

# La eficiencia técnica de riego: Análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones (\*)

JORGE BIELSA (\*\*)

ROSA DUARTE (\*\*)

## 1. INTRODUCCIÓN

El artículo 38 de la Ley de Aguas (1985) establece como objetivos generales de la Planificación Hidrológica «lograr una mayor satisfacción de las demandas de agua y armonizar el desarrollo regional y sectorial, así como aumentar la disponibilidad del recurso, protegiendo su calidad y economizando su uso en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales». El logro de este objetivo o de cualquier otro en esta línea está ligado necesariamente a un conocimiento de los distintos usuarios del agua, de sus relaciones y de la repercusión de sus actividades sobre el entorno en que éstas se desarrollan.

El acercamiento al estudio de la disponibilidad de cualquier recurso y, en particular, del recurso hídrico pasa, a nuestro parecer, por la profundización en tres aspectos claves:

- quiénes son los principales usuarios del agua y cómo utilizan la misma,
- el análisis de los usos en diferentes niveles de agregación, esto es, desde el punto de vista de consumidores específicos y desde el punto de vista de grandes agregados de usuarios, y

---

(\*) Los autores agradecen los valiosos comentarios recibidos de Julio Sánchez Chóliz en las versiones previas de este trabajo, así como las interesantes apreciaciones de los evaluadores de las mismas. En cualquier caso, los errores que persisten y los puntos de vista que se adoptan son de nuestra exclusiva responsabilidad.

(\*\*) Departamento de Análisis Económico. Facultad CC. Económicas y Empresariales. Universidad de Zaragoza.

- cómo afectan las actividades productivas no sólo a la cantidad, sino también a la calidad con la que el recurso vuelve a los cauces, lo que supone estudiar tanto el consumo físico como la degradación del agua (ver Bielsa, 1999).

En relación al primer punto, en el caso del agua es fundamental estudiar su uso por parte de la agricultura, ya que el sector agrario usa más del 80 por ciento del agua total en España y, como veremos, consume más del 90 por ciento.

En relación al segundo punto, Mateos *et al.* (1996) señalan la necesidad de considerar el uso del agua en regadío desde un punto de vista agregado, dado que lo que para una actividad puede ser una pérdida, no lo sería para el sistema en su conjunto.

Por último, como señalan Naredo y Gascó (1994), es necesario atender a las cuestiones cualitativas a la hora de determinar la disponibilidad de recursos. No es sólo importante la cantidad de recursos de que disponemos para los usos posteriores, sino también la calidad de los mismos, medida por sus posibilidades de reutilización.

En este trabajo incidiremos en las dos primeras cuestiones, y muy especialmente en la segunda por cuanto planteamos un esquema que relaciona el comportamiento en el uso del agua de agentes individuales (los agricultores) con la disponibilidad total de los recursos en la cuenca. Intentamos, de esta forma, conectar los enfoques micro (individual) y macro (agregado) en el estudio del aprovechamiento del factor agua.

La variable con la que nos vamos a aproximar a estas cuestiones es la eficiencia técnica de riego. La noción de eficiencia, en sentido amplio, nos indica la relación existente entre la cantidad de recursos necesarios y los realmente utilizados. Si bien, como se apunta en Losada (1994) (1) «la eficiencia técnica se inscribe dentro del marco relativamente más amplio y complejo de eficiencia económica, entendida ésta como la aplicación de recursos de forma que se maximice su contribución al bienestar humano dentro de restricciones impuestas por la distribución de riqueza y de renta existentes», el estudio de la primera es un primer nivel ineludible para poder entender la segunda.

La eficiencia técnica de riego es un buen indicador del aprovechamiento que se está haciendo de los recursos regulados, esto es, del grado en el que los caudales embalsados se dedican a aquellos fines

---

(1) En su referencia a Small y Caruthers (1991).

para los que fueron almacenados. Así, regar de manera más eficiente es una forma de «conservar» recursos en los puntos de almacenamiento para poder dedicarlos a otros fines; dicho en otras palabras, una mayor eficiencia técnica llevará, generalmente, a una mayor eficiencia económica.

Otra utilidad menos inmediata de esa información es que, de forma indirecta, nos da una idea de la fracción del agua consumida físicamente que es innecesaria por cuanto corresponde a caudales que han sido aplicados en exceso. Esta acepción nos indica que la eficiencia es el nexo de unión entre el agua usada y el agua consumida físicamente.

En tercer lugar, si calculamos la eficiencia en el uso para sistemas formados por múltiples usuarios, el indicador agregado nos informa sobre el grado en el que los retornos de unos han sido reutilizados por otras actividades similares aguas abajo. El análisis de esta variable es de gran importancia por cuanto tiene que ver con aspectos organizativos, de gestión del recurso, más que con elementos puramente relacionados con el modo de riego. Sumpsi *et al.* (1998) se refieren a esos aspectos organizativos bajo la denominación de «eficiencia de la institución de riego».

El trabajo se estructurará de la siguiente forma: en el apartado 2 abordaremos la noción de eficiencia técnica de riego a partir de la relación entre uso y consumo físico de agua. En el apartado 3 pasaremos a analizar los diferentes niveles de agregación espacial y las definiciones asociadas de eficiencia, con especial referencia a la reutilización como vía de conexión entre los niveles micro y macro. El trabajo se cierra con las principales conclusiones.

## 2. RELACIÓN USO-CONSUMO-EFICIENCIA

### 2.1. Uso-consumo-retorno

La diferencia entre uso y consumo de agua es crucial en el estudio de la eficiencia técnica de riego. Estas magnitudes están íntimamente relacionadas en un sistema hidrológico a través del siguiente esquema; el agua usada (U) se descompone en consumo (C) y retorno (R), es decir,  $U = C + R$ .

Si llamamos  $r$  a la tasa de retorno, siendo  $r = R / U$  el agua retorna por unidad de agua usada, tendremos que  $R = r U$  y  $C = U (1 - r)$  será la relación entre el agua consumida y el agua usada.

Así, la relación entre el consumo físico y el uso se establece a través de la tasa de retorno  $r$ , tasa que depende de múltiples factores y

variará notablemente entre actividades (e incluso entre distintos procesos de una actividad concreta). Su conocimiento permite ajustar el peso relativo de los distintos sectores en el consumo del agua.

A modo de ejemplo, los coeficientes ( $r$ ) aplicados por el ministerio (MOPTMA 1993) a la agricultura, a los usos industriales y a los usos urbanos (abastecimientos) son de 0,2; 0,8 y 0,8 respectivamente. Esto significa que por cada 100 litros de agua usada, la agricultura retorna 20 y la industria y los abastecimientos 80.

En términos relativos, la consideración del consumo en lugar del uso supone un cambio muy importante a la hora de valorar la participación de los tres sectores tradicionales: agricultura, industria y abastecimientos en el consumo total de agua. Si aceptamos, tal como lo hace MOPTMA (1993) en el Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional (APHN), que la participación de cada uno de los tres sectores es del 80 por ciento, 6 por ciento y 14 por ciento respectivamente en términos de uso y aceptamos los coeficientes de retorno ( $r$ ) del mismo documento, las proporciones respecto al consumo total pasan a ser de 94 por ciento, 1,9 por ciento y 4,1 por ciento respectivamente. Como vemos, la participación relativa y cuantitativa del sector agrícola aumenta si tenemos en cuenta el consumo físico que se debe asignar a esta actividad.

Por tanto, aunque tradicionalmente se han venido aplicando las tarifas de acuerdo con la cantidad de agua usada, una contabilidad estrictamente física de las cantidades detraídas pasa por el análisis del agua físicamente consumida, que depende del volumen usado y, muy especialmente, de la eficiencia con la que se realiza este uso. Con ser importante, esta contabilización física proporciona una información insuficiente por cuanto pone en el mismo nivel el agua usada y la retornada, a pesar de que tienen calidades muy diferentes. En efecto, el agua de los retornos es devuelta al sistema con una composición química que puede hacerla inservible y en lugares en los que ya no es reutilizable, dada la distribución geográfica de los usuarios.

Como hemos señalado, en este trabajo dejamos a un lado esta importante cuestión para profundizar en la contabilidad física del recurso. Por ello, pasamos a describir con más detalle la eficiencia técnica de riego considerando los componentes que se incluyen en su definición para el caso de la agricultura de regadío.

## 2.2. Definiciones de eficiencia de un uso y análisis de los factores determinantes

Al igual que en los trabajos de Playán *et al.* (1999) o Burt *et al.* (1997) (2), entendemos por eficiencia técnica en el uso el cociente entre el agua necesaria y la que efectivamente se ha usado, esto es:

$$e = Un / Ue \text{ o bien } Ue = Un / e \quad [1]$$

donde  $Un$  (uso necesario) representa el uso teórico, es decir, la cantidad estrictamente precisa para prestar un servicio concreto en un contexto medioambiental dado, y  $Ue$  (uso efectivo) corresponde a la cantidad que efectivamente se ha usado (3).

Aunque los factores determinantes de la eficiencia técnica de uso son diferentes según la actividad productiva a la que nos refiramos, todos tienen que ver con dos aspectos: la eficiencia de distribución antes de que el agua llegue al usuario y la eficiencia con la que se utiliza el agua en el uso específico.

Así, en el caso de la industria y en el de los abastecimientos urbanos, la eficiencia de distribución hace referencia al estado de las redes de suministro, y la eficiencia del uso haría referencia a los hábitos de uso de los consumidores urbanos e industriales. Igualmente, la eficiencia en distribución de agua para la agricultura se referiría a la lograda en el recorrido de la misma hasta la parcela (pérdidas en transporte, estado de los canales, etc.), y la eficiencia de uso se referiría al riego en sí.

En efecto, en los usos agrarios una parte muy significativa del agua usada se consume efectivamente en la evapotranspiración de los cultivos, otra no menos importante se consume por prácticas de uso inadecuadas (ineficiencias de transporte y exceso de aplicación) y, por último, un tercer bloque de ese total usado vuelve a los cauces en lugares y condiciones muy variables (4).

---

(2) Citado en Playán *et al.* (1999).

(3) Igualmente, podemos definir la eficiencia en el consumo como  $Cn / Ce$ , es decir, la relación entre el agua que es estrictamente necesario consumir y la que efectivamente se ha consumido. En este trabajo nos centraremos en la eficiencia en el uso, ya que la eficiencia en el consumo es un concepto relacionado con el anterior y cualquier conclusión es válida para ambas.

(4) La existencia e importancia de ese tercer tramo de retornos, que pueden ser reutilizados, hace que Willardson (1994) sustituya la palabra eficiencia por la de «fracción», ya que la utilización del término eficiencia y la inevitable comparación con la de otros procesos productivos resulta desfavorable para el regadío y puede dar lugar a múltiples malentendidos. Sin embargo, optamos, al igual que Burt *et al.* (1997) y otros muchos autores por mantener el término eficiencia, por cuanto recoge, en esencia, el significado de lo que se está calculando, asumiendo que en el caso particular de la agricultura este dato deberá ir acompañado del nivel de agregación al que nos refiramos (esta es la idea que subyace en Mateos *et al.*, 1996). Por otra parte, en el glosario de términos de riego de Losada (1997) no se menciona el término fracción, por lo que entendemos que no es de uso demasiado común.

Volviendo al enfoque planteado, veamos cuáles son los componentes del uso necesario.

En primer lugar, el agua que es necesario aportar a los cultivos es aquella que es evapotranspirada por éstos para su crecimiento, teniendo en cuenta las precipitaciones y la función de producción agua-cultivo.

Respecto a las precipitaciones, las necesidades de riego son la diferencia entre la evapotranspiración de la planta y la lluvia útil. Esta magnitud se conoce como necesidades hídricas netas, esto es,  $NHN = ETC - PL$ , donde ETC es la evapotranspiración del cultivo y PL la lluvia útil. En cuanto a la cuestión del rendimiento, el valor de ETC que debe incorporarse es aquel que maximiza la producción de cultivo para diferentes aportaciones de agua, es decir, el óptimo técnico derivado de la función de producción agua-cultivo. Por tanto, es un valor teórico ex-ante y no un dato que pueda obtenerse a partir de los volúmenes utilizados.

En segundo lugar, hay que notar que el agua que es necesario aplicar al regadío siempre supera a la cantidad biológicamente necesaria para los cultivos, ya que es preciso mantener un determinado balance hídrico y de minerales en el suelo (operación de lavado o lixiviado). Este es un componente de lo que denominamos «uso necesario» ( $U_n$ ), por lo que el consumo derivado de este tramo del agua usada debe formar parte del «uso consuntivo necesario» junto con la propia evapotranspiración de los cultivos.

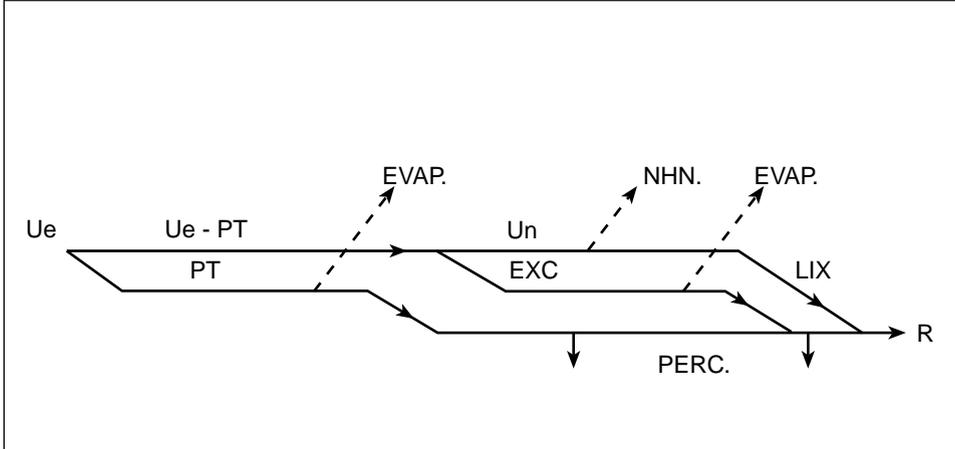
Por tanto, un posible desglose del agua usada es el siguiente:

$$U_e = PT + NHN + LIX + EXC = U_n + PT + EXC \quad [2]$$

Donde PT, NHN, LIX, EXC corresponden a las pérdidas en transporte, necesidades hídricas netas de los cultivos, lixiviado y exceso de agua aplicada en parcela respectivamente.

En el siguiente esquema representamos mediante diagramas de flujos el proceso que acabamos de describir con sus diferentes componentes (Diagrama 1).

Para analizar los factores en juego usaremos una definición multiplicativa de la eficiencia como en Playán (1994), atendiendo a los niveles organizativos del proceso de riego: distribución en canales principales y secundarios y aplicación en parcela. Así, denominando  $e_r$  a la eficiencia del sistema de riego o total,  $e_d$  a la eficiencia de la distribución y  $e_f$  a la eficiencia de aplicación en finca o parcela, podemos llegar a las siguientes relaciones:



$$e_d = (U_e - PT) / U_e$$

$$e_f = U_n / (U_e - PT)$$

$$e_r = U_n / U_e = e_d \cdot e_f$$

Por tanto, el agua efectivamente consumida y retornada dependerá del efecto conjunto de esos dos factores. Más concretamente, siguiendo a O. Heady y Nicol (1975), podemos encontrar la relación entre el agua efectivamente consumida y las necesidades teóricas de riego (5). Si tenemos en cuenta que una parte del agua que se usa en exceso no retorna al cauce debido a la evaporación o a la percolación profunda (6), el agua usada y la efectivamente consumida estarán relacionadas con los retornos que se generan.

Puesto que  $U_e = U_n / e_r$ , o bien, que  $U_e = U_n / (e_d \cdot e_f)$  si suponemos que una proporción ( $t$ ) de las pérdidas en transporte, del agua usada en exceso y del lixiviado vuelve al cauce, la relación entre uso y consumo será la siguiente:

$$C_e = NHN + (1 - t) \cdot (LIX + EXC + PT), \text{ es decir,}$$

$$C_e = NHN + LIX + (1 - t) (EXC + PT) - t LIX$$

(5) Como acabamos de señalar, el concepto de necesidad teórica va asociado a las necesidades hídricas de las plantas y el agua excedente que se requiere para mantener un balance hídrico y de minerales adecuado en el suelo. Por tanto, no debe confundirse con el concepto asociado de evapotranspiración de los cultivos (ETC).

(6) Se recoge bajo la denominación de percolación profunda a aquella cantidad de agua que, a pesar de no evaporarse, no se recupera para posteriores usos por filtrarse hacia capas profundas.

Sustituyendo a partir de la expresión [2] anterior:

$$C_e = U_n + (1 - t) (U_e - U_n) - t \text{LIX} \quad [3]$$

Dividiendo los dos miembros de la expresión [3] por  $U_e$ :

$$C_e / U_e = U_n / U_e + (1 - t) (1 - U_n / U_e) - t \text{LIX} / U_e \quad [4]$$

Tomando los valores medios de uso, consumo y retorno de un sistema de riego y llamando ( $\text{lix}$ ) a la ratio (7) ( $\text{LIX} / U_n$ ), puesto que  $C_e / U_e = (1 - r)$  y  $\text{LIX} / U_e = \text{LIX} / U_n (U_n / U_e) = e_r \text{lix}$ , la expresión (4) se convierte en:

$$C_e / U_e = (1 - r) = e_r + (1 - t) \cdot (1 - e_r) - t e_r \text{lix}$$

Por tanto,

$$r = 1 - [e_r (1 - t \text{lix}) + (1 - t) (1 - e_r)]$$

que simplificando queda como sigue:

$$r = t [1 - e_r (1 - \text{lix})] = t [1 - e_r + e_r \text{lix}] \quad [5]$$

Por tanto, la tasa de retorno de un sistema de riego depende de la eficiencia con la que se maneja el agua ( $e_r$ ), de las características físicas, químicas y climáticas del terreno ( $t$ ) y de la proporción de agua que es necesario usar para mantener un adecuado balance químico en el suelo ( $\text{lix}$ ).

Por ejemplo, tomando como referencia unos valores de  $t = 0,55$  y  $\text{lix} = 0,05$  (8), para una eficiencia total del 50 por ciento, estaríamos ante tasas de retorno próximas al 30 por ciento. Para el caso concreto de los regadíos de Aragón, donde las eficiencias totales o de los sistemas de riegos pueden estar por debajo del 50 por ciento (Tabuena, 1995), la tasa de retorno se situaría por encima de ese 30 por ciento. Razonando en sentido inverso, si se retorna al cauce un 20 por ciento del agua usada, según nos indica el MOPTMA (op. cit.), se está suponiendo una eficiencia total de uso que oscila entre un 63 por ciento y un 66 por ciento (9) (muy superior a las eficiencias de siste-

(7) Este ratio también recibe la denominación de fracción de lavado y es una relación exclusivamente técnica que depende de las características físico-químicas del suelo y del tipo de cultivo.

(8) Tomamos como referencia la tasa natural de filtración del agua excedente ( $t$ ) estimada para la amplísima variedad geoclimática de EE.UU. por O. Heady y Nicol en el trabajo citado, con un valor que oscila entre un 55 por ciento y un 60 por ciento. La tasa de lixiviado del 5 por ciento, esto es, el porcentaje respecto a las necesidades hídricas que se necesita adicionalmente a éstas para mantener un adecuado balance químico en el suelo, corresponde a terrenos con escaso problema de salinidad. Si consideramos una tasa de lixiviado de, por ejemplo 0,2, una eficiencia de 0,5 sería compatible con una tasa de retorno ( $r$ ) de 0,33.

(9) Se asume que  $t = 0,55$ .

ma de riego estimadas por Huertas (1997) y otros autores). Por tanto, la coherencia entre los objetivos de eficiencia y las previsiones de retornos implican una adecuada calibración de la tasa de retorno natural ( $t$ ) para evitar discrepancias entre ambas magnitudes.

### 3. DIFERENTES NIVELES DE AGREGACIÓN: EFICIENCIA CONJUNTA Y REUTILIZACIÓN

La consideración de diferentes niveles de agregación para el cálculo de la eficiencia se basa en un hecho constatable: los regadíos que tradicionalmente han aplicado excesivas cantidades de agua han contribuido a formar una auténtica red de flujos hídricos debido a los retornos. Así, una mejora de la eficiencia en la aplicación y el transporte reducirá el volumen de agua consumida, pero alterará de forma significativa el diagrama de flujos que forman el Sistema Hídrico, afectando a los nuevos flujos «creados» con posterioridad a los regadíos y que son nuevamente aprovechados por otros sistemas de riego.

Por tanto, la existencia de niveles distintos de agregación dota de un significado distinto a los caudales usados en exceso (EXC), que son pérdidas para los primeros usos pero son aportaciones para los sucesivos, como acertadamente señalan Mateos *et al.* (1996). En este sentido, los ratios demanda neta/deseembalse mencionadas por Losada (1994) (10) serían una primera aproximación a una eficiencia global o conjunta que incluyese todos los usos sucesivos.

En otros trabajos, como Playán (1994), el hecho de la reutilización espontánea de los retornos se recoge bajo la denominación de «eficiencia de cuenca».

Partiendo de la definición dada de eficiencia de uso,  $e = U_n / U_e$ , y centrándonos exclusivamente en el análisis de la eficiencia de riego, ( $U_n$ ) se corresponderá ahora con las necesidades hídricas de los cultivos y ( $U_e$ ) con la totalidad del agua derivada de los cauces y/o embalses para tal fin, que coincidirá con lo que en la literatura norteamericana de riegos se conoce como «demanda neta».

A partir de aquí y, siguiendo a Playán (1994), podemos distinguir dos niveles de eficiencia: la ya mencionada eficiencia del sistema de riegos ( $e_r$ ) y la eficiencia de cuenca hidrológica ( $e_{ch}$ ).

Mientras que el primer nivel ( $e_r$ ) se refería a la eficiencia de un uso y se establecía como cociente entre necesidades y usos; el segundo

---

(10) En su cita a García Cantón y Krinner (1993).

(ech) se define como el cociente entre las necesidades hídricas totales de la cuenca o subcuenca y el consumo físico efectivamente realizado para cubrir dichas necesidades, es decir, si denotamos con el superíndice (s) las variables correspondientes a la cuenca en su conjunto:

$$\begin{aligned} \text{ech} &= U_n^s / (U_e^s - R), \text{ con } R = r U_e^s, \text{ de donde (11):} \\ \text{ech} &= U_n^s / U_e^s (1 - r_s) = e_s / (1 - r_s) \end{aligned} \quad [6]$$

donde  $e_s$  corresponde a la eficiencia conjunta de los usuarios sucesivos en una cuenca considerando el proceso como si fuera un solo uso. Por tanto, comprobamos que (ech) depende directamente de  $e_s$  e inversamente de  $(1 - r_s)$  mientras que, por el contrario, como vimos en el apartado anterior,  $e_r$  no depende de su tasa de retorno.

Sin embargo, una primera objeción puede hacerse a este esquema teórico: las medidas de referencia [1] y [6] se refieren a una distinta cantidad base, la eficiencia del sistema de riego se calcula respecto a la cantidad de agua usada, mientras que la de cuenca hidrológica lo hace respecto al agua consumida físicamente, lo que supone un problema de cara a realizar comparaciones entre eficiencias a los dos niveles de agregación.

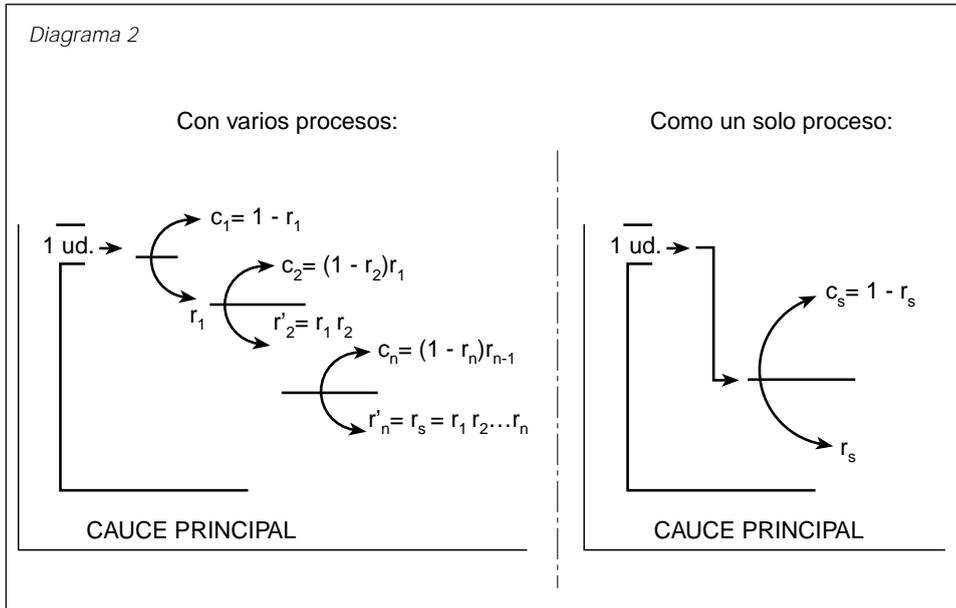
Como solución proponemos que ambas medidas se refieran a una de las dos magnitudes, bien al agua usada, o bien al agua consumida en términos físicos. De esta forma, la comparación entre las medidas de eficiencia global y puntual reflejará exclusivamente el hecho de que la eficiencia del sistema de riego contabiliza el aprovechamiento del agua en un solo uso, mientras que la de cuenca lleva implícita la posibilidad del uso sucesivo del agua.

Así, definimos eficiencia de un uso ( $e_p$ ) como la relación entre el uso realizado y el uso necesario para una sola utilización o punto ( $e_p = U_n / U_e$ ). En este contexto, demostraremos que la definición de eficiencia dada por Playán (ech) es una cota superior de las posibles eficiencias conjuntas que pueden darse a medida que aumenta el número de reutilizaciones.

Para clarificar estos conceptos, analicemos por medio de un sencillo diagrama el recorrido de una unidad de agua a lo largo de una cuenca (12), desde que es usada por primera vez hasta que una determinada parte de la misma (que denotaremos por  $r_s$ ) es devuelta al cauce.

(11) Los parámetros  $r$  y  $R$  se entiende siempre que son los efectivos.

(12) Hablamos de cuenca en sentido genérico como un territorio con flujos limitados geográficamente. En una cuenca real pueden existir varias cuencas menores o subcuencas.



donde  $c_i$  y  $r_i$  son los consumos y los retornos unitarios del uso  $i$ -ésimo y  $r_s$  el retorno unitario conjunto del sistema, que coincide con el retorno del último uso realizado.

En este esquema, suponiendo que las tasas de retorno y eficiencia  $r_i$ ,  $e_i$  son iguales a  $r_p$ ,  $e_p$  en todos los usos, tenemos que:

$$U_n^s = e_p (1 + r_p + \dots + r_p^{n-1}) = \frac{e_p (1 - r_p)^n}{1 - r_p}$$

Sabiendo que  $c_s = 1 - r_s$ , tenemos:

$$ech = \frac{U_n^s}{c_s} = \frac{e_p}{1 - r_p} = \frac{e_s}{1 - r_s}$$

Claramente, los valores de  $e_p$  y  $e_s$  son diferentes porque  $r_p$  y  $r_s$  son distintos. En general, la diferencia entre  $e_p$  y  $e_s$  será mayor cuanto mayor sea la de  $r_p$  y  $r_s$ . Si suponemos infinitos usos,  $r_s$  tenderá a cero y entonces:

$$ech = \frac{e_p}{1 - r_p} = e_s$$

En otras palabras, (ech) actúa como una cota superior de las posibles eficiencias conjuntas bajo las condiciones señaladas.

Para estimar en cada caso los valores de  $e_s$  y  $r_s$ , podemos apoyarnos en las siguientes relaciones:

$$r_s = (r_p)^n, \text{ o bien:} \\ r_p = (r_s)^{1/n} \quad [7]$$

$$n = \ln (r_s) / \ln (r_p) \quad [8]$$

Si tenemos en cuenta que detrás de cada tasa de retorno hay una determinada eficiencia supuesta constante para todos los usos e igual a  $e_p$ , podemos escribir:

$$r_p = t_p [1 - e_p (1 - \text{lix}_p)] = (r_s)^{1/n} \\ r_s = [t_p [1 - e_p (1 - \text{lix}_p)]]^n \quad [9]$$

$$r_s = t_s [1 - e_s (1 - \text{lix}_s)]; \quad [10]$$

De las expresiones [9] y [10], suponiendo un comportamiento igual para cada uno de los procesos y para el proceso conjunto ( $t_s = t_p$ ,  $\text{lix}_s = \text{lix}_p$ ), podemos inferir que existe una relación directa entre las eficiencias conjunta y de un sólo uso ( $e_s$  y  $e_p$ ), que depende fundamentalmente del número medio de reutilizaciones que realice cada unidad de agua derivada de los cauces. La eficiencia conjunta será mayor cuanto más se reutilice el agua y, en general, la tasa de retorno del sistema conjunto es menor que la de cualquiera de los usos que se realizan en él.

En el gráfico 1 se describe la relación existente entre la eficiencia conjunta (de sistema) y la eficiencia de un solo uso en función del número medio de reutilizaciones (13).

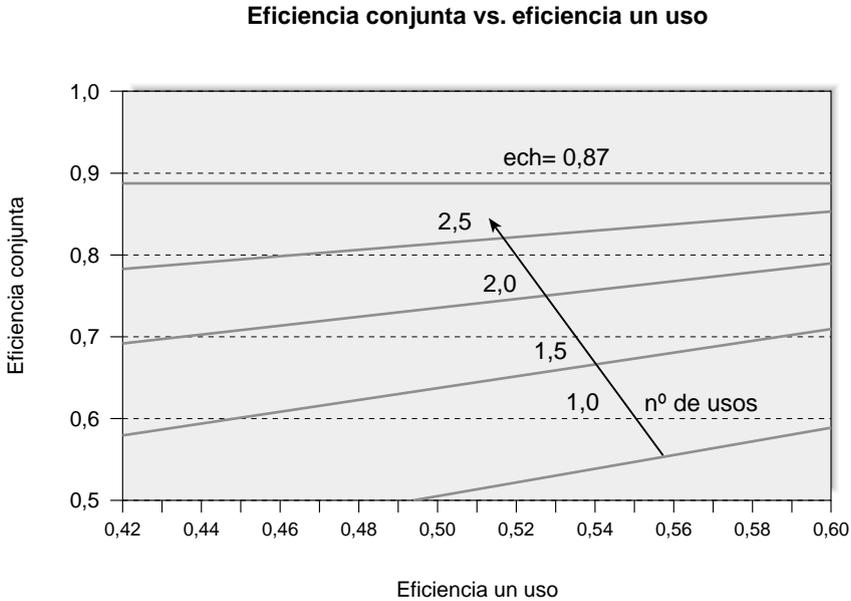
Así, la eficiencia de un uso y la conjunta coinciden si  $n = 1$ ; pero si el número de reutilizaciones es mayor que uno, por ejemplo,  $n = 1,5$  (14), esto significaría que, dado un intervalo de eficiencia de un uso (entre 0,42 y 0,46), el sistema en su conjunto ha trabajado con una eficiencia conjunta comprendida entre 0,57 y 0,62, valores muy próximos a los obtenidos por García Cantón y Krinner (1993) para los ratios demanda neta/deseembalse en los regadíos españoles a pie (concretamente 0,59).

Para ese mismo intervalo de eficiencias de un uso y conjuntas, la eficiencia de cuenca a lo Playán (ech) oscila entre 0,85 y 0,87. Sin

(13) Dados unos valores de  $t=0,55$  y  $\text{lix} = 0,05$ .

(14) El  $n.$ º de reutilizaciones se comprende mejor para los números enteros, por ejemplo, dos reutilizaciones significa que todo el retorno ha sido utilizado de nuevo otra vez. Sin embargo, una vez establecida la relación, nada impide definir matemáticamente un  $n.$ º de reutilizaciones como 1,5.

Gráfico 1



embargo, cuando trabajamos con un mayor número de reutilizaciones (2 o más), la diferencia entre la eficiencia conjunta definida aquí y la eficiencia de cuenca se hace despreciable.

Un ejemplo ilustrativo de la importancia de las mejoras en la reutilización sobre la eficiencia global de los sistemas es el embalse de El Ferial. Situado en los riegos de Bardenas y con una capacidad de 19 hm<sup>3</sup> permite que, mediante el almacenamiento de «pérdidas en cola» de riegos, éstas puedan ser reutilizadas para usos posteriores. La existencia o no de esta infraestructura de regulación en tránsito es, en este caso, esencial para mejorar la eficiencia conjunta.

#### 4. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo se han ido ya presentando las conclusiones más relevantes del mismo que pasamos a resumir a continuación.

Por una parte, hemos visto la necesidad de una contabilidad física de los recursos hídricos que distinga entre volúmenes usados y consumidos. Es frecuente leer que la agricultura consume el 80 por ciento del agua, refiriéndose al uso. Esta identificación entre consumo y uso puede llevarnos a cometer errores en las apreciaciones globales. Por

otra parte, esta distinción obliga a incluir en el análisis los importantes aspectos de la calidad de los retornos.

Por otra parte, el concepto de eficiencia conjunta planteado aquí como nexo de unión entre la eficiencia de un uso y la de cuenca, permite analizar los determinantes de una posible mejora en la relación usos efectivos necesarios en un área geográfica amplia. Sin duda los esfuerzos por una mejora de la eficiencia deben ir encaminados prioritariamente a aquellos sistemas de riego en los que los retornos no son reutilizables. Por contra, los regadíos situados en las vegas tradicionales, aunque ineficientes de forma individual presentarán ratios de eficiencia conjunta muy altos, por lo que un esfuerzo inversor en mejoras tecnológicas de riego será poco rentable. Un ejemplo muy ilustrativo de esto puede verse en Bielsa (1999) con referencia a los regadíos del Bajo Gállego en la Cuenca del Ebro.

En la medida en que la eficiencia conjunta converja al valor de la eficiencia de cuenca, puede considerarse que el aprovechamiento del agua es óptimo puesto que ésta es una cota superior de la primera.

Por otra parte, esta reutilización también es aconsejable desde el punto de vista de la calidad, tal como plantea Rhoades (1989), por cuanto impide la exportación de sales a los ríos. Por último, es importante especificar siempre el ámbito geográfico al que se refiere la información de la eficiencia para poder establecer las oportunas comparaciones.

En este trabajo esperamos haber contribuido a establecer un esquema global que sea útil para entender la información contenida en las diferentes acepciones de la eficiencia técnica de riego a las personas que, como nosotros, estudian el problema desde múltiples ámbitos no necesariamente relacionados con la ingeniería del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- BIELSA, J. (1999): «Gestión Integrada del Agua en el Territorio desde una Perspectiva Económica. Consejo de Protección de la Naturaleza». *Serie Investigación*, Vol 17. Zaragoza.
- BURT, C. M.; CLEMMENS, A. J.; Strelkoff, T. S.; SOLOMON, K. H.; BLIESNER, R. D.; HARDY, L. A.; LOWELL, T. A. y EISENHAUER, D. E. (1997): «Irrigation performance measures: efficiency and uniformity». *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123 (6): pp: 423-442.
- DECHMI, F; PLAYÁN, E. y FACI, J. M. (1999): «Estudio de los factores que determinan el uso del agua en el polígono de la loma de Quinto de Ebro». XVII Congreso Nacional de Riegos, Murcia.
- GARCÍA CANTÓN, A. y KRINNER, W. (1993): «El aprovechamiento del agua en las zonas regables españolas». *Revista de Obras Públicas*, 3. 320.

- HUERTAS, C. (1997): «La economía del agua en Andalucía», en: J. M. Naredo (eds.): *La Economía del Agua en España*.
- LOSADA, A. (1994): «Eficiencia técnica en la utilización del agua de riego». *Revista de Estudios Agrosociales*, 167: pp: 131-154.
- LOSADA, A. (1997): «Glosario sobre sistemas de regadíos». *Ingeniería del Agua*, vol. 4, nº 4: pp: 55-68.
- MATEOS, J.; FERRERES, E. y LOSADA, A. (1996): «Eficiencia del riego y modernización de regadíos». Actas del XIV Congreso Nacional de Riegos. AERYD. Aguadulce. Almería: pp: 481-488.
- MOPTMA (1993): *Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional*. Madrid.
- NAREDO, J. M. y GASCÓ, J. M. (1994): «Spanish Water Accounts». OCDE ENV/EPOC/SE/A (94) 2. Environmental Accounting for decision making. Paris.
- PLAYÁN, E. (1994): «Eficiencia en el aprovechamiento del agua por el regadío». *Revista Georgica*, vol 3. Huesca.
- PLAYÁN, E; FACI, J. M.; CAVERO, J.; FARIDA, D. y LECINA, S. (1999): «Casos de estudio: ahorro de agua en los regadíos de Aragón». Ponencia presentada en la 5ª Conferencia Internacional Nuevas Fuentes de Suministro de Agua. Valencia, 24-25 Noviembre, 1999.
- O'HEADY, E. y NICOL, K. J. (1975): «Models of agricultural water: land use and the environment». *Economic Modelling for Water Policy Evaluation*, Ed: Thrall *et al*.
- RHOADES, J. D. (1989): «Intercepting, isolating and reusing drainage waters for irrigation to conserve water and protect water quality». *Agricultural Water Management*, 16. Elsevier.
- SUMPSI, J.; BLANCO, M.; ORTEGA, C. y IGLESIAS, E. (1998): *Economía y Política de la Gestión del Agua en la Agricultura*. Mundiprensa. Madrid.
- TABUENCA, J. M. (1995): *Curso sobre uso, ahorro y calidad del agua*. Ed. DGA. Zaragoza.
- WILLARDSON, L. S. (1985): «Basin- Wide impacts of irrigation efficiency». *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111 (3).

## RESUMEN

### **La eficiencia técnica de riego: Análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones**

El objetivo de este trabajo es estudiar con detalle las diferentes aproximaciones a la eficiencia técnica de riego para plantear posibles relaciones entre ellas. El análisis de la eficiencia en los diferentes niveles considerados (parcela, sistema de riegos, cuenca, etc.), y de su interrelación permite identificar puntos en los que actuar de forma que mejore la relación entre el agua necesaria y la realmente utilizada.

Dos ideas básicas atraviesan el trabajo: la necesidad de diferenciar los conceptos de consumo físico y uso, así como la importancia del análisis del funcionamiento interno de los sistemas para resaltar el papel de la reutilización como una fuente adicional de recursos.

Puesto que la gestión del agua de riego es un campo necesariamente multidisciplinar, el trabajo pretende ser una contribución útil para abordar aspectos más amplios como la eficiencia económico-social y, en general, la economía del agua en el regadío.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia de riego, gestión de recursos hídricos, reutilización.

## SUMMARY

### **The technical efficiency of irrigation. An analysis of the linkages between and the usefulness of tis various definitions**

The aim of this paper is to carry out a detail study of the different approximations that have been made to the concept of technical efficiency of irrigation in order to identify the possible linkages between them and their usefulness in water management. The analysis of the different levels in wich efficiency is calculated (i.e. at the farm, irrigation system and river basin levels) and their interrelation, allows us to identify aspects where measures can be taken to improve the ration between the volume of water required and that actually used.

Two basic ideas underlie this study. First, the need to differentiate the concepts of physical consumption and use. Secondly, the importance of analysis the internal operation of the irrigation system in order to emphasise the role of reuse as an additional source of available water.

Given that the management of irrigation water is necessarily a multidisciplinary field, this work tries to offer a useful contribution when addressing more broad ranging questions such as economic efficiency and the economics of water.

**KEYWORDS:** Irrigation efficiency, water management, reuse.