: Valores medios y proyección al año 2020, del contenido en sólidos disueltos totales (TDS), a lo largo del Ebro.

En ella es apreciable el incremento prácticamente lineal que se da a lo largo del río, así como del efecto dilución que tiene la entrada del Segre-Cinca. Podemos encontrar resultados similares en Bielsa (1999).

La primera medida para proteger la calidad de las aguas del efecto de las sales es aumentar cada uno de los términos de eficiencia del sistema de riegos, de manera que disminuyan las pérdidas de tipo no consuntivo. De manera general, una disminución del volumen de los retornos de riego implica una disminución de la masa total de sales por ellos transportados.

Es preciso señalar que al mismo tiempo, y a efectos de conservación del suelo agrícola, es preciso mantener un cierto nivel de pérdidas por percolación profunda, que en la práctica se ven generalmente incluidas en la componente "ineficiente" de la EPA. Esto implica que en la definición de necesidades hídricas debería incluirse una cantidad relacionada con la conservación del suelo (lavado o lixiviado), cosa que sucede en el caso de los usos industriales donde si es frecuente incorporar conceptos tales como "mejor tecnología disponible". Mientras que en este último caso las necesidades se determinan a partir del propio proceso técnico, en el caso del regadío no parece tenerse en cuenta esa dependencia.

En cuanto a la contaminación de los retornos por fertilizantes y plaguicidas, es imprescindible la adopción de unas prácticas agrícolas adecuadas a los objetivos productivos perseguidos, que además ponderen las repercusiones que sobre el medio ambiente tienen las distintas opciones técnicas disponibles y, una vez más, por la mejora de la eficiencia de riego. En este caso la eficiencia que resulta clave es la EPA, ya que es en la parcela donde se producen estas pérdidas.

4. Aspectos tecnológicos: técnicas y organización del riego

La expresión mejora tecnológica suele interpretarse, en un sentido un tanto restrictivo, como un cambio (positivo) en las técnicas puramente materiales de los procesos de producción. Sin embargo, entendiendo la tecnología de una forma amplia, los cambios tecnológicos incluyen aspectos tanto de la composición del equipo productivo como de la organización de la actividad. Veamos por separado cada uno de esos dos aspectos.

Las técnicas de aplicación del agua en parcela

El objeto fundamental del riego es cubrir las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de todo su ciclo vital y/o productivo. Como hemos mencionado, estas necesidades hídricas son una función dependiente del clima y del propio cultivo e independiente de la técnica de riego que se utilice². Esta última afirmación nos lleva a considerar el hecho de que las técnicas de aplicación del riego no tienen influencia alguna sobre las necesidades hídricas de los cultivos y que por tanto van a ser las condiciones de diseño, su adecuación al cultivo y a las condiciones del medio (principalmente suelo y en menor medida al clima) las que determinen el nivel de eficiencia a alcanzar por cada una de ellas.

Sin entrar a fondo en cada una de estas técnicas, las siguientes figuras resultan muy ilustrativas de que los niveles de eficiencia no tienen porque estar relacionados con una determinada tecnología de riego. Si conseguimos una buena adaptación entre el sistema de riego y las características físicas del suelo y las climáticas, esa será la mejor forma de aumentar la eficiencia en cada espacio concreto (ver figuras 4a y 4b).

Estos datos vuelven a ser coincidentes, en lo relativo a los sistemas de riego por gravedad, con los medidos por el Servicio de Aplicaciones Agronómicas (Confederación Hidrográfica del Ebro) durante varias campañas de riego y en diversos sistemas de riego de la cuenca del Ebro. Los datos de la Figura 5 corresponden a la evaluación realizada en un polígono de riego de 330 ha. de riego por gravedad, localizado en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña.

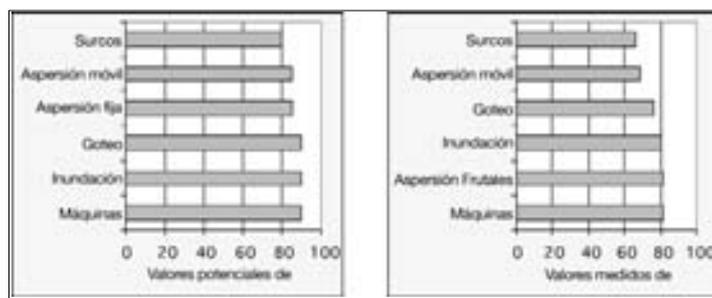


Figura 4: Eficiencias de aplicación en parcela potenciales (4a, izquierda) y medidas (4b, derecha) para distintos sistemas de riego. Fuente: 4a: Clemmens et al. (1994), 4b: Hanson et al. (1995).

2• En esta afirmación se asume que el cultivo constituye un tapiz continuo sobre la superficie del suelo, a la que sombrea en su totalidad. Es lo que en "terminología FAO" se conoce como 100% de suelo sombreado.

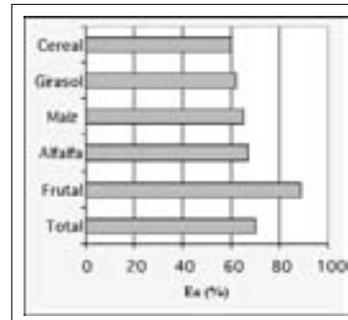


Figura 5. Eficiencias de aplicación en riego por gravedad medidas para distintos cultivos, en un polígono de riego. o

Fuente: Maté Moreno et al. (1994).

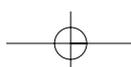
En definitiva, podemos afirmar que es posible obtener altas eficiencias independientemente del sistema o técnica de riego empleado. Esta cuestión debe ser considerada cuando se propugnan para el regadío cambios tecnológicos de vasta extensión superficial, por su afectación general al paisaje (líneas de alta tensión, reducción de lindes y setos, con la consiguiente reducción de zonas de "refugio" para la fauna y flora, etc.) y, en algunos casos, a otros usos tradicionales (recogida de frutos silvestres, etc.). Cabe plantearse en esos casos si no existirían otras posibilidades menos impactantes para alcanzar resultados similares

Aspectos organizativos: comunidad de regantes y canal principal

Las comunidades de regantes son, fundamentalmente, los gestores del agua en la red de distribución. Por su parte el canal principal juega el mismo papel en la red de transporte. Van a ser por tanto las limitaciones asociadas a la gestión y conservación de estas redes las que repercutan sobre la eficiencia del sistema de riego. Las posibles causas de ineficiencia son:

1. pérdidas operacionales en acequias y canales.
2. pérdidas por filtración desde las redes de distribución y transporte.

Las primeras se refieren a los posibles desfases entre los desembalses y los turnos de riego. Estas pérdidas se deben a su vez a dos tipos de problemas: a desajustes entre las cantidades demandadas y requeridas y a problemas de estructura de las redes. En el primer caso se producen por desconocimiento de las cantidades exacta-



mente demandadas y, sobre todo, de los momentos en que van a ser realmente aplicadas, por lo que esos caudales no llegan a las parcelas para los que se destinaban. Por lo que respecta a la estructura de las redes, la capacidad y la longitud de los canales puede generar diversas dificultades para adecuar la demanda en el espacio, en el tiempo y en el caudal con los requerimientos de agua en cada una de esas dimensiones.

Nos interesa destacar aquí la importancia de la regulación interna a través de pequeños embalses en tránsito (en los propios sistemas de riego) como un instrumento de gran eficacia para evitar dichas pérdidas operacionales. Con frecuencia, una balsa de regulación interna puede mejorar de forma sensible la adecuación del "timing" y de los caudales de desembalse y riego mejorando la eficiencia del sistema de forma comparable a como lo haría cualquier otra estrategia tecnológica a unos costes sensiblemente inferiores.

Respecto a la segunda componente general (filtraciones procedentes de las redes), la mejora es, en principio, evidente: impermeabilización de los canales principales y de las redes secundarias de conducción.

Posibilidades de mejora

En la tabla 2 se concretan, de forma sintética, algunas posibles medidas correctoras planteadas en la literatura técnica de riegos a los problemas planteados hasta aquí.

Como puede observarse, ninguna de estas medidas se refiere a cambios espectaculares en las técnicas de riego ni encierra en si misma grandes inversiones de capital. Muy al contrario, a excepción de la concentración parcelaria, se trata de medidas sencillas y, sobre todo, que encierran un trabajo continuo que no solamente se circunscribe a lo que podríamos denominar una "revolución tecnológica". Este hecho es especialmente relevante cuando se plantean estrategias de mejora de la eficiencia consistentes exclusivamente en la subvención de nuevas técnicas de riego (aspersión, goteo, etc.) olvidando una batería de medidas como las que se enumeran a continuación.

Tabla 2
Medidas correctoras.

Nivel	Medidas
Parcela	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de riego en condiciones adecuadas de conservación. • Sistematización de las parcelas en unidades de riego adecuadas a los módulos de riego disponibles. • Medidas para la obtención de una alta uniformidad de distribución (nivelación láser, etc.). • Encaminar los procesos de concentración de la propiedad hacia explotaciones agrarias viables. • Limitar, para unas condiciones de manejo adecuadas, las dotaciones de riego por tipos de cultivos. • Evaluar en los diseños técnicos las condiciones de trabajo y manejo necesarias para un adecuado funcionamiento. • Mejora de la formación de los agricultores en la técnica de riego y en la adecuación entre esta y el tipo de suelo, cultivo, etc.
comunidad de regantes	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación adecuada de la red de distribución. • Incorporar y mantener medidores de caudal. • Embalses de regulación interna que permitan “flexibilizar” la gestión y mejorar la garantía del riego. • Eliminar o flexibilizar lo máximo posible el riego por turnos. • Tarifación por volúmenes y penalización de los consumos excesivos.
canal principal	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación interna y modernización de las infraestructuras. • Conservación adecuada de la red. • Conocimiento del estado de “situación” del conjunto de elementos que integran el sistema de riego. • Conocimientos e información sobre la potencial demanda de agua en función de los cultivos existentes.

Hasta aquí hemos presentado desde un punto de vista “positivo” cuál es el abanico de posibilidades que se le ofrecen a los agricultores individuales, a las comunidades de regantes y a los distribuidores del canal principal para mejorar la eficiencia de riego.

5. Aspectos económicos de la eficiencia: las variables superficie total y ocupación de cultivos

Cambiamos radicalmente el enfoque en este apartado para dedicar un espacio al punto de vista económico. Veremos ahora el comportamiento que pueden tener los usuarios centrándonos en una cuestión de especial relevancia desde el punto de vista de la gestión del territorio: ¿qué reacción cabe esperar de unos regantes que mejoran su nivel de eficiencia respecto a la roturación total de tierras y al tipo de cultivos?

Como hemos señalado, los efectos de un aumento en la eficiencia sobre las disponibilidades de agua y sobre la calidad de la misma dependen de la evolución de otras variables del modelo agro-económico: la superficie total cultivada y la distribución de cultivos elegida (ocupación de cultivos).

En efecto, como hemos mostrado anteriormente, si el agua "liberada" por las mejoras de eficiencia es dedicada a aumentar las superficies de riego o a regar nuevos cultivos más exigentes en agua, podemos encontrarnos con que finalmente los cauces naturales terminen sufriendo una mayor presión por parte de los usos consuntivos agrícolas. Veamos las motivaciones económicas que hay detrás de ese efecto perverso para la sostenibilidad del territorio.

Utilizaremos un sencillo modelo económico-hidrológico utilizado con generalidad en la literatura de Economía Agraria que nos muestre las variables relevantes que pueden dar lugar a este tipo de situaciones.

Supongamos una explotación agrícola que produce n cultivos usando m factores productivos y agua, cuyo problema económico se reduce a maximizar el beneficio definido en los siguientes términos:

$$B = P^T Q - P_w W^T Q - p^T X, \quad (1)$$

,donde:

P : Vector de precios de los n productos agrícolas.

Q : Vector de producciones físicas de los n productos agrícolas.

P_w : Tarifa o precio pagado por unidad de agua.



W : Vector de volúmenes de agua usados en los n productos agrícolas.

p : Vector de precios de los m factores productivos distintos del agua.

X : Vector de cantidades de los m factores usados en la producción.

En principio, no consideramos restricciones de agua ni de tierra, ni suponemos que los precios de ambos factores sean sensibles a cambios en el grado de utilización de los mismos.

Los diferentes sumandos de la expresión anterior pueden descomponerse a su vez de la siguiente forma:

$$Q = R^T C,$$

siendo R vector de rendimientos físicos por superficie y C el vector de distribución de superficies de cultivo (ocupación de cultivos);

$$W = NH / e,$$

siendo e la eficiencia en el uso de agua y NH el vector de necesidades hídricas netas por unidad de superficie para cada uno de los n cultivos.

Con lo visto hasta aquí, la expresión (1) anterior queda:

$$B = P^T R^T C - P_w (1 / e) NH^T R^T C - p^T X, \text{ o bien: (2)}$$

$$B = P^T R^T C - P_w NH^T R^T (1 / e) C - p^T X \text{ (3)}$$

Es evidente, por otra parte, que el vector de cantidades de factores X depende a su vez de la ocupación de cultivos, por lo que tenemos:

$$B = P^T R^T C - P_w NH^T R^T (1 / e) C - p^T X(C) \text{ (4)}$$

Por tanto, una mejora (aumento) en la eficiencia de riego sin restricciones cuantitativas de superficie de cultivo ni de volumen de agua empleado y con independencia entre los precios de los factores y sus precios, nos conducirá a la siguiente variación en el beneficio:

$$dB = P^T R^T dC - P_w NH^T R^T (e d C - C d e) / e^2 - p^T X' dC,$$

que reordenando queda:

$$dB = P^T R^T dC - P_w NH^T R^T (1 / e) dC - p^T X' dC + P_w NH^T R^T C / e^2 de \text{ (5)}$$

El vector dC tendrá componentes positivas, negativas y nulas, según sea un aumento, una disminución o un mantenimiento de la superficie dedicada a cada uno de los cultivos. De la expresión anterior se deducen cuatro componentes en la modificación del beneficio de la explotación, a saber:

- a) El beneficio aumenta si aumentamos la participación de los cultivos con más valor de mercado (primer sumando).
- b) El beneficio disminuye si esos cultivos cuya participación aumenta son más demandantes de agua para un precio dado P_w (segundo sumando).
- c) El beneficio disminuye si las cantidades de factores asociadas a esos cultivos cuya participación aumenta son comparativamente más altos (tercer sumando).
- d) El beneficio aumenta por el ahorro de agua como consecuencia del aumento en la eficiencia (cuarto sumando).

Con frecuencia nos encontraremos con una relación adicional: los aumentos en la eficiencia van acompañados con crecimientos en los rendimientos por unidad de superficie para todo tipo de cultivo (R). Este sería otro factor que contribuiría a aumentar el beneficio por mejoras en la eficiencia.

Dada la estrecha banda de decisión respecto a la distribución de cultivos en la que se mueve el agricultor a corto plazo y la escasa sensibilidad de las tarifas de agua ante cambios en las cantidades demandadas, podemos afirmar que los sumandos primero y tercero (a, c) van a tener escasa influencia y que no es necesario considerar posibles variaciones de P_w , tal como implícitamente suponemos en la expresión (5).

Por último, si en la estructura de precios (P) incluimos las subvenciones PAC a la producción agraria, cualquier modificación en las mismas puede lógicamente influir en la ocupación de cultivos de igual manera que un cambio en los precios.

El aspecto que más nos interesa destacar aquí es el siguiente: si ante una mejora en la eficiencia de riego no existen limitaciones en la superficie total o en la de aquellos cultivos más demandantes de agua y no existe elasticidad de los precios del agua ante cambios en su demanda, nada impide que la nueva ocupación de cultivos resultante de la actuación racional de los agricultores conduzca a unos mayores requerimientos de agua. Esto es, que:

$$NH^T R^T (1/e) dC > NH^T R^T C / e^2 de, \text{ o bien: } (1/e) dC > C / e^2 de.$$

Dicho en otras palabras, que los requerimientos de los cultivos que aumentan su participación en la distribución de superficies sean mayores que los ahorros de recurso por la mejora en la eficiencia. Obtenemos así un resultado aparentemente paradójico: el intento de ahorrar agua por medio de una mayor eficiencia para liberar caudales con los que mejorar la salud de los ríos puede conducir,



siguiendo una lógica puramente económica, a un aumento de la presión sobre los recursos de esos ríos.

Este tipo de fenómeno cuenta con ejemplos constatables en nuestro país: el caso de las mejoras tecnológicas en el riego en Almería, que están conduciendo a un agotamiento de los acuíferos por sobreexplotación debido a que las limitaciones de superficie que se impusieron en su día no se están respetando en la práctica (Naredo y Gascó, 1994). A modo de resumen de este apartado, queremos que consten las dos palancas de actuación que se derivan del desarrollo anterior y que pueden evitar que se produzca la paradoja que hemos señalado:

- a) Establecimiento de unas tarifas que tengan la flexibilidad necesaria para captar la escasez del recurso y no sólo los costes de provisión del mismo.
- b) Establecimiento de una ordenación de la ocupación de cultivos acorde con las disponibilidades del recurso.

En cualquier caso, el objetivo de sostenibilidad no debe pasar por penalizar sin más a la agricultura, sino por llegar a una solución de compromiso entre el sistema productivo agrario y los recursos que de forma sostenible proporciona el territorio. En este sentido, ni la tarifa ni la superficie de cultivos (o su "equivalente" en intensificación) pueden ser tratadas como valores "a priori" o exógenos en un hipotético modelo agrario y ambiental, sino que son dos de las principales variables de control con las que cuenta el planificador para compatibilizar el desarrollo económico de la agricultura con un medio ambiente hídrico en un estado aceptable. Por todo lo anterior, el nivel de eficiencia y la superficie regada deben estudiarse conjuntamente si no queremos agotar eficientemente las reservas de agua de un territorio.

6. Conclusiones: eficiencia y territorio

Cerraremos el trabajo con una lista de conclusiones, necesariamente de carácter cualitativo, que se desprenden de las páginas anteriores. Antes de exponerlas queremos señalar que, a pesar de las paradojas y las limitaciones que hemos presentado acerca del uso de la eficiencia de riego como único indicador de la adecuación del regadío a su entorno, el aumento de la misma en sus diferentes formas es hoy una necesidad incuestionable en regiones semiáridas como la mayor parte del territorio español (incluyendo en esta categoría regiones calificadas como excedentarias de agua en la última versión

del Plan Hidrológico Nacional (PHN, 2000)). Ahora bien, conviniendo en que la eficiencia de riego debe aumentar, es a nuestro juicio necesario tener en cuenta algunos aspectos como los que han sido desarrollados en los epígrafes anteriores.

Nuestro razonamiento ha girado entorno a tres ideas fuerza: por un lado, la optimización de los medios materiales (inversiones) y humanos dedicados a la mejora de la eficiencia. Por otro lado, la consideración de la calidad de los retornos como un factor esencial a la hora de valorar esas mejoras en la eficiencia. Por último, hemos tratado de mostrar qué significa y qué condiciones requiere un ahorro de la cantidad de recurso utilizada.

Respecto a la primera de esas ideas, deberíamos ser capaces de deslindar cuáles son los factores y los niveles de organización en los que podemos incidir con un menor ratio coste-beneficio. Del análisis realizado sobre las limitaciones de los distintos niveles se puede generalizar que los problemas se centran en: baja eficiencia de riego en parcela, falta de flexibilidad en la distribución y, muy relacionada con ésta, la carencia de información sobre la demanda de agua. A la vista de estas limitaciones, la modernización de los sistemas de riego debería asentarse sobre dos pilares: la implantación de sistemas eficientes de aplicación de agua en parcela y el conocimiento de la demanda hídrica (su cantidad y su distribución en el tiempo).

Por lo que respecta a la mejora de la aplicación del agua en parcela, es importante no presuponer de forma "axiomática" la bondad, desde el punto de vista de la eficiencia y su repercusión sobre el medio natural, de unas técnicas de riego respecto a otras que, como señalan los ejemplos presentados, son más que discutibles. Por ello, esas mejoras deben considerar el peligro que pueden crear los cambios tecnológicos de vasta extensión superficial, por su afectación general al paisaje (líneas de alta tensión, reducción de lindes y setos, con la consiguiente reducción de zonas de refugio para la fauna y flora, etc.). Esta última afección es especialmente relevante en el caso de las concentraciones parcelarias, deseables en cuanto a la mejora en la eficiencia, pero que pueden producir afecciones desde el punto de vista ambiental semejantes a las anteriormente descritas.

Con relación al conocimiento de la demanda hídrica, hay un enorme campo de mejora en el diseño y explotación de redes de distribución orientadas a satisfacer y prever las demandas de los usuarios en la cantidad y el momento necesarios. Estos sistemas de distribución deberían tener además la capacidad para adaptarse con rapidez a demandas cambiantes. Nuevamente, no estamos poniendo el acento en un cambio de técnicas de riego en un sentido material sino, en este caso, en los aspectos organi-



zativos de la distribución del agua desde el embalse y dentro de las comunidades de regantes.

La segunda idea general es, como hemos señalado, la calidad de los retornos. En ese sentido, es necesario minimizar esos flujos de retorno de riego dentro de los límites que nos permita la conservación agrícola de los suelos. Esto resulta vital para poder mantener y/o mejorar la calidad actual de las aguas. La salinidad del agua en los ríos mediterráneos es, una vez descontada la importante salinización natural producto del tipo de suelos por los que discurren, la consecuencia lógica de la baja eficiencia de riego.

En general, el aumento de la eficiencia del riego puede aumentar la cantidad del recurso disponible para otros usos. Sin embargo, y esta sería la tercera línea central de estas conclusiones, la consideración de estas cantidades como un “ahorro” de recurso que queda disponible para los agentes privados debe ser matizada.

En efecto, si consideramos los recursos liberados como susceptibles de ser destinados a cubrir las necesidades hídricas de un regadío existente o de nueva creación implica asumir, a igualdad de las restantes condiciones (regulación, precipitaciones, etc.), una reducción de los caudales circulantes con el consiguiente aumento de la presión sobre el río y su entorno. Por ello, las variables precio del agua, superficie regada y tipo de cultivo deben entrar en juego en una correcta planificación del territorio ya que unos usuarios en busca de su máximo beneficio individual no tienen entre sus restricciones la sostenibilidad global del medio. Si los caudales liberados o, mejor dicho, conservados a través de la mayor eficiencia, se utilizan para mejorar la cantidad y calidad del agua circulante por los ríos, tendremos unos recursos hídricos mejor aprovechados pero no hemos ahorrado agua en conjunto.

En este mismo sentido, y esto cierra el círculo de la exposición de las conclusiones, el hecho de que los usuarios perciban el coste del agua a través del precio o la tarifa, es un incentivo primordial para que estos busquen un aumento en la eficiencia. Este último hecho, por obvio y repetitivo que parezca, no parece ser tenido en cuenta cuando se habla de medidas concretas para la mejora de la eficiencia, que frecuentemente se centran en la subvención de costosas inversiones para la instalación de nuevas técnicas de riego.

A modo de epílogo, no nos resistimos a retomar la línea argumental con la que comenzábamos este trabajo. Los sistemas de riego ocupan un espacio nada despreciable del territorio en regiones semiáridas como la mayor parte de la península ibérica. Como hemos tratado de ilustrar en las páginas anteriores, las importantes interacciones físicas y socioeconómicas entre ambos obligan a que su estudio sea multidiscipli-

nar. Las aproximaciones desde las diferentes parcelas científicas aportan avances sobre aspectos muy especializados olvidando frecuentemente el conjunto y, esto es lo más grave, los efectos cruzados de las medidas en un determinado campo sobre el resto. Afortunadamente, contamos con la reciente normativa comunitaria, especialmente la Directiva Marco sobre Política de Aguas de la Comunidad Europea, en la que se enfatiza el carácter transversal de la gestión del agua en el territorio.

Esto supone un importante y, a nuestro juicio, saludable cambio en el enfoque de las ciencias sociales y naturales que se ocupan de este problema. Los científicos naturales deberían producir resultados útiles en formato y condiciones para los científicos sociales. Estos últimos, por su parte, deberían reclamar de los primeros esos resultados para incorporarlos como restricciones o como datos en sus trabajos sobre organización y gestión del territorio.

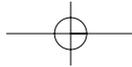
Agradecimientos

Agradecemos sinceramente los comentarios recibidos de los dos revisores anónimos. Su aportación ha sido esencial para perfilar mejor los objetivos y el enfoque del trabajo. Los errores y omisiones que persistan son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Bibliografía

- Alberto Giménez, F. (1986): "La salinización de las aguas del Ebro", *Actas del Seminario del Agua en Aragón*, Zaragoza, Diputación General de Aragón, Vol. 3, 133-153.
- Aragües, J. (1998): *Documento de Trabajo del Servicio de Investigación Agroalimentaria, Unidad de Suelos y Riegos*, Zaragoza (mimeo).
- Bielsa, J. (1999): *Gestión Integrada del Agua en el Territorio desde una Perspectiva Económica*, Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación, nº 17.

- Burt, C.M., A.J. Clamens, T.S. Strelkoff, et al. (1997): "Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, nº 123, Vol. 6., 423-442.
- CHE (1995): *Memoria del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro.
- CHE (1998): *Memoria anual*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Clemmens, A. J. y A. R. Dedrick, (1994): "Irrigation techniques and evaluations", En Tanji K. K., y B. Yaron(Eds.), *Advanced Series in Agricultural Sciences*, Berlin, Springer-Verlag, 64-103.
- Doorenbos J. y W. O. Pruitt (1977): "Guidelines for prediction crop water requirements", *FAO Irrigation and Drainage Paper*, nº 24, 144-156.
- Faci J. M^a, R. Aragüés, y D. Quilez (1984): *Necesidades de agua de los cultivos de Aragón*, Zaragoza, Diputación General de Aragón.
- FAO (1982): *Instrumentos o dispositivos que contienen suelo y reciben lluvia natural o riego y se encuentran provistos de un sistema para recibir y medir la solución de percolación*, Monografía FAO nº 39, Roma, FAO.
- Hanson, B., W. Bowers, B. Davidoff, D. Kasapligil, A. Carvajal y W. Bendixen, (1995): "Field performance of microirrigation systems", *Microirrigation for a changing world: Conserving resources/Preserving the environment. Proceedings*, Orlando, Fifth Int'l. Microirrigation Congress.
- Losada, A. (1994): "Eficiencia técnica en la utilización del agua de riego", *Revista de Estudios Agrosociales*, nº 167, 131- 154.
- MAPA (1998): *Borrador del Plan Nacional de Regadíos. Actuaciones al Horizonte 2008*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Maté Moreno de Monroy, L., J. Cruz González, J. M. Cruz León (1994): "Evaluación de la eficiencia de un polígono de riego en la zona del Canal de Aragón y Cataluña". Comunicación presentada al Symposium Nacional: Presente y futuro de los Regadíos en España.
- Mateos, J., E. Ferreres y A. Losada (1996): "Eficiencia del riego y modernización de regadíos". *Actas del XIV Congreso Nacional de Riegos. AERYD*, Aguadulce, 481-488.
- Naredo, J.M. y J. Gascó (1994): "Spanish Water Accounts", *Actas del Seminario: Environmental Accounting for Decision Making*, Paris, OCDE.



Plan Hidrológico Nacional (2000): *Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional presentado por el Gobierno de España para su estudio por el Consejo Nacional del Agua y su posterior remisión a las Cortes para su aprobación como Ley.*

Playán, E. (1994): "Eficiencia en el aprovechamiento del agua por el regadío", *Revista Geográfica*, nº 3, 16-32.

Playán, E., J.M. Faci, J. Cavero, F. Dechmi y S. Lecina (1999): "Casos de estudio: ahorro de agua en los regadíos de Aragón", Ponencia presentada en *la V Conferencia Internacional Nuevas Fuentes de Suministro de Agua*, Valencia.

Snyder, R. L., M. A. Plas y J.L. Grieshop, (1996): "Irrigation methods used in California: grower survey", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, nº 122, Vol. 4, 259-262.

