

EVALUACIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO DE AGUA A LA AGRICULTURA. UNA APLICACIÓN A LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR¹

Almudena Gómez Ramos, Eva Iglesias Martínez y Alberto Garrido Colmenero

Resumen

Los criterios de asignación de agua destinada al regadío influyen decisivamente en la vulnerabilidad a sequías hidrológicas en la Cuenca del Guadalquivir. El Plan Hidrológico de la Cuenca define específicamente los objetivos de garantía de suministro para usos agrarios. El grado de cumplimiento de estos objetivos es tributario de los criterios de reparto del agua disponible, y por tanto de la gestión de las reservas hidrológicas. El objetivo de este trabajo es evaluar la actual regla de asignación de dotaciones agrarias, obteniendo estimaciones sobre el grado probable de cumplimiento de los objetivos de garantía presentes en la planificación de la cuenca. La metodología seguida para hacer esta evaluación integra tres modelos. El primero permite conocer la probabilidad asociada de cada determinado nivel de reservas de embalse. El segundo descubre el modelo de decisión seguido en la cuenca para definir las dotaciones de los regantes. La aplicación secuencial mediante técnicas de simulación a estos modelos permite conocer la probabilidad asociada a tener una determinada dotación y por tanto conocer el grado de cumplimiento de estos criterios. Se ha empleado un tercer modelo de programación matemática dinámica que permite evaluar las implicaciones del cumplimiento o no de la garantía de suministro sobre variables económicas relevantes de las explotaciones de regadío. Se presenta además una aplicación de este modelo para evaluar el efecto sobre la garantía de suministro de una nueva política tarifaria que siga las recomendaciones establecidas en la Directiva Marco.

Los resultados revelan que, con las actuales reglas de reparto seguidas por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, los criterios de garantía de suministro a los regantes establecidos en la planificación de la cuenca tienen una probabilidad baja de cumplimiento, lo cual es coherente con los estudios posteriores elaborados para el Plan Hidrológico Nacional. La aplicación de una tarifa que suponga la recuperación de los costes conllevaría una mejora factible del cumplimiento de estos criterios, máxime ante escenarios de cambio climático adversos.

Palabras clave: Garantía de suministro de agua, escenarios de cambio climático, criterios de reparto de agua, gestión de embalses.

INTRODUCCIÓN

La asignación de dotaciones de agua para usos agrarios es una de las decisiones más trascendentes que ha de tomar anualmente el organismo de una cuenca hidrográfica, en la que el regadío es el consumidor principal. Esta decisión no sólo debe recoger los intereses de los agricultores que aspiran a satisfacer sus demandas de agua para riego, sino que además ha de atender otras demandas que a menudo entran en conflicto con las primeras y dotar reservas de seguridad para usos de mayor

rango en el orden de prelación que esté estatutariamente establecido (Wilhite, 1993). Cuando las reservas de una cuenca entran en una fase intermedia, las decisiones tienen una influencia directa en el nivel de riesgo asumido en cuanto al volumen que estará disponible el período siguiente.

Hasta la fecha, los organismos de cuenca se han valido de criterios implícitos que les han permitido asignar anualmente dotaciones para usos agrarios. La regla implícita que ha seguido la autoridad de cuenca se obtiene a partir de la historia del siste-

1. Investigación financiada por la Unión Europea a través del Proyecto: Societal and Institutional Responses to Climate Change and Climatic Hazards: Managing Flood and Drought Risk (SIRCH). Contracción: ENV4-CT97-0447.1998-2000.

Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Artículo recibido el 14 de noviembre de 2001, recibido en forma revisada el 26 de febrero de 2002 y aceptado para su publicación el 4 de abril de 2002. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

ma, siendo el estado de reservas de los embalses en el año concreto el elemento clave en esta asignación anual de dotaciones. La fijación de criterios objetivos que pudieran resultar de un proceso de optimización dinámica estocástica se ve obstaculizada por la gran complejidad técnica e institucional que caracteriza todo un sistema de regulación general de una cuenca. No obstante, aunque estos criterios no resulten de un proceso de optimización objetivo, y sean por tanto implícitos o deducibles a partir de la historia del sistema, es posible evaluarlos de acuerdo con los objetivos que se pretende lograr con la planificación hidrológica, que sí están plasmados en un documento de naturaleza legal.

La reciente historia de los organismos de cuenca parece indicar que las decisiones de las autoridades de cuenca, durante períodos críticos de escasez, han respondido más a la presión ejercida por determinados grupos demandantes de aguas con fuerte contenido social que a la satisfacción de demandas basadas en los usos prioritarios enmarcadas en la actual Ley de Aguas (del Moral et al., 2000). La actual configuración bastante difusa de los derechos de propiedad sobre el agua explica que sean los propios usuarios los que prefieran asegurarse una dotación segura un año de incertidumbre que obtener una dotación segura en años futuros (del Moral et al., 1999; Lise et al., 2001).

La Cuenca del Guadalquivir, objeto central de este estudio, se caracteriza por sufrir frecuentes situaciones de déficit hídrico (ver Análisis de Sistemas Hidráulicos, documento del Plan Hidrológico Nacional, 2000). En este sentido es muy ilustrativo lo sucedido durante la severa sequía del 92-95 sufrida por la cuenca, en la que el abastecimiento de muchos núcleos urbanos de Andalucía se vio fuertemente afectada, llegando incluso a sufrir cortes diarios en el abastecimiento. Esta situación pone de manifiesto la paradoja de que una cuenca con una capacidad de embalse superior a los 6500 hm³ se encuentre forzada a cortar el abastecimiento de agua a una población de menos de 4 millones de habitantes que en condiciones normales consumen en alta un volumen equivalente al 4 % de esa capacidad.

Al objeto de clarificar los criterios de reparto del agua, y en virtud de lo dispuesto en el Art. 58 de la Ley de Aguas, el Plan Hidrológico del Guadalquivir (PHG en adelante) ha establecido unos criterios de garantía en los que se establecen unas dotaciones mínimas de riego con el objetivo de planificar adecuadamente los recursos, de forma que se

optimice la asignación de agua entre agricultores y se satisfagan otras demandas.

El objetivo de este trabajo es evaluar el grado probable de cumplimiento de estos criterios de garantía fijados en el Plan, en el supuesto de que las actuales pautas seguidas para fijar las dotaciones a los regantes se mantuvieran. Para ello el estudio se ha articulado en varias etapas:

En un primer apartado, se describen los criterios de garantía fijados por el Plan Hidrológico del Guadalquivir atendiendo a los conceptos de fallo y garantía que en él se definen. Estos criterios son redefinidos en el Plan Hidrológico Nacional (PHN en adelante), siendo estos menos exigentes que los anteriores. En segundo lugar, se intenta caracterizar estadísticamente las variables hidrológicas de carácter aleatorio de la cuenca, como son los aportes a los embalses, y los futuros estados del embalse, con el objeto de obtener la probabilidad asociada de alcanzar un determinado nivel de reservas en el embalse (modelo 1). En tercer lugar, se caracteriza estadísticamente el criterio de decisión que sigue la autoridad de cuenca para asignar dotaciones agrícolas, empleando la serie temporal de datos registrados sobre estados de reserva y dotaciones reales otorgadas (modelo 2). Para poder estimar los parámetros que definen esta regla se ha utilizado una comunidad de regantes concreta situada en la cola de la cuenca: Bajo Guadalquivir, sector B-XII (BG en adelante).

La combinación de los dos modelos anteriores permite obtener un modelo de simulación basado en la técnica de Montecarlo. Este modelo de simulación permite poder contrastar el grado de cumplimiento de los criterios de garantía fijados en el Plan. Es preciso apuntar que se ha seleccionado una única zona regable dependiente de la Regulación General, pero los resultados que se derivan de su aplicación son plenamente generalizables a cualquier otra Unidad de Demanda Agraria que dependa de la Regulación General.

La utilización de un tercer modelo (modelo 3) basado en la programación matemática dinámica va a permitir obtener ciertas aplicaciones de los modelos anteriores. Mediante este tercer modelo se van a poder testar los posibles efectos económicos tanto del grado de cumplimiento de los criterios, como de un nuevo sistema tarifario, basado en la recuperación de los costes de suministro de agua para riego y en la internalización del coste ambiental en línea con la Directiva Marco del Agua y la

Ley de Aguas. Otra aplicación que este trabajo introduce es la simulación de plausibles escenarios de cambio climático basados en una disminución de aportes, que permite examinar cómo con las actuales reglas de reparto los criterios de garantía van a ser ciertamente más difíciles de cumplir.

El objetivo final de este trabajo es, por tanto, clarificar la actual situación de garantía de suministro de agua a la agricultura dada la gestión de los embalses de la cuenca del Guadalquivir. Esta garantía de suministro se verá dificultada ante los nuevos escenarios que se plantean de sequía estructural provocados por el cambio climático. Sin embargo, como demostrará este trabajo, también se abre la puerta a los instrumentos de gestión de la demanda como mecanismo ciertamente válido para reducir estos déficit y mejorar el suministro, beneficiándose de esta nueva gestión no sólo la cuenca en general sino el regante en particular.

GARANTÍAS DE SUMINISTRO EN EL PHG Y PHN

El PHG refleja en su contenido la actual vulnerabilidad de la cuenca a la sequía hidrológica, como también lo hace la documentación del Proyecto de PHN. De ambos planes se deduce que el riesgo que sufre el agricultor por no poder alcanzar unos rendimientos mínimos que le permitan obtener una rentabilidad de la explotación admisible es alto. El PHG establece unas dotaciones mínimas en base a unas recomendaciones técnicas que basan la obtención de una rentabilidad admisible en la explotación en la variación de la alternativa de cultivos que se ajustan a las disponibilidades hídricas. Estas recomendaciones técnicas del Plan, permiten establecer los siguientes criterios de garantía:

1. - El déficit de un año no puede ser superior al 20-40 % de la correspondiente demanda.
2. - En dos años consecutivos, la suma del déficit no será superior al 30-60% de la demanda anual.
3. - En diez años consecutivos, la suma del déficit no será superior al 40-80% de la demanda anual.

El PHG establece una dotación media de 8.000 m³/ha para toda la cuenca del Guadalquivir, por lo que los criterios anteriores traducidos a dotaciones quedan como sigue:

1. - El déficit de un año no podrá exceder el 40% de la dotación media, es decir ésta no será inferior a 4.800 m³/ha. De esta forma la dotación aceptada de 4.800 m³/ha podrá presentarse como máximo un año de cada diez.

2. - En dos años consecutivos, el déficit acumulado sobre la dotación media no podrá exceder el 60 % de la dotación media. Es decir, la dotación media mínima en un período de dos años consecutivos no podrá ser inferior a 5.600 m³/ha.

3. - En un período de 10 años los déficit acumulados no podrán exceder el 80 % de la dotación media. Es decir, la dotación media de 10 años consecutivos ha de ser como mínimo de 7.360 m³/ha.

El PHG considera que se ha incurrido en un “fallo” en la garantía de suministro cuando se produce un incumplimiento en uno de los criterios de garantía o cuando no se alcanza un determinado umbral de suministro (75% de satisfacción de la demanda), ya que se considera que afecta de forma considerable a los rendimientos de los cultivos. La satisfacción de los criterios anteriores supone no incurrir en un “fallo”, ya que mediante mecanismos de mejora en la gestión, cambios de cultivos, y otras estrategias a su alcance, los agricultores son capaces de adaptarse al agua disponible, alcanzando unos niveles de rentabilidad admisibles. Así, según el Plan, la dotación mínima aceptada de 4.800 m³/ha al presentarse como máximo de 1 año de cada 10 asegura la cosecha de cultivos de invierno y el mantenimiento de las plantaciones frutales, de olivar y cultivos plurianuales, con lo que los niveles de renta del agricultor están garantizados. Con ello se consigue no extender los daños de la sequía a más de un año. La segunda y la tercera condición permiten asegurar las cosechas y recuperar los resultados adversos de la sequía. En la comunidad de regantes de nuestro estudio, el BG, la dotación media se aproxima a los 8.000 m³/ha, por lo que se va a mantener los valores de las dotaciones garantizadas fijadas anteriormente para toda la cuenca.

El documento de Análisis de los Sistemas Hidráulicos del Proyecto de PHN (Ministerio de Medio Ambiente, 2000) reelabora las conclusiones del PHG y revisa los criterios de garantía de los diferentes subsistemas. De un lado, se revisan las aportaciones de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el sistema SIMPA de evaluación de recursos, y de otro se actualiza el estudio de las demandas, introduciendo entre otras modificaciones datos nuevos sobre superficies regables. Al analizar el

sistema único del Guadalquivir, se emplea el criterio de garantía del PHN cifrado en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [50, 75, 100] para demandas de riego. Es decir, el sistema se considera adecuadamente servido si el déficit máximo en un año es inferior al 50 % de la dotación media, en dos años consecutivos el déficit máximo acumulado es el 75 % y en 10 años consecutivos este déficit máximo es el 100 %. Paradójicamente, el cómputo de demandas realizado para simular la secuencia hidrológica 1940-96, que ha permitido evaluar los volúmenes de socorro y tomas de emergencia que habrían de subsanar los déficit hidrológicos que resultarían de los períodos de sequía, así como el establecimiento de los criterios de garantía, sigue descansando en la concepción de una dotación rígida y carente de todo sentido económico.

MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

La Cuenca del Guadalquivir es gestionada desde la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en tres niveles diferentes. El primer nivel lo constituye el sistema de Regulación General (RG en adelante), cuyo objetivo es regar unas 200.000 ha además de servir de regulación para controlar los caudales y avenidas en la cuenca, generar energía hidroeléctrica y controlar la calidad del agua. La RG está constituida por un sistema de ocho embalses cuya gestión se encuentra centralizada en la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir sin perjuicio de que en períodos de sequía o situaciones críticas entren otros embalses de la cuenca a formar parte de la RG. En situaciones normales la capacidad de almacenamiento de la RG es de 4.700 Hm³ (Garrido et al., 2000b). El segundo nivel lo constituyen embalses destinados únicamente al abastecimiento urbano por lo que son gestionados de forma independiente de la RG. Este es el caso de la cadena de embalses situados a lo largo del río Rivera del Huelva que tienen como único fin el abastecimiento de la ciudad de Sevilla. El tercer nivel lo constituyen los embalses que se destinan exclusivamente al riego de una comunidad de regantes y por tanto son gestionados por los propios regantes. En situaciones coyunturales de fuerte déficit hídrico estos embalses pueden entrar a formar parte de la RG.

Este estudio se centra en la gestión de los embalses pertenecientes al primer nivel, siendo éste un claro ejemplo de gestión centralizada en la autoridad de cuenca. En este caso la gestión se convierte en una labor compleja y controvertida en deter-

minados momentos ya que compiten por el agua distintos usuarios, con distintas prelaciones de uso.

Modelo de simulación (Modelo 1)

El propósito de este modelo es lograr la caracterización de la función de distribución que siguen los distintos niveles de reserva del embalse al objeto de evaluar el nivel probable de cumplimiento de los criterios de garantía establecidos en el PHG, mediante la obtención de la probabilidad asociada a obtener una determinada dotación. La metodología seguida se basa en la simulación estadística mediante el uso del método de Montecarlo, integrando los siguientes submodelos.

Submodelo estocástico de estado del embalse

Los aportes de agua en el embalse y la gestión que se realice del agua almacenada en él, es decir las decisiones tomadas sobre los desembalses a realizar, definen los estados de reserva del embalse en un momento determinado. Mientras que los desembalses dependen directamente de las decisiones de los organismos de cuenca, los aportes de agua en el embalse son una variable totalmente aleatoria. Por ello, el objetivo de este primer modelo es tratar de ajustar los aportes aleatorios a una función de distribución, de forma que ello permita caracterizar los estados del embalse como una función estocástica, que dependa de los aportes aleatorios recibidos y de los desembalses realizados como resultado de la decisión tomada por las autoridades de cuenca.

Para poder ajustar los aportes a una función de distribución se ha tomado una serie histórica de aportes recibidos por los embalses de la cuenca. Con objeto de caracterizar estadísticamente los aportes anuales recibidos por los embalses de la regulación general ha sido necesario introducir una simplificación, que supone haber considerado que la suma de los ocho embalses constituyentes del sistema de RG forma un embalse virtual. Como a lo largo de los años la introducción de embalses en la RG se ha producido de forma gradual, se ha ponderado cada embalse con un coeficiente que representa la proporción de su capacidad individual sobre el total de la capacidad de la RG en el año correspondiente (α_i). Así los aportes totales anuales ($\hat{A}_t$) se obtienen como la suma ponderada de los aportes individuales de cada uno de los embalses. Esta simplificación nos permite obtener la variable aleatoria

de los aportes relativos como un porcentaje sobre el total de la capacidad de almacenamiento de la RG.

$$\begin{aligned}\tilde{A}_t &= \sum_i \alpha_{ti} \times \tilde{A}_{ti} \\ \sum_i \alpha_{ti} &= 1, \forall t\end{aligned}\quad (1)$$

En la figura 1 se representa el histograma de los aportes, medidos en términos porcentuales sobre la capacidad total de los embalses que constituyen la regulación general, obtenidos de la forma antes descrita.

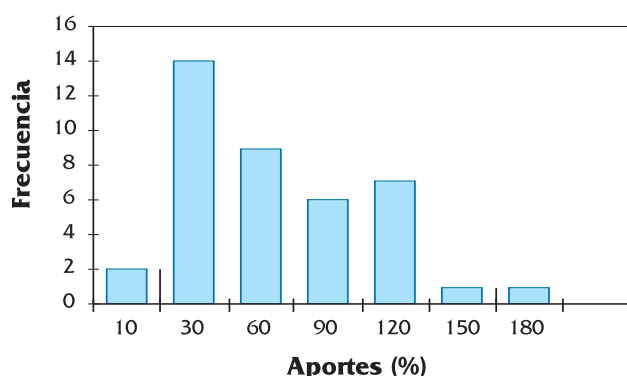


Figura 1: Histograma de frecuencia de los aportes porcentuales de los embalses que constituyen la RG (serie de 37 años 1961-1998).

Esta serie de aportes puede ser ajustada a una función de distribución que nos va a permitir generar de forma aleatoria valores de aportes. La tabla 1 recoge los estadísticos de la función gamma que es la que arrojó un mejor ajuste con la serie de aportes utilizados.

Tabla 1: Caracterización estadística de los aportes.

Parámetros	N=37 (1961-1998)
Gamma: forma	1.836
Gamma: escala	0.0370
P-value	0.311

Significativos en el 99 % del intervalo de confianza.

A partir de esta función de distribución así obtenida se procede a la generación de aportes aleatorios. Mediante la introducción de los parámetros de la función de distribución gamma, forma y escala, expuestos en la tabla 1, en el generador de números aleatorios se han obtenido 200 valores aleatorios de aportes.

Submodelo generador de niveles de reserva

A continuación estos valores obtenidos son introducidos en la ecuación [2] con el fin de gene-

rar distintos niveles de reserva para unos aportes dados. El modelo utilizado para generar los distintos niveles de reserva a partir de los aportes aleatorios está basado en la ecuación de balance del sistema de Regulación General. Es decir, es una expresión matemática que relaciona el estado de reservas del embalse en un período determinado con otras variables de entradas de agua en el embalse (aportes) y salidas de agua (desembalses), así como con el estado de reservas del embalse en el período anterior.

Para obtener la forma funcional que mejor explica la generación de niveles de reservas a partir de otras variables hidrológicas se ha recurrido a la estimación de otra regresión multivariante. La especificación que mejor explica la variación del nivel de reserva del embalse (S_t) en función del nivel de reserva del año anterior (S_{t-1}), medido el primer día de Febrero, fecha de inicio de la campaña de riego, es la siguiente:

$$S_t = a_1 S_{t-1} + a_2 S_{pt} + a_3 A_t + a_4 D_{1967} \quad (2)$$

Así vemos que los estados de reserva del embalse en un año (S_t) dependen del estado de reserva del año anterior (S_{t-1}). El coeficiente a_1 está recogiendo no sólo el efecto del nivel del embalse del año anterior, sino también los desembalses realizados en ese período (ver tabla 3). S_{pt} representa los aliviados, es decir los desembalses de emergencia que suceden cuando los aportes no pueden ser recogidos por el embalse debido a la superación de los niveles de seguridad de los embalses. Así S_{pt} tomará valor positivo cuando $S_{t-1} + A_t > 90$. Se considera 90 el porcentaje máximo de llenado del embalse, ya que se ha considerado un 10 % de resguardo de seguridad. A_t son los aportes aleatorios generados como se ha descrito anteriormente. D_{1967} es una variable dicotómica que toma el valor 1 en el año 1967 y 0 en resto. Mediante esta variable se pretende eliminar los efectos producidos por este año anómalo en la especificación de la función. Todos los datos están referidos a la Regulación General de la cuenca y están medidos en referencia a la capacidad de almacenamiento útil instalada en cada año considerado.

Para obtener los niveles de reserva se han utilizado valores hidrológicos de 40 años de los embalses que constituyen la RG, obtenidos mediante la suma ponderada tal y como aparece descrita en la ecuación [1] para los aportes. En la tabla 2 aparecen especificados los coeficientes y el análisis estadístico de la regresión. Todos los coeficientes son signi-

Tabla 2: estimación de los coeficientes y propiedades estadísticas del modelo. (S_t variable dependiente, de acuerdo a la especificación [2])

Coeficiente	Definición	Valor del coeficiente (1961-98; n=37)
$a_1 S_{t-1}$	Estado del embalse al inicio de la campaña del período anterior t-1	0.59 (11.74)
$a_2 S_{pt}$	Aliviado ocurridos durante la campaña del período t	-0.12 (-2.26)
$a_3 A_t$	Aportes ocurridos durante el período t.	0.50 (7.91)
$a_4 D_{1967}$	Dummy del año anómalo 19671. $D_{1967}=1$ si $t=1967$; sino $D_{1967} = 0$	-25.58 (-2.26)
	R^2 - ajustado	0.86
	F-stat	70.40
	N	40
	Durbin-Watson estadístico:	1.51

1 La anomalía de este año se debe a que entra en funcionamiento un nuevo embalse en la cuenca: el Iznajar con una capacidad de 900 Hm³.

ficativos al 99% de intervalo de confianza. Los niveles de reserva son explicados en el 86 % de los casos por las variables especificadas.

Mediante el método de simulación introducimos los 200 aportes generados aleatoriamente en la ecuación [2]. De esta manera se han generado aleatoriamente 200 niveles de reserva. En la figura 2 aparecen representados mediante un histograma los valores de los niveles de reserva generados.

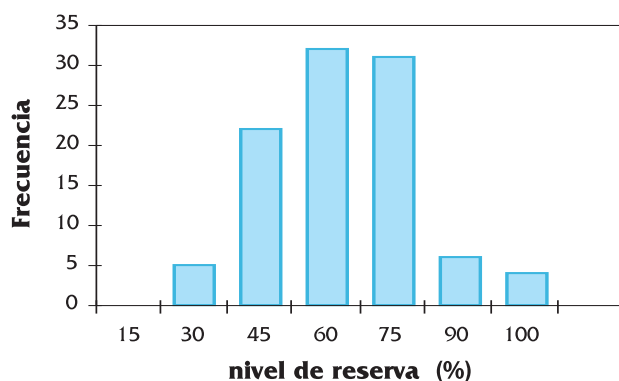


Figura 2. Histograma de frecuencias de los niveles de reservas generados en RG.

La función de distribución que mejor caracteriza los niveles de reserva generados es una Weibull, cuyos parámetros que la definen se presentan en la tabla 3:

Esta función de distribución obtenida mediante un proceso de simulación nos permitirá conocer la probabilidad de alcanzar un determinado nivel de reserva en la RG.

Tabla 3: Caracterización estadística del estado de reservas

Parámetros	N=200
Weibull: forma	3.764
Weibull: escala	63.70
P-value	0.384

Significativos en el 99 % del intervalo de confianza.

Modelo de contrastación (modelo 2)

El modelo de contrastación indicará la probabilidad de cumplimiento de los criterios de garantía fijados en el PHG. Es necesario conocer por tanto, la relación funcional que existe entre el nivel de reservas del embalse en un momento dado y la dotación asignada correspondiente a ese nivel de reservas. Para ello se han utilizado los datos históricos de estados del embalse y dotaciones de la comunidad de regantes situada en la cola de la cuenca que es abastecida a partir de los desembalses provenientes de la Regulación General. La comunidad de regantes seleccionada es el Bajo Guadalquivir (sector B-XII) con una superficie regable de 14.100 ha y unas necesidades hídricas mínimas aproximadas de 6.500 m³/ha. Se reitera el hecho de que la comunidad de regantes seleccionada es, desde la perspectiva del proceso de fijación de sus dotaciones, representativa de decenas de otras comunidades de regantes que dependen de la RG de la Cuenca del Guadalquivir, totalizando una superficie de 200.000 ha.

Para caracterizar mediante un modelo la regla de asignación de la dotación al BG se ha utilizado una serie histórica de 21 años de dotaciones y de estados del embalse en la RG. Los estados de nive-

EVALUACIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO DE AGUA A LA AGRICULTURA. UNA APLICACIÓN A LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

les de reserva en el embalse virtual que representa la Regulación General se han obtenido de forma paralela al seguido para obtener la ecuación (1). El modelo de regresión multivariable nos va a permitir caracterizar mediante una ecuación el criterio de asignación de la dotación a la comunidad de regantes objeto de este análisis.

Para ello se ha tomado como variable explicativa de la dotación asignada a la comunidad de regantes (W_t), el estado del embalse el primer día de febrero (S_t)- justo antes de empezar la campaña de riegos, o en su defecto la fecha en la que el Organismo de Cuenca puede hacer un anuncio bastante fiable de la dotación de que dispondrán los regantes-.

Partiendo de la siguiente hipótesis:

$$W_t = f(S_t) \quad (3)$$

Con $f' > 0$; $W_t = 0$ para $S_t \leq S^{min}$ y $W_t = W^R$ para $S_t \geq S^{max}$

Donde S^{min} es el nivel de reserva mínimo por debajo del cual los usos no consuntivos no pueden ser suministrados. W^R es la máxima dotación asignada y S^{max} es el nivel de reserva por encima del cual la dotación no aumenta. A priori, no se postula signo de la segunda derivada de la función $f(S_t)$ por pensarse que este pueda cambiar de acuerdo con distintos valores de S_t .

En la tabla 4 aparecen recogidos los valores de los coeficientes de las variables explicativas de la dotación así como los estadísticos de los estimadores de estas variables. La función estimada expli-

ca el 95 % de la variación de la dotación y todos los coeficientes son significativos con un 99% de intervalo de confianza. La figura 3 muestra las líneas de evolución de las dotaciones reales y las estimadas, junto a la evolución del valor de reservas medido el 1 de febrero de las 21 campañas de riego, desde 1977 a 1998.

Los dos modelos obtenidos en los apartados anteriores proporcionan la base para poder contrastar el grado de cumplimiento de los criterios de garantía, descritos anteriormente.

El modelo 1 permite mediante un ejercicio de simulación obtener la probabilidad de alcanzar un

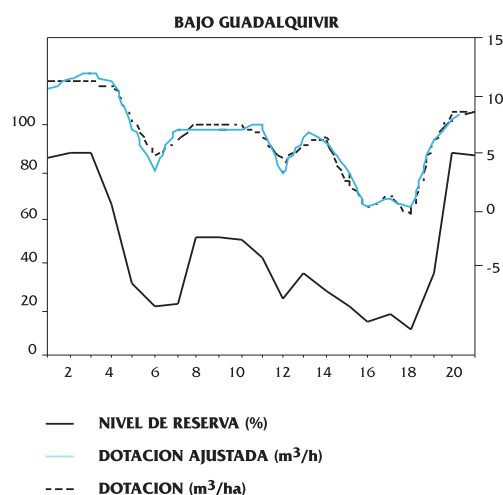


Figura 3. Dotaciones reales y estimadas mediante el modelo de regresión multivariable (ver resultados estadísticos en cuadro 2)

Tabla 4. Resultados de la regresión de la relación funcional entre la dotación y el nivel de reserva de los embalses.

$[W_t = aS_t + b(S_t)^2 + cD_t^{st} + d(S_t D_t^{DS}) + e(S_t^2 D_t^{DR})]$ (t-ratios en paréntesis)

Coefficiente	Definición	Valor del coeficiente (1977-98; n=21)
a (S_t)	Estado de las reservas medido mediante el porcentaje sobre capacidad el 1 de febrero de cada año	216 (14.84)
b (S_t) ²	Idem	-1.35 (-7.23)
c (Dummy estructural) ¹	BG: $D_t^{st} = 0$ para $t > 6$; si no $D_t^{st} = 1$	2627 (6.06)
d (Dummy sequía x S_t)	BG: Du Dummy sequía $D_t^{DS} = 1$, $S_t \leq 25\%$, $D_t^{DR} = 0$ $S_t > 25\%$	-443 (-4.15)
e (Dummy sequía x (S_t) ²)	Idem	17.5 (3.41)
	R ² ajustado	0.95
	F-Stat	82.26
	Durbin-Watson	1.91

¹ La variable dummy estructural se añadió considerando el hecho de que a partir de 1983, las dotaciones fueron sistemáticamente más reducidas. Fuente: Iglesias et al., 2000. Significativos en el 99 % del intervalo de confianza.

determinado nivel de reservas en el embalse. Para ello, como ya se ha visto, se ha utilizado únicamente una serie de aportes generados aleatoriamente mediante la cual se ha obtenido una función de distribución que caracteriza a los posibles estados del embalse virtual que representa la RG.

El modelo 2 va a permitir conocer cuál es la probabilidad de obtener una determinada dotación, ya que el segundo modelo establece una relación unívoca entre el nivel de reserva a principio de la campaña de riegos y la correspondiente dotación a asignar para dicha campaña. La figura 4 recoge la secuencia del proceso de simulación seguido para contrastar los criterios de garantía establecidos.

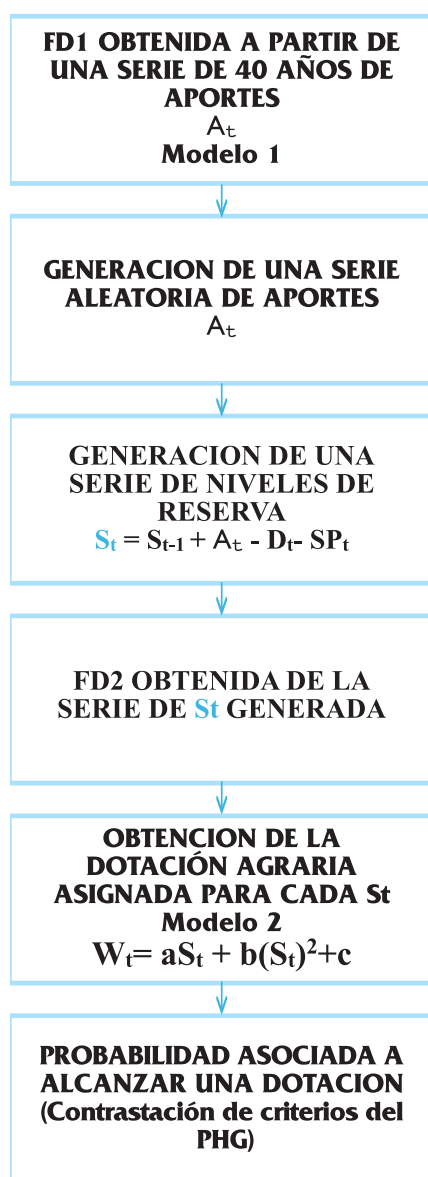


Figura 4: Secuencias del proceso de simulación.

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE GARANTÍA

Evaluación del primer criterio de garantía

El primer criterio establece, como ya se vio en el apartado 2, que la dotación asignada nunca podrá ser inferior a 4.800 m³/ha y en caso de producirse este mínimo, podrá presentar como máximo una ocurrencia de un año de cada diez. Según el modelo 2 que nos permite conocer la dotación asociada a un determinado nivel de reserva, podemos afirmar que con las actuales reglas de reparto en el BG, una dotación de 4.800 m³/ha se corresponde con un nivel de reserva mínimo del 27 %. Este nivel de reserva, según la función de distribución obtenida en el modelo 1, presenta una probabilidad de ocurrencia del 0.038, esto es,

$$P(\text{nivel de reserva} \leq 27\%) = 3.8\%$$

El primer criterio establece que una dotación inferior a 4.800 m³/ha ha de suceder un máximo de uno cada diez años, apareciendo en este caso un máximo de casi 4 años de cada cien. A primera vista, la actual regla de asignación de dotaciones satisface este primer criterio.

Sin embargo, cabría una pequeña consideración antes de valorar positivamente este resultado. La serie histórica de aportes utilizada para generar la serie de aportes aleatorios se basa en una serie de 40 años. Si se observa la evolución temporal de estos, se aprecia que presentan una tendencia decreciente especialmente patente en los últimos veinte años. Esta tendencia, posiblemente pueda ser explicada por efecto del cambio climático. El considerar una serie más corta está plenamente fundamentado en estudios hidrológicos (Gallart y Llorens, 2001).

En cualquier caso, la serie de 20 años presenta una función de distribución con un coeficiente de asimetría (1,32) mayor que la de 40 años (0,98) (ver tabla 5). Esto significa que la masa de probabilidades de la serie corta se encuentra localizada en la parte izquierda de la función, por lo que los niveles de reserva generados a través de la simulación encuentran una mayor probabilidad de aparición a favor de los más altos en la serie completa de 40 años, frente a la de 20 años.

Contrastando los resultados obtenidos con la función generada a partir de la serie real de los últimos 20 años, se verifica que no se satisface este pri-

EVALUACIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO DE AGUA A LA AGRICULTURA. UNA APLICACIÓN A LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

Tabla 5. Contraste entre los estadísticos descriptivos de las series de aportes 20 y 40 años.

Serie de 40 años		Serie de 20 años	
Media	51.84	Media	37.09
Mediana	37.37	Mediana	27.90
Desviación estándar	38.71	Desviación estándar	28.16
Varianza de la muestra	1498.62	Varianza de la muestra	793.11
Curtosis	0.14	Curtosis	0.73
Coefficiente de asimetría	0.98	Coefficiente de asimetría	1.32
Mínimo	7.06	Mínimo	7.06
Máximo	160.54	Máximo	99.96

mer criterio garantía definido en el PHG. Esto es debido a la evolución descendente de los aportes en los últimos 20 años que generan unos niveles de reserva con una media inferior a los obtenidos mediante la simulación de nuestro modelo. Así, la probabilidad de alcanzar un nivel de estado del embalse menor del 27 % es en este segundo caso (con la nueva función de distribución) del 15 %, lo cual incumple el primer criterio de garantía. Esto es,

Evaluación del segundo criterio

El segundo criterio establece que en dos años consecutivos la dotación media no debe ser inferior a 5.600 m³/ha. Para contrastar este segundo criterio se ha utilizado una serie de niveles de reserva de 100 años generada según el modelo 1 y se han obtenido las dotaciones correspondientes a esos niveles de reserva. Se construye así una serie de estados de reserva del embalse a partir de la media entre dos años consecutivos. De esta forma el primer elemento de la serie lo constituirá la media entre el primero y el segundo de la serie, el segundo elemento lo constituirá la media entre el segundo y el tercero y así sucesivamente.

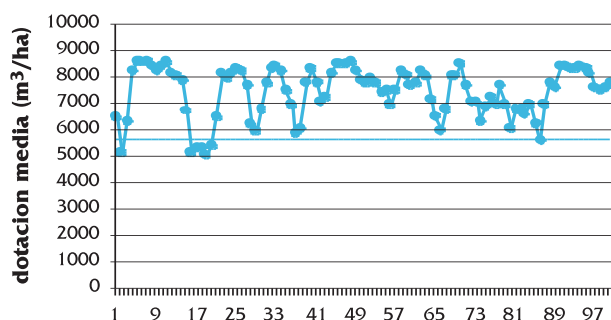


Figura 5. Dotaciones medias de serie de dos años consecutivos obtenidas a partir de los niveles de reserva generados

En la figura 5 se presentan los resultados de esta simulación. De una serie de 100 dotaciones medias correspondientes a dos años consecutivos,

7 incumplen el segundo criterio de garantía, ya que su dotación es inferior a 5.600 m³/ha. Así podemos afirmar en este caso que manteniendo constante el criterio de fijación de las dotaciones seguido hasta la fecha tampoco se cumple el segundo criterio de garantía fijado por el PHG.

Evaluación del tercer criterio

El tercer criterio fijado en el PHG establece que en diez años consecutivos la dotación media no puede ser inferior a 7.360 m³/ha. Al igual que en el caso anterior se ha utilizado la serie de niveles de reservas generados a partir de la simulación de los aportes. De igual manera, con las dotaciones correspondientes a estos niveles de reserva generados, se ha calculado de forma solapada la dotación media de 10 años consecutivos. Es decir, la dotación media de la 1ª a la 10ª de la serie. A continuación la dotación media de los niveles de reserva 2ª al 11ª y así sucesivamente, hasta conseguir 91 series de 10 años consecutivos. En la figura 6 se representan la serie de dotaciones medias obtenidas para 10 años consecutivos a partir de la serie de niveles de reserva generada. Como puede apreciarse de 91 series de 10 años sólo 54 tienen una dotación media superior a 7.360 m³/ha. Por lo que sólo se cumple el tercer criterio en el 60 % de los casos.

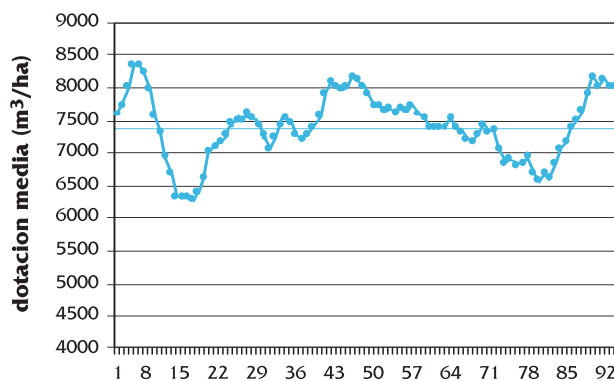


Figura 6. Dotaciones media de series de 10 años consecutivos obtenidos a partir de la serie de los niveles de reserva generados.

IMPlicACIONES DE UN NUEVO SISTEMA TARIFARIO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE GARANTÍA DE SUMINISTRO

Por lo visto hasta ahora en este trabajo, el actual sistema de gestión de los embalses de la cuenca del Guadalquivir parece gozar de una escasa fiabilidad en lo que se refiere al cumplimiento de la garantía de suministro para usos agrarios en base a los criterios fijados en el PHG. En este punto se propone un mecanismo alternativo a los tradicionalmente utilizados para mejorar la garantía de suministro basados en el aumento de la oferta. En este caso se va a simular instrumentos propios de la gestión de la demanda de agua, tal como es la introducción de un nuevo sistema tarifario en la comunidad de regantes de estudio, para analizar qué implicaciones tendrá en el cumplimiento de los criterios de garantía. El objetivo será, por tanto, conocer qué implicaciones va a tener en la asignación inter-temporal del agua de riego la aplicación de un coste añadido de suministro del agua de riego al agricultor, integrando así en el análisis el efecto precio sobre la demanda de agua de los agricultores.

La nueva tarifa de agua que se ha considerado en este trabajo tiene en cuenta los artículos 105 y 106 de la Ley de Aguas de 1985 en lo que se refiere al canon de regulación y a la tarifa de utilización del agua y los principios establecidos en la Directiva Marco del Agua, especialmente en lo que se refiere a la recuperación de otros tipos de costes. Respecto a la primera se ha considerado como coste del agua el consumo realmente facturado y no solamente el cobrado, que es como actualmente se practica para el agua de riego. Dado que actualmente se cobra únicamente el 65 % del agua facturada (MIMAM, 1999), el coste final que habría que pagar el regante por el agua consumida es de 0,04 Euros/m³ frente a los 0,027 Euros/m³ que es lo que realmente se paga actualmente en la comunidad de regantes del BG. Respecto al segundo aspecto considerado y referido a la Directiva Marco del Agua, habría que considerar otros costes aparte de los directamente ligados al suministro de agua para riego o y los costes financieros. Así, habría que considerar los costes ambientales y los costes del recurso derivados del coste de oportunidad del agua empleada. Referente a los costes ambientales se consideran los efectos derivados de una mayor turbidez provocados por el vertido de sedimentos procedentes del agua de riego. Estos han sido estimados por Dearmont et al (1998) en 0,03 Euros/m³, considerando unas condiciones físicas muy semejantes a los de la cuenca del Guadalquivir. Este coste no incluye los costes de

potabilización del agua, dado que la comunidad de regantes de este estudio se encuentra situada en la cola de la cuenca. Respecto al coste del recurso, los autores no tienen conocimiento de ningún estudio que haya estimado el valor de este, por lo que no han podido ser considerados en este cálculo de costes. Por tanto, considerando el total de costes aquí señalados, el precio del agua que se incluirá en esta simulación es de 0,07 Euros/m³. En consecuencia, podríamos concluir que esta cifra constituye un valor conservador de la tarifa final del agua que resulte de la aplicación estricta de la Ley 46/1999 y más bien laxa de la Directiva Marco del Agua.

Conocer los efectos que un nuevo sistema tarifario tiene en la gestión del agua de la cuenca exige conocer la función de demanda de agua de la C.R., es decir, cuál es el consumo máximo que está dispuesto a hacer la C.R. para un determinado coste de ese agua. Para ello hemos de introducir un modelo de programación matemática dinámico y recursivo (modelo 3) aplicado a dos explotaciones tipo de la comunidad de regantes BG (ver Iglesias et al., 2000; Garrido et al. 2000). Este modelo permite, mediante la simulación de un amplio rango de dotaciones, conocer el precio sombra del agua para cada nivel de agua disponible. Es decir, la disposición al pago del agricultor por contar con un m³ más de agua, o de otro modo el consumo máximo que está dispuesto a realizar para un determinado precio del agua. Agregando los datos de la explotaciones tipo simuladas obtendremos la función de demanda agregada para toda la C.R.

Para la calibración agro-económica del modelo se han cotejado los estadillos anuales de la comunidad de regantes (campañas 1990-98), realizando entrevistas a agricultores y expertos (ver Sumpsi et al. 1998), y se ha utilizado el trabajo de campo realizado por los autores del presente trabajo. Las demandas de agua obtenidas no difieren significativamente de las obtenidas por Gómez-Limón y Berbel (2000) y Federación Nacional de Comunidades de Regantes (1999).

En la tabla 6 se recogen los resultados obtenidos mediante el modelo 3 de forma que para cada nivel de reservas del embalse y por tanto de dotación obtenemos un margen bruto y un precio sombra para el agua. La relación obtenida entre el precio sombra y la dotación nos está dando la función de demanda de agua de la C.R. Así, si aplicamos el actual sistema tarifario que supone un coste del agua de 0,027 Euros/ha el consumo máximo que el agricultor estará dispuesto a hacer es de 8.610

EVALUACIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO DE AGUA A LA AGRICULTURA. UNA APLICACIÓN A LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

m³/ha que es la dotación máxima de suministro a la C.R. Si el coste del agua se elevara a 0,07 Euros/ha el consumo máximo disminuiría hasta 7.720 m³/ha (disminuye en el 11% la dotación máxima suministrada). Esta disminución del consumo máximo de los regantes del BG tendría como consecuencia un nuevo criterio de asignación de agua para toda la cuenca ya que la dotación máxima suministrada habría disminuido. Es decir, sería factible extrapolar estos resultados de disminución de consumo a toda la cuenca abastecida con la RG, ya que según la tabla 3, este consumo se produce a partir de un nivel del embalse virtual de la cuenca superior al 54 %. En este nivel de reserva, el principal destino de los desembalses realizados es el regadío, por lo que una disminución del 11% de la dotación asignada puede considerarse como una disminución de la misma cuantía de los desembalses totales². Esta reducción de los desembalses totales supone una alteración apreciable en la dinámica de los embalses de la cuenca, de forma que a partir del modelo 1 antes descrito podremos generar una nueva serie de niveles de reserva que se ajustará a una función de distribución diferente (ver tabla 7).

Siguiendo el modelo de simulación representado en la figura 4, a partir de esta nueva serie generada se puede generar una nueva serie de dotaciones de la que se podrá conocer su probabilidad asociada. Esta nos va a permitir volver a testar el cumplimiento de los criterios de garantía establecidos en el PHG bajo este nuevo escenario de sistema tarifario.

Los resultados de la tabla 6 ponen de manifiesto una clara mejoría de las probabilidades de cumplimiento de los criterios establecidos en el Plan mediante la aplicación del sistema tarifario propuesto. Esto induce a pensar que un sistema basado en la gestión de la demanda del agua mejora la gestión inter-temporal de la cuenca favoreciendo un reparto más eficiente en el tiempo. No obstante, el claro incumplimiento en cualquiera de las dos situaciones simuladas del tercer criterio hace pensar en la validez real de la dotaciones garantizadas calculadas en el PHG.

La tabla 8 resume los resultados obtenidos en la simulación hecha bajo el sistema tarifario actual y el propuesto en este estudio.

Tabla 6. Valor de Margen Bruto y valor dual del agua para cada nivel de dotación en BG

Nivel de reserva(%)	Dotación (000m ³ /ha)	Margen bruto (Euros/ha)	Valor dual (Euros/m ³)
14	0	691.18	0.30
16	0.1	1078.08	0.16
18	1.16	1761.66	0.15
20	1.93	1855.77	0.14
22	2.84	1957.07	0.13
24	3.87	2061.59	0.12
26	4.70	2137.37	0.11
28	4.99	2161.49	0.11
30	5.27	2183.82	0.10
32	5.53	2204.48	0.10
34	5.78	2223.54	0.10
36	6.03	2241.11	0.09
38	6.26	2257.28	0.09
40	6.48	2272.13	0.09
42	6.69	2285.74	0.09
44	6.89	2298.19	0.08
46	7.07	2309.55	0.08
48	7.25	2319.89	0.08
50	7.42	2329.27	0.08
52	7.57	2337.76	0.08
54	7.72	2345.42	0.07
56	7.85	2352.29	0.07
58	7.98	2358.42	0.07
60	8.09	2363.86	0.07
62	8.19	2368.66	0.07
64	8.28	2372.84	0.07
66	8.36	2376.44	0.07
68	8.43	2379.50	0.07
70	8.48	2382.03	0.07
72	8.53	2384.05	0.06
74	8.57	2385.59	0.06
76	8.59	2386.66	0.06
78	8.61	2387.26	0.06
80	8.61	2387.40	0.06
96	8.61	2387.40	0.06
98	8.61	2387.40	0.06
100	8.61	2387.40	0.06

Tabla 7: Caracterización estadística de la nueva serie de estados de reserva

Parámetros	N=200
Weibull: forma	3.44
Weibull: escala	69.42
P-value	0.018

Significativos en el 99 % del intervalo de confianza.

2 Para un nivel de reservas del 54 % el resto de los usos, como es el abastecimiento a poblaciones, tiene su propio sistema de abastecimiento independiente de la Regulación General.

Tabla 8: Probabilidad de incumplimiento de los criterios de garantía propuestos por el PHG considerando el sistema tarifario actual y bajo un nuevo sistema tarifario.

	1er criterio de garantía	2ª criterio de garantía	3er criterio de garantía
Sistema tarifario actual	0% ¹	7 %	46 %
Sistema tarifario basado en la recuperación total de costes	0% ¹	0 %	13 %

¹ Se ha considerado para el ejercicio de simulación la serie larga de 40 años.

IMPlicACIONES ECONÓMICAS EN EL BAJO GUADALQUIVIR DEL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS CRITERIOS DE GARANTÍA

En este apartado se pretende evaluar los efectos económicos en la zona de estudio que provoca el incumplimiento de los criterios de garantía. El modelo 3 ya introducido permite conocer la relación unívoca que existe entre los niveles de reserva y el margen bruto (ver tabla 7). En la figura 7 se representa la correspondencia entre el nivel de reserva del embalse y el margen bruto medio obtenido para una agregación de dos explotaciones del BG, a partir del modelo de programación dinámica. En dicha figura también se representa la ecuación matemática que mejor ajusta esta relación.

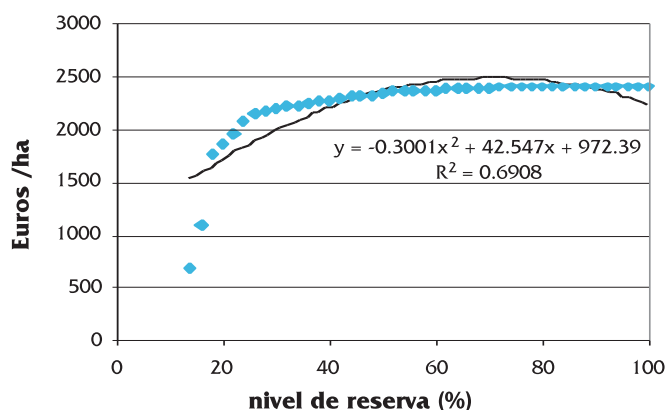


Figura 7. Relación entre Margen Bruto (Euros/ha) nivel de reserva (%) de la RG.

A partir de la ecuación que relaciona el margen bruto con el nivel de reserva de los embalses podemos realizar una nueva simulación de Montecarlo. Así, introduciendo los niveles de reservas obtenidos a partir de los aportes generados en el modelo 1 descrito anteriormente, se ha obtenido una serie de 200 valores de margen bruto. La descripción estadística de esta serie aparece en la tabla 9.

La tabla 9, muestra los estadísticos que caracterizan a la serie generada de la variable margen

Tabla 9. Estadística descriptiva de la serie de Margen Bruto medio en la Zona Regable BG (con el sistema tarifario actual)

Margen Bruto (Euros/ha)	
Media	2.318
Error típico	10.42
Mediana	2.373
Moda	2.352
Desviación estándar	148
Varianza	22164
Curtosis	39.79
Coefficiente de asimetría	-4.79
Mínimo	901
Máximo	2.422

bruto. Cabe mencionar que se trata de una función de distribución con una fuerte asimetría hacia la derecha (coeficiente de asimetría -4.79) y con un gran grado de apuntamiento (coeficiente de curtosis 39.79), ya que los valores de margen bruto generados están muy concentrados en pocos valores. Sin embargo esta función tiene una dispersión típica alta, ya que existen pocos valores con márgenes brutos inferiores a la media pero estos son muy distantes (valor mínimo de 901 Euro/ha).

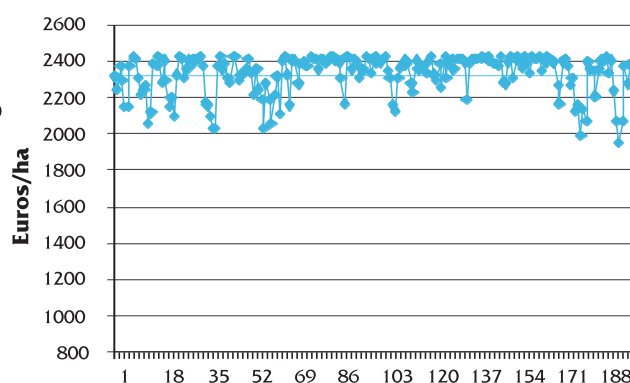


Figura 8: Valores de Margen Bruto (Euros/ha) obtenidos a partir de la simulación realizada con el modelo 3.

La figura 8 muestra la desviación de los valores generados en la serie de 200 simulaciones respecto a la media. De esta se deduce que el 38% de los casos presentan valores por debajo de la media,

EVALUACIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO DE AGUA A LA AGRICULTURA. UNA APLICACIÓN A LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

presentando el 2 % un valor de margen bruto inferior a 1.303 Euro/ha.

Paralelamente al análisis realizado en el epígrafe anterior, el modelo de simulación permite simular también los efectos económicos producidos sobre la C.R. de estudio si se considera la función de distribución de los niveles de reservas obtenida a partir de la aplicación un nuevo sistema tarifario como el anteriormente propuesto.

Los resultados que se desprenden de la tabla 10 en relación con los obtenidos en la tabla 8 nos sitúan en una función de distribución con una asimetría hacia la derecha menor (coeficiente de asimetría de -2,80) y un apuntamiento mucho menor (Curtosis 9,56). La media de esta función de distribución es inferior respecto a la serie anterior. El coeficiente de variación como medida de la dispersión relativa es el parámetro que mejor representa la comparativa de estas dos funciones: toma un valor del 6% en el primer caso y 2,7% en el segundo. Esto significa que con el nuevo sistema tarifario se consigue reducir un 55 % el coeficiente de variación sin afectar prácticamente el margen bruto medio (descenso del 0,25 %). La interpretación económica que se puede hacer de estos resultados es que con un sistema tarifario basado en la recuperación de los costes, la probabilidad de alcanzar el margen bruto medio es mayor y muy pequeña la probabilidad de alcanzar valores bajos de rentabilidad. Con el sistema tarifario actual, aunque la rentabilidad media por hectárea es ligeramente superior, existe también una mayor probabilidad de obtener valores bajos de rentabilidad. Por tanto el riesgo de incurrir en niveles mínimos de rentabilidad es mucho mayor.

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

La metodología seguida en este trabajo también permite ampliar el ejercicio de simulación a una serie de escenarios de cambio climático. Las

Tabla 10. Estadística descriptiva de la serie de Margen Bruto medio obtenido con un nuevo sistema tarifario en la Zona Regable BG (Sector B-XII)

Margen Bruto (Euros/ha)	
Media	2.312
Error típico	4.49
Mediana	2.344
Moda	2.344
Desviación estándar	63.61
Varianza	4047
Curtosis	9.56
Coeficiente de asimetría	-2.80
Mínimo	1917
Máximo	2.344

proyecciones más favorables para el Bajo Guadalquivir indican una disminución de los aportes entre el 10 y 20 % (MIMAM, 1998). Estos valores facilitan la simulación de una serie de nuevos escenarios hidrológicos y por tanto, obtener nuevas funciones de distribución, causantes de nuevas series de niveles de reserva del embalse virtual que representa la cuenca. Estos nuevos valores obtenidos agudizan aún más el incumplimiento de los niveles de garantía antes contrastados especialmente en el tercer criterio, en el que el incumplimiento es prácticamente generalizado. Sin embargo, estos efectos pueden ser en parte aliviados con la aplicación de una tarifa del tipo de la que aquí se ha propuesto, como puede observarse en la tabla 11. Los criterios 1 y 2 son satisfechos con esta tarifa, dado que lo que se consigue es eliminar los niveles de reserva extremos. Sin embargo el criterio 3 no se mejora tanto ya que con un sistema tarifario como el aquí propuesto se minora la dotación máxima por lo que la dotación media de diez años consecutivos no mejora sustancialmente. Este resultado cuestiona la validez del tercer criterio para establecer una garantía de suministro y pone de manifiesto una grave inconsistencia económica en su definición, según la cual severas reducciones en la dotación pueden ser compensadas con dotaciones altas e incluso excesivas en los años húmedos que a su vez agravan el riesgo futuro de sequía.

Tabla 11. Probabilidad de incumplimiento de los criterios de garantía para distintos escenarios de cambio climático

CRITERIOS PHG	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO			
	10 % de reducción de la media de los aportes		20 % de reducción de la media de los aportes	
	Sist. Tarifario actual	Sist. Tarifario propuesto	Sist. Tarifario actual	Sist. Tarifario propuesto
1 ^{er} criterio	5.7%	0 %	19 %	12 %
2 ^o criterio	10 %	0%	29 %	0%
3 ^{er} criterio	62 %	18%	94 %	82 %

Estos escenarios de cambio climático suscitan algunas reflexión sobre la actual gestión de los embalses de la cuenca. Es claro que los actuales problemas de suministro de la cuenca se van a ver agudizados en el futuro con la más que probable disminución de los aportes, por tanto las posibles alternativas planteadas para hacer frente a esta situación han de hacerse desde un planteamiento más amplio. Los resultados obtenidos en este trabajo tras la simulación de un nuevo sistema tarifario permiten adelantar interesantes conclusiones sobre los mecanismos de gestión de la demanda como instrumentos útiles a la hora de afrontar escenarios de escasez hídrica de carácter aleatorio como los que aquí se simulan.

CONCLUSIONES

Los criterios de garantía definidos en el PHG reflejan una clara conciencia por parte de la CHG de la gran vulnerabilidad que tiene el sector agrario en la cola de la cuenca a sufrir sequías hidrológicas y por tanto a afectar de forma patente la rentabilidad de las explotaciones de la zona. Esto lleva al Plan a definir unas dotaciones mínimas muy ajustadas a la obtención de un margen bruto adecuado.

La elección de estas dotaciones garantizadas se hace únicamente teniendo en cuenta la rentabilidad económica del agricultor en base a una alternativa de cultivos ajustada al agua disponible. Concebidas así las dotaciones de los regantes, asumidas insensibles a cambios en las tarifas del agua o a otro tipo de condicionantes que inciden en la actividad productiva, el PHG se aleja de los principios establecidos en la Directiva Marco sobre Política de Aguas, en concreto en el Art. 5 – en el que se exige la realización de un análisis económico del agua en cada demarcación hidrográfica -.

Por otro lado, el PHG establece unas dotaciones mínimas garantizadas para varios años consecutivos en base únicamente a las necesidades mínimas de agua necesarias para mantener cultivos perennes o para la recuperación económica de pérdidas en estos años. Ello supone no considerar escenarios en los que no sea posible suministrar estas dotaciones, dadas la actual estructura de la oferta y la demanda de agua y las reglas de reparto seguidas en la cuenca. En consecuencia, la asignación de dotaciones mínimas garantizadas plantea exigencias hidrológicas que imponen costes económicos sobre otros usuarios que no han sido evaluados.

Los resultados que se desprenden de los distintos ejercicios de simulación llevados a cabo en este estudio reflejan lo que en principio parecía suponerse. Los criterios establecidos parecen haberse fijado para no ser cumplidos. Únicamente el primer criterio goza aparentemente de cierta garantía. Sin embargo la simulación realizada en base a los aportes de los últimos 20 años o los correspondientes plausibles escenarios en el supuesto de cambio climático hacen prácticamente imposible su cumplimiento.

Un hecho claro que se desprende de este estudio es que la asignación de las dotaciones por parte de las autoridades de la cuenca del Guadalquivir se hace sin tener en cuenta ningún tipo de consideración de carácter inter-temporal. Ello supone, como han mostrado Iglesias et al. (2000), que hay evidencia de que la pauta seguida hasta la fecha para fijar las dotaciones de los regantes implica la asunción de unos riesgos económicos que imponen un nivel no óptimo de vulnerabilidad a las sequías (cuestión que ha sido tratada por Griffin y Mjelde, 2000). Si se considera una demanda de agua fija es necesario incorporar a la gestión de los embalses de la RG criterios económicos que permitan estimar los posibles efectos de una escasez en el suministro considerando el carácter inter-temporal de la gestión.

Acorde con las nuevas tendencias que rigen la gestión del agua y las exigencias de la Directiva Marco del Agua y el marco legislativo español, este estudio ha propuesto un escenario basado en un nuevo sistema tarifario. Considerando la actual función de demanda de agua de la comunidad de regantes objeto de este estudio, la aplicación de nuevos niveles de precios (que incorporan una recuperación de los costes financieros, de utilización y ambientales), implicará este se realice para un nivel de consumo máximo inferior al actual. Este descenso de la demanda supondría un cierto reequilibrio en la gestión que se manifiesta de forma concreta en este trabajo en la mejora considerable de la satisfacción de los criterios de garantía propuestos por el Plan, mejorando los resultados económicos de las explotaciones del regadío y disminuyendo de forma considerable el riesgo de obtener unos pobres resultados económicos. Así, los datos parecen demostrar que los mecanismos de gestión de la demanda son instrumentos eficaces para incrementar la garantía de suministro de la cuenca del Guadalquivir, máxime cuando la propia documentación del PHN sustenta la recomendación de no realizar interconexiones con otras cuencas en el caso de la

cuenca del Guadalquivir, debido a su bajo nivel de utilización y a la dimensión que habrían de tener para mejorar sólo marginalmente los niveles de garantía total del sistema.

Podemos afirmar que los resultados obtenidos tras el ejercicio de simulación realizado en este estudio muestran que los criterios de garantía de suministro a los regantes tienen una probabilidad baja de cumplimiento, especialmente los referidos a suministros mínimos en años consecutivos. Este resultado sustenta tres conclusiones de interés para la cuenca:

1. – los criterios de reparto seguidos en la cuenca se muestran altamente incompatibles con los objetivos de garantía de suministro

2. - si cumplir los objetivos resulta esencial, los criterios de fijación de las dotaciones a los regantes deberían de modificarse en la dirección de reducir las dotaciones a los regantes con el objeto de poder repartir en el tiempo el agua disponible en períodos de escasez.

3.- si la evidencia que apunta a una reducción de los aportes se convierte en hecho indiscutible, las garantías de suministro sufrirán mermas considerables, lo que reforzará la necesidad de gestionar las reservas de agua con criterios mucho más conservadores, y probablemente sea necesario transitar hacia un contexto en el que la reasignación de recursos entre usuarios sea inevitable.

Los resultados obtenidos de este trabajo parecen confirmar a los mecanismos basados en la gestión de la demanda como instrumentos eficaces en la reasignación del agua, consiguiendo de este modo una fuerte disminución de la vulnerabilidad a la sequía en las comunidades de regantes de la cuenca baja del Guadalquivir.

LISTA DE SÍMBOLOS

$\tilde{A}_t$	aportes totales anuales
α_{ti}	proporción de capacidad de cada embalse de la RG sobre el total de capacidad
W_t	dotación m ³ /ha
S_t	Nivel de reservas en el embalse en el año t
Sp_t	aliviados del embalse
D_{1967}	variable binaria que recoge los efectos de un año anómalo de la serie histórica.

REFERENCIAS

- BAKKER, K., T. DOWNING y A. GARRIDO. 1999. A framework for institutional analysis. SIRCH Working paper series nº 3. Environmental Change Unit, University of Oxford. Oxford.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 1998. Plan Hidrológico del Guadalquivir. Sevilla.
- DEARMONT, D., MC CARL, B.A. y TOLMAN, D.A. 1998. Cost of water treatment due to diminished water quality: A case study in Texas. *Water Resources Research*, 34 (4): 849-853.
- Federación Nacional de Comunidades de Regantes. 1999. Impacto de la política de precios del agua en las zonas regables y su influencia en la renta y el empleo agrario. Federación Nacional de Comunidades de Regantes. Madrid.
- GALLART, F. y P. LLORENS. 2001. Evaluación sostenible de recursos hídricos frente a los cambios ambientales: un ejemplo de la necesidad del estudio y la gestión integradas de las cuencas. Comunicación presentada al Seminario La Directiva Marco del Agua y sus Implicaciones para la Gestión del Agua en España, CENTA, Sevilla, 23-24 de marzo.
- GARRIDO, A., E. IGLESIAS y A. GÓMEZ RAMOS. 2000a. An evaluation of inter-temporal management of water reservoir. Comunicación presentada en Annual Conference of the European Association of Environmental Resources Economists, Junio 3- Julio 2., en Creta.
- GARRIDO, A., E. IGLESIAS y A. GÓMEZ RAMOS. 2000b. El agua subterránea en la gestión de las sequías. *Revista de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 91 (2):233-245
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y J. BERBEL. 1999. Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. *Agricultural Systems* 63: 49-72.
- GRIFFIN, R.C., and J.M. MJELDE. 2000. Valuing water supply reliability. *American Journal of Agricultural Economics* 82:414-426.
- IGLESIAS, E., A. GARRIDO y A. GÓMEZ-RAMOS. 2000. Evaluation of drought management in irrigated areas. Comunicación presentada en International Conference of Agricultural Economists, Agosto 2000, en Berlin.
- Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. 1996. Plan de regadíos de Andalucía. Sevilla.
- Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. 2000. Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. Sevilla.
- LISE, W., A. GARRIDO y E. IGLESIAS. 2000. A game model of farmer's demand for irrigation water from reservoir in Southern Spain.: IVM discussion paper, D-00/04. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- MIMAM. 1998. El libro Blanco del Agua. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid
- MIMAM. 2000. Plan Hidrológico Nacional. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

- MORAL DEL, L. y C. GIASANTE. 1999. 'Structural deficit', residual risk and institutional adaption in water planning in Spain. Tha case ot the water supply system of the Metropolitan Area of Seville: SIRCH Working Papers Series .Universidad de Sevilla. Sevilla.
- MORAL DEL, L. , L. BABIANO y C. GIANSAnte. 2000 Actores, normas y discursos en la asignación del agua en sequía. Aplicación al Guadalquivir. Revista de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 91 (2):287-303
- RIESCO, P. 1999. The challenge of climate change for water technologies: an institutional perspective. SIRCH Working Paper Series.nº1. Centro de las Nuevas tecnologías del agua. Sevilla.
- WILHITE, D.A. 1993. The enigma of drought. In Drought Assessment, Management and Planning: Theory and Case Studies, edited by D. A. Wilhite. Boston: Kluwer Academic Publishers.