

La evolución de la Cuenca del Guadalquivir (España)

Evolution of the Guadalquivir River Basin (Spain)

Agustín Argüelles Marín. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Consultor. Sevilla (España) aarguelles@ciccp.es

Julio Berbel Vecino. Dr. Ingeniero Agrónomo
Catedrático Universidad de Córdoba. Córdoba (España). berbel@uco.es

Carlos Gutiérrez-Martín. Ingeniero Agrónomo
Profesor Ayudante. Universidad de Córdoba. Córdoba (España). carlos.gutierrez@uco.es

Resumen: La Cuenca del Guadalquivir es una cuenca madura donde la oferta y la demanda de agua han ido creciendo a lo largo de los años hasta llegar a un punto en el que la oferta no puede crecer más, aunque la demanda potencial sigue creciendo. Esto ha llevado al cierre hidrológico y administrativo de la cuenca, lo que supone el compromiso de no aumentar la superficie de regadío salvo en casos muy puntuales, a veces supeditado a los ahorros de agua provenientes de la modernización del regadío. El objetivo del trabajo es analizar la trayectoria que ha llevado al cierre de la cuenca a través del análisis de la oferta y la demanda del recurso. Finalmente se analizarán las opciones con las que cuentan los usuarios que quieran tener acceso al agua, que pasará por la adquisición de tierras con derechos de agua y posterior cambio de características concesionales. Ello es compatible con la normativa vigente, no incrementará la demanda y beneficiará a regantes y usuarios.

Palabras Clave: Oferta agua; Demanda agua; Evolución cuenca; Cierre de cuenca

Abstract: The Guadalquivir River Basin is a mature basin where water supply and demand has been increasing over the time. The basin is in a point where the water supply can't be increased, although the potential demand continues increasing. This situation has led to the hydrologic and administrative basin closure, which implies a commitment not to increase the irrigated area except in exceptional cases, sometimes subject to water savings from the irrigation modernization. The objective of this study is to analyze the path that has led to the closure of the basin through the analysis of water supply and demand. Finally, we will discuss the options users who want access to water have, which will pass through the acquisition of land with water rights and subsequent change in the concessional characteristics. This is consistent with current regulations, will not increase the water demand and will benefit farmers and users.

Keywords: Water supply; Water demand; Basin evolution; Basin closure

1. Objetivos del trabajo

La historia de cualquier cuenca hidrográfica en regiones áridas es el camino hacia el fenómeno denominado como 'cierre' o agotamiento del recurso. Este camino está jalonado de decisiones y supone la búsqueda del equilibrio entre el desarrollo económico y el mantenimiento de una calidad ambiental. El objetivo de este trabajo es el análisis de la evolución de la cuenca del Guadalquivir desde inicios del siglo XX estudiando la demanda y oferta del recurso hídri-

co. Se analizarán las respuestas públicas y privadas a la creciente escasez relativa del recurso. En Europa se puede hablar de un cambio en la forma de gestionar el agua a partir del hito de la aprobación de la Directiva Marco del Agua (CE 2000/60) (DMA) (1), del año 2000, aunque el cambio institucional ya se venía produciendo en los estados miembros que eran conscientes de un nuevo paradigma en la gestión de los recursos.

El caso de estudio, que es la Cuenca del Guadalquivir, es un ejemplo de cuenca mediterránea

con alta productividad del agua y dentro de un marco estable de país desarrollado y europeo. El caso seleccionado es un ejemplo muy adecuado para ilustrar con propiedad las circunstancias y el desarrollo de esta transición, ya que en esta cuenca se dibujan con nitidez todas las fases de este tránsito, y las causas del mismo se deducen con claridad.

Este trabajo ha hecho un gran esfuerzo por conseguir una buena información de las superficies y capacidad de embalse a lo largo de los años estudiados para lo que ha sido necesario consultar multitud de fuentes.

2. Trayectorias de cierre de cuenca

El crecimiento de la población y el desarrollo económico que se produce sobre una cuenca hidrográfica, ya sea a escala local (acuífero o sub-cuenca de un gran río) o a escala hidrológica de una gran cuenca, conduce al cierre de la cuenca en las regiones del mundo donde el agua escasea. La evolución de presiones y respuestas al 'cierre' de la cuenca están descritas en Molle et al (2010) (2) quien explica la forma en que este fenómeno afecta a las cuencas de Colorado, Indo, Murray-Darling, y la mayoría de los ríos del Oriente Próximo y Asia Central. Incluso ríos de clima monzónico (sur y este de Asia) tienen épocas del año en las que sufren los problemas que definen una cuenca cerrada, que son la reducción de caudales circulantes por debajo de un límite que no permite el mantenimiento de condiciones ecológicas aceptables, y una degradación de la calidad por efecto de menor dilución de sales y contaminantes. Este es precisamente el umbral de sostenibilidad. Cuando este umbral se supera, se llega al extremo de agotar el flujo de aguas superficiales sobre todo durante los inviernos más secos aguas abajo de los embalses, si no se respeta el mantenimiento de un régimen de caudales mínimos medioambientales o caudales ecológicos.

El cierre de la cuenca se viene definiendo en la literatura como un proceso antropogénico que puede llevar a impactos irreversibles en los ecosistemas. En el caso del Guadalquivir para hacer frente a esta amenaza, y reducir las afecciones al medio se ha realizado una gestión pública que ha adoptado el cierre técnico-administrativo y las medidas de go-

bernanza y control necesarias. Las respuestas adoptadas en el mundo frente a la escasez creciente son diferentes, dependiendo de la etapa del cierre y de las condiciones institucionales y culturales de la sociedad que se asienta en la misma. Normalmente, la causa es el exceso de demanda, que puede ser por reconocimiento de derechos legalmente otorgados o por demanda 'informal' con derechos en tramitación, existiendo casos importantes de reconocimientos de derechos en litigio ante tribunales de justicia, que pueden quedar englobados bajo ese epígrafe de tramitación o al margen de la administración hidráulica. Es frecuente que la suma de derechos reconocidos supere la capacidad del sistema (ej. Murray-Darling). La evolución de las cuencas en general puede ser descrita siguiendo a Molle et al (2010) (2) con las siguientes fases, que proponemos con la siguiente denominación:

- **1.- Tradicional-abierta:** Las cuencas empiezan a explotarse históricamente a partir de tecnologías 'blandas' con pequeñas represas y aprovechamiento de manantiales y pozos de pequeña profundidad.
- **2.- Desarrollo-abierta:** Durante los años 50 y 60 la mayoría de las cuencas de regiones áridas del mundo vieron la construcción masiva de infraestructuras de regulación y el crecimiento en paralelo de la demanda asociada de riego y uso urbano-industrial (parte de África y alguna otra región se quedaron al margen de este proceso). Se ponen en riego las mejores tierras, normalmente en la parte baja de la cuenca donde existen más garantías y los valles son más aptos para el riego. En esta fase podemos decir con la Ley de Say que *'la oferta crea su propia demanda'*.
- **3.- Saturación-cierre:** Las presas empiezan a tener rendimientos marginales en cuanto a la relación capacidad de embalse/volumen regulado, el coste marginal del agua regulada empieza a dispararse. Los agricultores de los territorios que no accedieron al riego en su primera fase empiezan a demandar recursos, argumentando que el 'río' pasa por su territorio y que ellos también tienen derecho a regar. En esta fase los derechos otorgados a los últimos usuarios en llegar suelen afectar a los derechos otorgados en la fase anterior, reduciendo cantidad y garantía de manera generalizada en la cuenca. En esta fase po-

demos decir que se aplica la Ley de Jevons 'una mejora tecnológica que ahorre un recurso puede generar mayor demanda del mismo'.

- **4.- Cierre de la cuenca:** la situación se hace insostenible por la merma de garantías a los usuarios y las presiones sobre el medio ambiente, que se ve afectado tanto por el agotamiento de acuíferos a escala local como por la reducción de caudales por debajo del caudal ecológico en aguas superficiales. En este momento se toman medidas que dependen de la cultura y de las normas e instituciones del país donde se ubica la cuenca.

Intentaremos en este trabajo describir cómo se aplica al caso de Guadalquivir esta secuencia de etapas que se han descrito en la literatura con carácter general. Para mayor información sobre el concepto y consecuencias del cierre de cuencas, se puede consultar Molle (2008) (3), Molle et al (2010) (2), van Oel et al (2011) (4), Kolberg (2012) (5), entre otros.

3. Descripción de la cuenca del Guadalquivir

El río Guadalquivir es el río más largo del sur de España, con una longitud de alrededor de 650 km y una cuenca que cubre un área de 57.527 km² con una población de 4,2 millones de habitantes. La cuenca tiene un clima mediterráneo con precipitaciones de distribución heterogénea, con una precipitación media de 573 mm. La temperatura media anual es de 16,8 °C. Los usos del suelo más importantes son los bosques (49,1%), la agricultura (47,2%), las zonas urbanas (1,9%) y los humedales (1,8%).

Los recursos naturales renovables, lo que se designa como aportación natural se evalúa según se resume en el siguiente cuadro 1.

Más de la mitad de estos recursos son utilizados por los diferentes sectores. El agua para regadío supone un 87% del volumen total utilizado en los diferentes usos. El indicador recurso renovable vs número de habitantes, de más de 1.300 m³ per cápita, supera el límite considerado umbral para un desarrollo sostenible, pero la irregularidad de la distribución espacio-temporal implica una seria dificultad para ello. La evolución del consumo por sectores se resume en el cuadro 2.

Cuadro 1. Estadísticos hidrológicos (Serie 1980/81-2005/06)

	Media aritmética (hm ³ /año)	Máximo (hm ³ /año)	Mínimo (hm ³ /año)	Desviación típica
Guadalquivir	5.754	15.180	372	4.532

Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) (2010) (6)

Cuadro 2. Consumo de agua en la cuenca del Guadalquivir (2008-2015)

Sector/hm ³	2008	2015 Tendencial	2015 Corregida
Urbano	436,4	464,6	393,5
Industrial (*)	35,8	43,4	43,4
Energía	30,9	58,9	58,9
Riego	3.329,5	3.402,7	3.101,4
Total	3.832,6	3.969,5	3.597,2

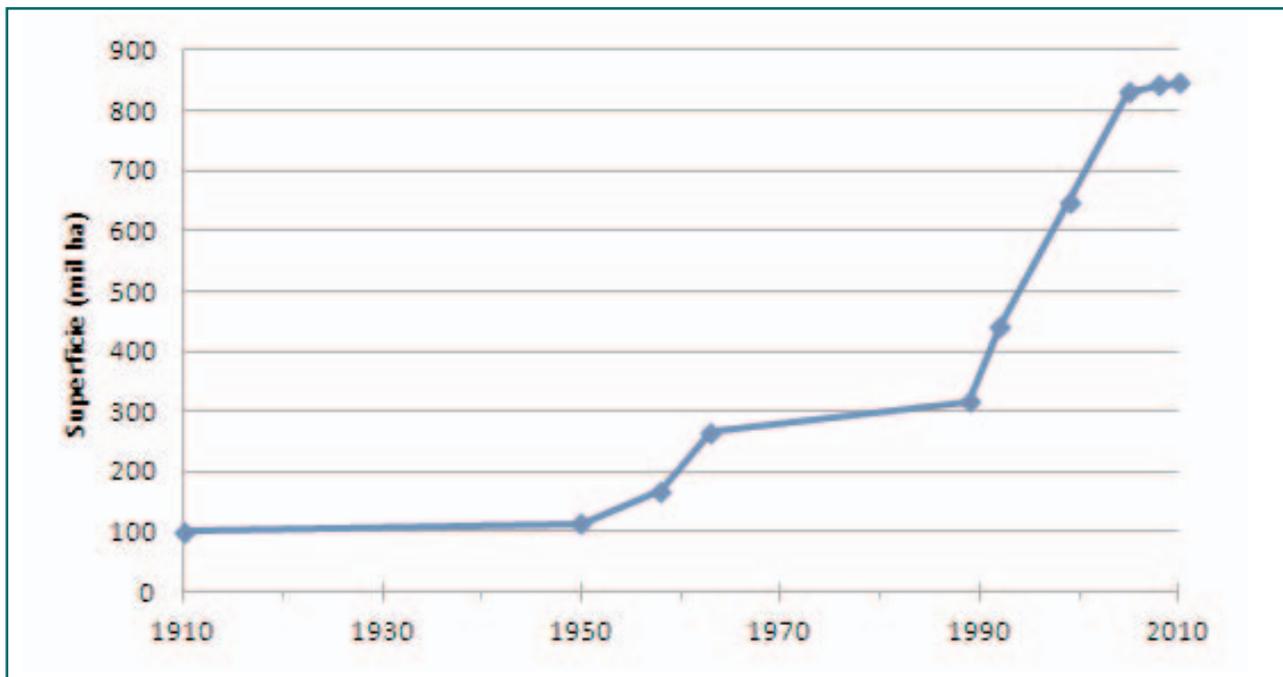
Fuente: CHG (2010) (6), (*) Industria independiente de las redes urbanas, la Estimación tendencial implica la estimación previsible de consumo antes del Plan Hidrológico, y "Corregida" es la estimación después del Plan, suponiendo realizadas las medidas correctoras del mismo.

Las tecnologías de riego en el año 2008 son principalmente de riego por goteo (64%), por aspersión (14%) y por superficie un 27% (CHG, 2010) (6). En cuanto al origen de los recursos y como se detallará más adelante, las aguas subterráneas representan el 20%.

El consumo en la cuenca ha llegado al límite ya que no existen recursos adicionales de agua, por lo que en el - ya expuesto a consulta pública a finales de 2010 - Borrador de Plan Hidrológico, en trámite de aprobación se pretende conseguir un ahorro de agua tanto para riego como urbana de un 8% aproximadamente para ambos sectores. La observación de las últimas campañas de riego (2009/2010) muestra que estas proyecciones de ahorro bruto de agua en regadío son alcanzables. La existencia de un consenso sobre el hecho de que la cuenca está "cerrada" y que no pueden admitirse nuevos consumos por imposibilidad de la ampliación de la oferta, también forma parte esencial del proyecto del Plan.

Esta situación de 'cuenca cerrada' se ha admitido por todos los agentes a través de un proceso participativo que es anterior al Borrador de Plan Hidrológico y se materializó socialmente en el "Acuerdo por el Agua en la Cuenca del Guadalquivir" (CHG, 2005) (7), y administrativamente en las condi-

Gráfica 1:
Evolución de la
superficie
regada en la
cuenca (mil ha).



ciones impuestas por la CE a través del Reglamento de la comisión técnica de seguimiento de la inversión de la Breña II como se detalla más adelante. En ambos casos y en líneas generales se acuerda que no podrían introducirse nuevas zonas de regadío. La Gráfica 1 muestra la evolución de la superficie de riego en la cuenca basada en la estimación de Argüelles (2012) (8).

En la Gráfica 1 vemos varios puntos de inflexión de la curva que corresponden con momentos históricos de agotamiento de un ciclo y transición al siguiente. Los datos asociados a la misma, incluyendo volumen embalsado, se muestran en la Cuadro 2.

Los periodos que marcan los límites no son un valor marcado por ningún hito en concreto y son fases en las que de manera subjetiva se puede fijar la transición de una a otra etapa de la evolución. En la próxima sección entramos en el análisis detallado de las etapas que hemos definido en este análisis general. Hay que comentar que los indicadores seleccionados: superficie de riego y capacidad de embalses son los mejores de los que disponemos para la serie histórica analizadas, pero que ambos tienen sus limitaciones. La superficie de riego es un indicador indirecto del consumo, pero no es lo mismo el arrozal con un consumo de 10.400 a 12.000 m³/ha

Cuadro 3: Propuesta de fases en la evolución de la Cuenca del Guadalquivir.

	Periodo	Periodo	Sup. inicio ha	Sup. fin ha	Capac. embalse a fin período hm ³	Indicador Vol/Sup A fin período m ³ /ha	Δ Superf ha/año	Δ Vol hm ³ /año
1	Tradicional	1910-1950	100.000	114.229	1.277	11.179	355	32
2.a	Desarrollo	1950-1963	114.229	266.329	2.248	8.441	11.700	75
2.b	Estancamiento	1963-1989	266.329	317.139	5.175	16.318	1.954	113
2.c	Expansión Privada	1989-2005	317.139	829.943	7.500	9.037	32.050	145
3	Saturación	2005-2012	829.943	852.360	8.562	10.045	3.202	152
4	Futuro	2012-2027	852.360	885.000	8.562	9.675	2.176	0

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4: Incremento de la productividad aparente del agua (1989-2005).

Euros constantes 2005	1989	2005	Incremento 05/89
VAB/ha riego (€/ha)	1.579	2.653	+ 68,02%
VAB/ha secano (€/ha)	416	598	+ 43,75%
Incremento Productividad media	1.164	2.055	+ 76,55%
Consumo bruto medio (m ³ /ha)	9.995	4.137	- 58,61%
Productividad del agua bruta (€/m ³)	0,1164	0,4968	+ 326,80%
Superficie regadío (ha) (1)	317.139	829.943	+161,70%
Superficie secano (ha) (1)	2.412.091	2.128.952	- 11,74%

Fuente: Adaptado de Carrasco et al (2010) (9)

(1) La superficie del secano y regadío 1989 se obtienen del censo agrario 1989 (10). Regadío 2005 se obtiene de Aquavir (2010) recogido en CHG (2010) (6).

que el olivar con aguas invernales y dotaciones de 1.500 m³/ha. En cuanto a la capacidad de embalse, es un indicador del volumen regulado, que en los embalses construidos desde 1990 oscila entre 25% y 28%, pero que es un ratio que empeora a medida que las mejores cerradas y ubicaciones se van construyendo, incrementando el coste de regulación a medida que la cuenca se va saturando.

4. La evolución de la oferta y la demanda de agua

4.1. La demanda de agua en las distintas fases de la evolución

La demanda de agua de riego se ha mantenido por encima del 85% a lo largo de la evolución reciente de la cuenca. De hecho, la demanda urbana está estabilizada e incluso decreciendo por el efecto de las medidas de ahorro y eficiencia en redes municipales. Las dos demandas diferentes a la urbana y la agraria que han crecido ligeramente, en especial en la última década, son la energía para las plantas termo solares y la vinculada al turismo (golf, esquí, etc.). A pesar de este ligero incremento de demandas no urbanas la suma conjunta de todas ellas pasa del 14,4% en 1992 a 12,1% en 2015. Por consiguiente, la demanda urbano-industrial no ha aumentado a lo largo de los años de una forma significativa, si bien se ha mejorado mucho la garantía del suministro y las prestaciones del servicio. Por lo tanto, la clave del aumento de presiones en la

cuenca hay que buscarla en la demanda de agua para riego.

La demanda de agua de riego está vinculada al valor que el agua genera como insumo y esta a su vez depende de su productividad marginal respecto al secano. La evolución de la productividad reciente queda ilustrada con el Cuadro 4 que muestra la evolución de secano y regadío en la cuenca. Hay un aumento general de la productividad de la tierra vinculado a la mejora técnica y sobre todo a la mejora de los rendimientos de los cultivos.

Se puede asumir que este aumento de la productividad se puede asimilar al incremento de producción del secano. Queda, por tanto, el aumento de la productividad del agua como el incremento del diferencial entre regadío y secano. Evidentemente es una simplificación, pero a pesar de ello, se refleja con este modelo tan simple el aumento de productividad aparente de la tierra y del riego en esta cuenca como puede verse en el Cuadro 4.

En el Cuadro 4 hay varios datos que resaltan, entre ellos la reducción del consumo bruto de agua por hectárea a menos de la mitad, y la productividad del agua medida como VAB/m³ que se triplica. Estos datos nos ponen de manifiesto el cambio técnico tan remarcable que ha visto la cuenca desde el último Plan Hidrológico de la mano de la introducción generalizada del riego por goteo y del aumento de los cultivos leñosos, en especial cítricos y olivar. No obstante, es este último el que ha sido el motor de la transformación, suponiendo actualmente el 48% de la superficie regada.

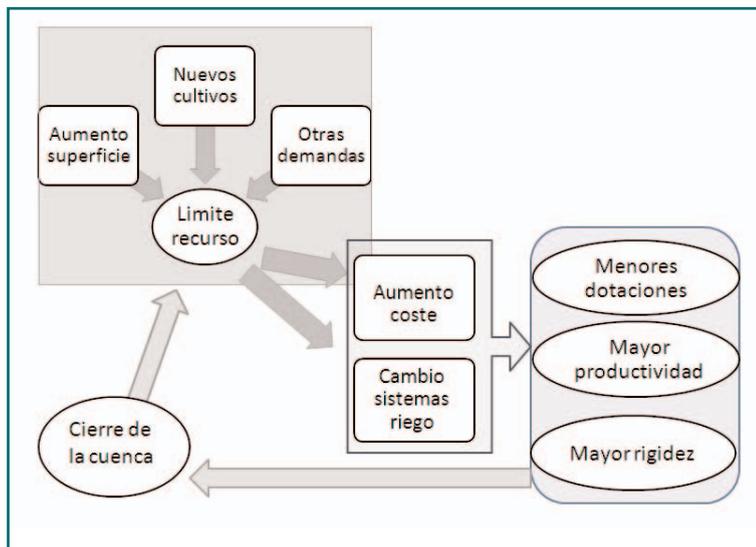


Fig. 1. Esquema de la saturación y cierre de la cuenca.

La Figura 1 resume la evolución reciente de la cuenca en las fases 3 y 4 (saturación y cierre).

La figura 1 resume los principales hechos relacionados con el “cierre de la cuenca”. La fuerza directriz de los cambios ha sido la rentabilidad del agua en esta cuenca y la mejora técnica en cultivos de valor añadido. Esto ha inducido a los agricultores a aumentar la superficie de riego a un ritmo de 74 ha por día de manera sostenida durante los años que van desde 1992 hasta 2005, doblando la superficie en un periodo de tan solo 20 años (ver Cuadro 3). El crecimiento de la superficie ha evolucionado en paralelo al aumento del olivar por goteo por lo que actualmente el olivar pasa del 8% (35.907 ha) en 1992 a representar el 48% (381.930 ha) de la superficie regada entre 1992 y 2008. Junto a los cambios de naturaleza agraria, hay fuerzas externas a la agricultura como un aumento de la demanda urbana y la nueva demanda para la industria de la energía (generación de energía termo-solar) pero sobre todo las demandas sociales por una mejora de la calidad ambiental y en especial por el mantenimiento de los caudales ecológicos en aguas superficiales.

Las presiones comentadas han conducido a una mayor escasez de agua y en consecuencia los agricultores han sufrido un aumento en el coste del agua y se han visto obligados a invertir en nuevas tecnologías ahorradoras de agua.

El valor del agua no ha dejado de crecer, y parte de la explicación es el mayor valor añadido de los cultivos, acompañado de la reducción en el consumo del agua. En cuanto a este último factor,

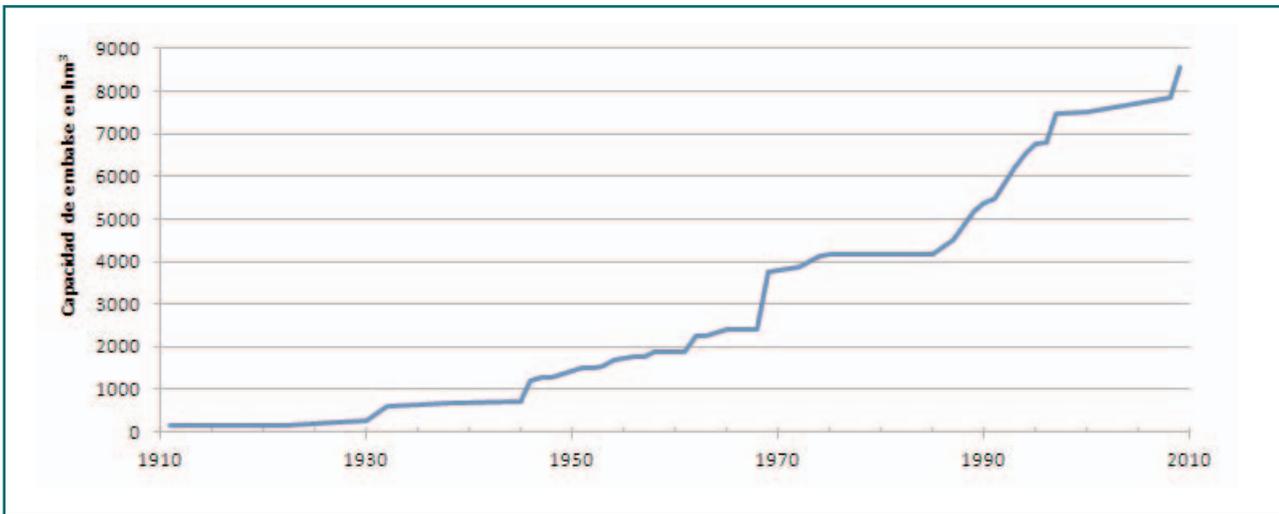
la cuenca ilustra la importancia del riego deficitario, al que se adaptan un número importante de cultivos. Berbel et al (2011) (11) analizan el valor del agua en la cuenca y ponen de manifiesto que el valor del ratio ARIS (cociente riego/necesidades hídricas) es de 0,70 como media de la cuenca en 2008.

Los resultados de este aumento de la superficie han sido varios. Además de la inversión en sistemas de riego localizado, la dosis media de aplicación de agua se ha reducido desde 9.500 m³/ha en 1992 a un promedio de 3.900 m³/ha en 2008. Menores dosis y productos de mayor valor han provocado un importante crecimiento de la productividad (el VAB ha aumentado de una media de 0,12 euro/m³ en 1992 a 0,50 euro/m³ en 2008). La demanda de agua ha sufrido un importante cambio en su elasticidad de la demanda ya que los cultivos herbáceos en 1992 suponían la mayoría mientras que actualmente el 70% de la superficie de regadío es de árboles frutales (olivos, cítricos, otros).

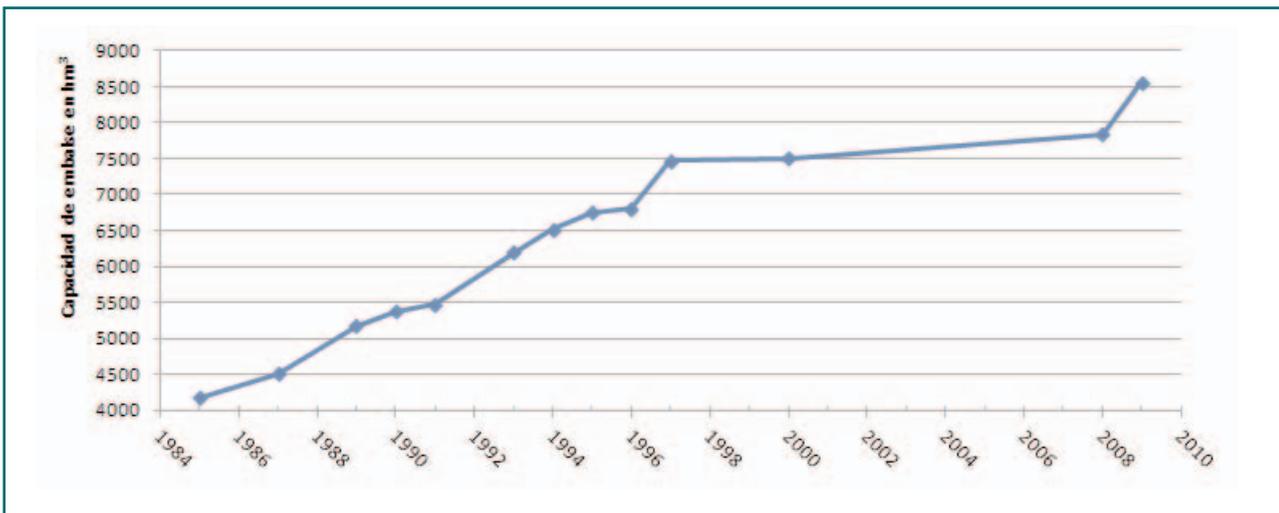
4.2. La oferta de agua en las distintas fases de la evolución

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir comenzó su andadura en 1927, después de la del Ebro de 1926, y con posterioridad fueron creándose las demás, con carácter de organismos sindicales, en los que la gestión se hacía con la participación de los usuarios, con el objetivo de fomento del uso del agua como factor de desarrollo y bajo la premisa de colaboración y ayuda económica de la Administración en la financiación de las infraestructuras.

En cuanto a las infraestructuras de regulación, la más antigua es el embalse de Guadalmellato, de 155 hm³ de capacidad, que se comenzó a construir en 1911 y a explotar en 1928. Ya en 1958 estaban en servicio en el Guadalquivir embalses como Cala (1927), para producción hidroeléctrica, el citado de Guadalmellato, Jándula (1932), La Breña (1935), Tranco de Beas (1946), Rumblar (1945), Guadalén (1954), Pintado (1948), La Minilla (1957) y en construcción otros como Iznájar, Bembézar, etc. Los embalses construidos, sin contar los de uso exclusivo de abastecimiento, alcanzaban ya una capacidad de 1.877 hm³; en construcción había 2.141 hm³ y en estudio o en proyecto, hasta 2.400 hm³ más.



Gráfica 2: Evolución de la capacidad de embalse 1910-2010 (excluido abastecimiento). Fuente: Argüelles (2012) (8).



Gráfica 3: Detalle de la evolución de la capacidad de embalse 1985-2010. Fuente: Argüelles (2012) (8).

En la provincia de Granada se habían construido, en el Genil, los embalses de Cubillas (1956) y Los Bermejales (1958) y estaba en construcción el embalse de Quéntar y en proyecto o en estudio, otros como Colomera, Velillos y Canales, y en el Guadiana Menor, en construcción La Bolera y en estudio, entre otros, Negratín, El Portillo y San Clemente. La capacidad de los construidos era de 125 hm³.

En total, en la Cuenca del Guadalquivir - sin contar los de uso exclusivo de abastecimiento - en 1963, había 2.248 hm³ de capacidad. A partir de esos años, se ponen en explotación varios grandes embalses, entre ellos, en 1969, el de mayor capacidad - 981 hm³ - de la Cuenca, el embalse de Iznájar, algunos de abastecimiento de poblaciones, y/o uso industrial como Montoro (1966), Aracena (1970), Quéntar (1975), Gergal, etc. (Argüelles y Saura, 2007) (12).

En toda una primera etapa, que ocupa desde el primer decenio del SXX hasta los años de la década de los 70, hay una buena respuesta a la oferta, con bastante adaptación entre la oferta y la demanda (se trataba de regadíos dependientes de esa oferta). Desde la Administración se fomenta el uso del agua como motor de riqueza, lo que es extensible también al fomento de la hidroelectricidad, y responde a una exigencia de sanidad y desarrollo urbano en el caso de los abastecimientos a poblaciones. Más adelante podremos ver que como tendencia, el incremento de la oferta y la respuesta de la demanda continúan, con matices, hasta bien entrado el SXXI. En las gráficas 2 y 3 puede verse la evolución de la capacidad de embalse en la cuenca y un detalle de los últimos años, sin contabilizar los de uso exclusivo de abastecimiento.

5. Análisis conjunto de oferta y demanda

En plena efervescencia de la política de oferta, que en esta Cuenca aparece muy mediatizada por el interés social, político y económico que impulsa el cultivo del olivar de regadío, se aprueba por el Consejo del Agua- año 1995 - el Plan Hidrológico del Guadalquivir aunque no tuvo rango de Real Decreto hasta 1998 - redactado en el fragor de ese "entusiasmo político social" del riego del olivar, en Jaén fundamentalmente, y con el contrapunto de una durísima sequía, que comenzó en el año hidrológico 1991-1992 y terminó en diciembre-enero del año hidrológico 1995-1996, y que tuvo consecuencias que rozaron los límites de la emergencia en Sevilla y su provincia (Becerril y Palancar, 1997) (13). Cuando el Consejo del Agua dio "luz verde" al Plan, la superficie de regadío era prácticamente coincidente con la de 1992, que se consideraba situación actual (CHG, 1998) (14), y se evaluaba en 443.024 ha, con una demanda de 2.873 hm³/año, correspondiente a una dotación media de 6.487 m³/ha-año. En aquel horizonte de 1992, la demanda de riego representaba un 84,5% del total, y las expectativas de crecimiento de esta superficie se vinculaban, en gran medida, a la construcción de nuevas piezas de regulación. En ese horizonte, en Andalucía, la superficie de regadío era de unas 700.000 ha (Consejería de Agricultura y Pesca-Junta de Andalucía, 2011) (15).

Según hemos visto, el crecimiento de la oferta - capacidad de embalse - se ha ido desarrollando prácticamente en paralelo con el crecimiento de la superficie de riego. Así, en 1995, el conjunto de los embalses en explotación en la cuenca alcanzan la capacidad de 6.750 hm³, sin contar los exclusivos de abastecimiento, marcando además con estos datos un cierto punto de inflexión en la distribución del origen del suministro responsable del crecimiento de la superficie de riego, porque más o menos alrededor de 1995, tanto en Andalucía como en el Guadalquivir, el crecimiento de la demanda de agua superficial se hace con una pendiente inferior a la inicial, en tanto que la curva de evolución de la demanda de agua subterránea aumenta su pendiente a partir de esos años. En el Cuadro 3 se puede ver el efecto en el aumento de la capacidad de embalse de la construcción de los últimos embalses de la cuenca. En el Gráfico 2 se puede ver el cambio de pendien-

te de la curva de evolución que contrastaría con el de crecimiento de la superficie de riego, debido al suministro de los nuevos regadíos con aguas subterráneas.

Los últimos embalses que se han construido en la Cuenca del Guadalquivir (Arenoso, Montoro II, Melonares y la Breña II) han sido sometidos a rigurosos procedimientos de evaluación de impactos ambientales, de manera que las medidas correctoras y complementarias que ha sido necesario proyectar y construir, aseguran la minimización de esos impactos, mediante inversiones equiparables a la propia infraestructura. Las obras han sido financiadas parcialmente con fondos europeos tras resolver en algunos casos, previamente, procedimientos de denuncia y quejas de organizaciones ecologistas que han elevado notablemente el listón de exigencias y con ello el coste de las obras.

El coste de las últimas obras ha sido muy elevado y ello es también un indicador de fin de etapa, porque a partir de estas últimas infraestructuras, si bien el coste medio repercutido de las infraestructuras en el año 2010, se situaba en torno a los 2 cent/m³ regulado, las últimas obras mencionadas que deben entrar en funcionamiento en estos años tiene un coste medio estimado de 6 cent/m³, parte del aumento de coste es el rendimiento marginal de las obras cuyo ratio volumen regulado/capacidad embalse va empeorando y parte del aumento de coste es la repercusión de las medidas ambientales que casi han duplicado la inversión necesaria respecto a las presas más antiguas.

Como consecuencia, en esta cuenca no será muy razonable medioambientalmente ni económicamente, aunque sí posible, el incremento de recursos regulados mediante nuevas presas de embalse. Para resumir en una imagen, sin pretensiones de rigor histórico ni de exactitud más allá de lo que intentamos representar, nos remitimos al Gráfico 4, en el que hemos querido distinguir desde 1958 hasta hoy, cuatro etapas en relación con la evolución de la capacidad de embalse y la superficie de riego en la Cuenca.

- La primera etapa (tradicional) 1910-1950, el ritmo de crecimiento de embalses y superficie es bajo.
- Una segunda etapa ('desarrollo público') en la que hay un notable incremento de la oferta "respondido" por un significativo aumento de la de-

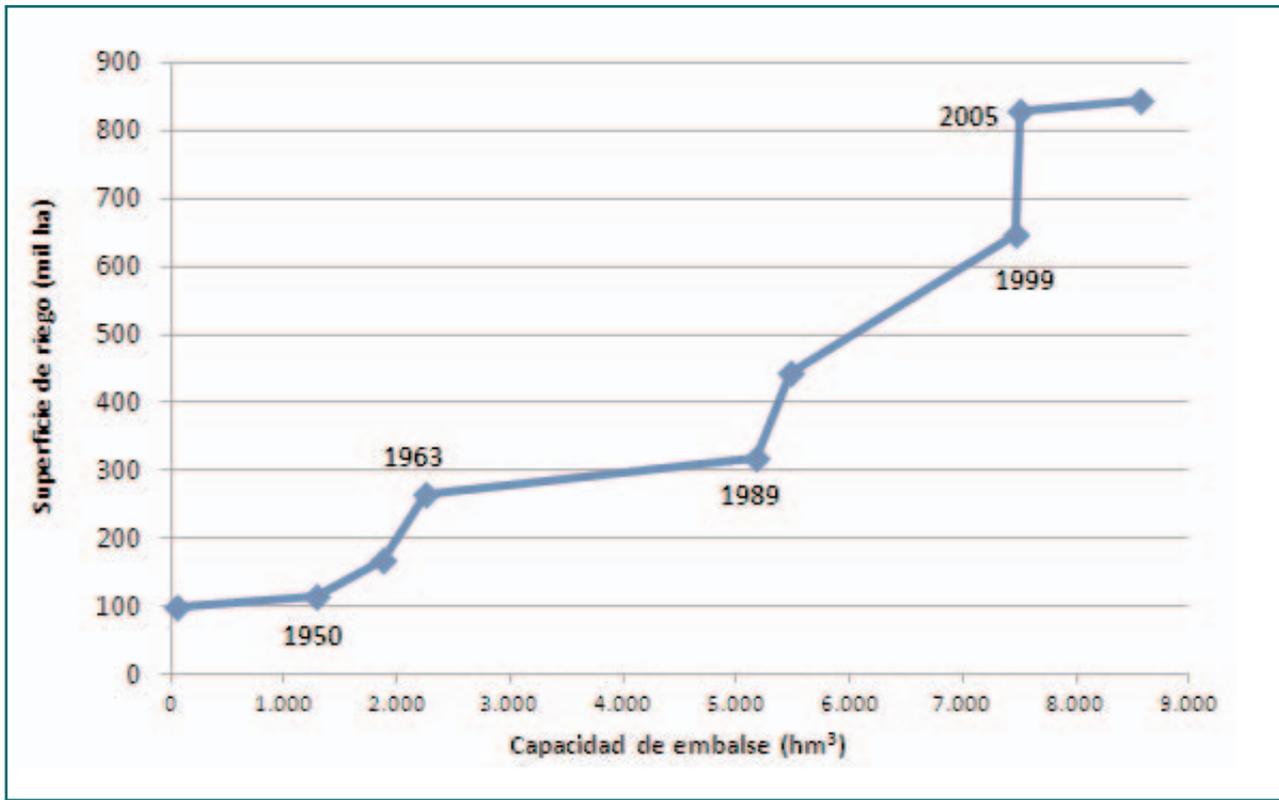


Gráfico 4. Guadalquivir: Evolución de la superficie de riego y la capacidad de embalse (excepto exclusivos de abastecimiento). Fuente: adaptado de Argüelles (2012) (8).

manda y que podría llegar desde 1950 hasta 1963. Es etapa de grandes zonas regables de promoción pública. El crecimiento de superficie es elevado y el de volumen embalsado es ya importante.

- Una tercera etapa ('estancamiento') que va aproximadamente desde 1963 hasta 1989, años en los que sigue aumentando significativamente la oferta, sin respuesta prácticamente en cuanto al aumento de la superficie de riego. En esta etapa el indicador capacidad de embalse/superficie de riego casi se duplica (ver cuadro 2).
- Una etapa, desde 1989 hasta 2005 ('expansión privada') en la que la demanda aumenta de forma notable, en tanto que la oferta de nuevas obras de embalse crece relativamente poco. Es una etapa de gran incremento de cultivo del olivar, con bajas dotaciones y sobre todo con aguas subterráneas y también con balsas de regulación de aguas invernales, mediante riego localizado. Se extiende esta etapa hasta los años finales de la primera década del nuevo siglo, cuando se establecen medidas desde la Administración para evitar la extenuación de algunos acuíferos, que empiezan a acusar fenómenos de

explotación intensiva y cuando las exigencias de mantenimiento de caudales mínimos en los cauces se hace más patente. Durante los últimos años de esta etapa, desde mediados de 2005, se deniegan por la Administración cientos de solicitudes de nuevas concesiones que corresponden a miles de hectáreas. En esta etapa el indicador capacidad de embalse/superficie de riego se reduce al 55% (ver cuadro 2).

- En la última etapa ('saturación') que se inicia en 2005 en la que nos encontramos, las restricciones a nuevas concesiones lógicamente han continuado, y las previsiones de nuevos regadíos (CHG, 2010) (6) son muy escasas y muy tasadas, y la lucha de los usuarios y de la Administración se ha dirigido fundamentalmente a reducir las dotaciones (CHG, 2007) (16) modernizando grandes zonas con auxilio de fondos europeos, para la financiación parcial de las grandes inversiones que las obras requieren.

Vemos en este análisis la integración de la expansión de la demanda entendida como aumento de superficie y la expansión de la oferta entendida como aumento de la capacidad embalsada.

6. Cambio de modelo de gestión del agua en la Cuenca

La descripción detallada de los problemas cuantitativos y cualitativos de la cuenca puede consultarse en el Esquema de Temas Importantes de la Cuenca (CHG, 2007) (16). Los acontecimientos que pueden destacarse en el periodo que media entre el último plan hidrológico (elaborado en 1992, y aprobado en 1998) se analizan por Argüelles (2012) (8) resaltando: (a) el rechazo del embalse de Úbeda la Vieja que no obtuvo informe de evaluación de impacto ambiental favorable, junto con alguna otra infraestructura de menor incidencia; (b) el desarrollo imprevisible del olivar de regadío; (c) nuevas superficies regadas con aguas de cauces no regulados en cuyas márgenes se construyeron balsas, que permitían alguna regulación; (d) la modernización de regadíos que ha mejorado las infraestructuras de la mayoría de los regadíos de la cuenca; (e) el trasvase Negratín-Almanzora, (D.A.22ª de la Ley 55/1999), por la que se autoriza extraer hasta 50 hm³/año para la Cuenca del Almanzora, uno de los pocos casos que creemos pueden existir a nivel mundial, de trasvase desde una cuenca deficitaria, y que supone también una demanda más de la Cuenca del Guadalquivir y (f) el acuerdo de financiación de la presa Breña II.

De todos los hechos anteriores, probablemente uno de los más destacados es la creación en 2005 de una comisión técnica de seguimiento de la inversión de la UE en la financiación de la Breña II, que es una pieza indispensable para la consecución de los objetivos de la Planificación Hidrológica según el Plan de 1998, sobre todo, una vez descartado el proyecto de la presa de Úbeda la Vieja. Esta comisión técnica, con bastante lógica, impone en su condicionado:

- que no se pongan en riego nuevas superficies en el Sistema de Regulación General,
- que se lleve a cabo un plan de acción en aguas subterráneas
- y que se haga una política eficaz para ahorrar 150 hm³/año mediante modernización dedicando un reducido porcentaje del ahorro por modernización a cumplir con los compromisos en firme que el Gobierno ya había asumido con anterioridad en algunos proyectos de nuevos regadíos.

En la práctica la comisión técnica de Breña admitió dedicar el 19% de los ahorros de modernización a cumplir con los compromisos mencionados de aumento de superficie en el sistema de regulación general, quedando el 81% restante como ahorros brutos para la mejora ambiental y aumento de garantía. El sistema de regulación general abarca al 79,32% de los recursos, aunque el resto de la cuenca también está en una situación muy similar por lo que es razonable que el plan hidrológico reconozca esta situación cerrando administrativamente la cuenca.

Una vez que admitimos que la cuenca está 'cerrada', tanto administrativamente como hidrológicamente, los mercados aparecen como una solución para conseguir una flexibilidad necesaria en la asignación del agua que permita la transferencia de derechos desde las actividades menos productivas hacia las más productivas del agua. Los mercados del agua pueden permitir, por un lado, a los titulares de derechos sobre el agua, comerciar entre ellos y por otro, a las autoridades de la cuenca el establecimiento de los bancos públicos de agua. Ambos se contemplan en España desde la reforma de la Ley de Aguas de 1999 aunque el desarrollo completo de los mercados de agua incluido bancos de agua no está totalmente implantado, ya que lo que se ha observado han sido cesiones temporales de derechos y cesiones permanentes que se han tramitado como cambio de características.

Los cambios mencionados (inversión en sistemas ahorradores, menores dosis, mayor productividad, mayor superficie) se han impulsado de manera endógena y en el Borrador de Plan Hidrológico que se está debatiendo actualmente se trata de garantizar la sostenibilidad de la cuenca. En el Cuadro 5 se puede ver un resumen del mismo. Puede observarse que se centra en la gestión de la demanda, tanto en el sector urbano como en la irrigación, pero existen otros objetivos como la mejora de la calidad de control de inundaciones, la gestión ambiental, etc.

El coste global del Plan Hidrológico que según el Borrador del Plan pretende implementar implica la inversión total de 978 euros per cápita/año, con un coste anual equivalente (CAE) de 143 euros per cápita/año, del cual, el 67% se recuperará a través de diferentes instrumentos tarifarios, ya sea facturado a los usuarios urbanos o a los regantes. Las principales medidas desde el punto de vista del coste son sobre la contaminación puntual (tratamiento de aguas re-

Cuadro 5: Inversión y coste anual equivalente del Borrador de Plan Hidrológico del Guadalquivir (datos de Mayo 2012).

Borrador PH Guadalquivir (10 ⁶ euro)	Inversión	Explotación coste explot	CAE(*)	%
Contaminación local (tratamiento agua urbana)	1.087	167	233	39%
Reducción de la contaminación difusa	0	105	105	17%
Garantía de la demanda	469	6	29	5%
Recuperación ambiental	608	2	21	3%
Aumentar la eficiencia (agricultura)	1.229	90	153	25%
Aumentar la eficiencia (urbana)	203	2	17	3%
Gobernanza, el conocimiento	87	18	24	4%
Recuperación de costes	0	4	4	1%
Eventos extremos	294	1	11	2%
Costera y de transición	129	1	5	1%
Suma de la inversión y el costo	4.106	394	603	100%
Recuperación de costes (pagos de los usuarios)	0	0	406	67%

Fuente: Berbel et al (2012) (17), adaptado de CHG (2010) (6)

(*) El coste anual equivalente (CAE) integra inversión anual y coste de explotación y mantenimiento

El Programa de Medidas, de la versión del Plan informado favorablemente por el Consejo del Agua de la Demarcación el pasado 19 de septiembre ha sufrido una importante reducción, dada la actual coyuntura económica.

siduales urbanas) con el 39% y el aumento de la eficiencia de riego con el 25% de CAE. Berbel et al (2011) (18) desarrollan el análisis coste eficacia de las medidas para ahorrar agua en este plan.

7. Discusión y comentarios

La cuenca del Guadalquivir se puede ver como una cuenca mediterránea con una alta productividad de agua y la escasez de recursos y el Plan Hidrológico es un ejemplo de integración de las tradicionales instituciones españolas de planificación del agua basada en las nuevas demandas de la DMA.

Uno de los elementos claves que es conveniente asumir es que se puede decir que en cierto modo se cumple la Ley de Jevons, con matizaciones, ya que se da la paradoja de que, una vez que se incorpora la mejora tecnológica que ahorra el recurso (mejora de redes de distribución, aplicación de sistema de riego por goteo, aprendizaje y capital humano), la demanda de agua crece en lugar de disminuir. Este fenómeno ocurre tanto a escala parcela o zona de riego como a escala cuenca. Las presiones por usar el agua 'aparentemente ahorrada' con las nuevas

técnicas dan lugar a unas tensiones enormes para la gobernanza. En esta cuenca, dado el nivel de déficit existente, se ha estimado que se pueden destinar a nuevas demandas el 19% de los ahorros derivados de la modernización. Hay autores (Lecina et al, 2010) (19) que incluso cuestionan este porcentaje por considerarlo 'optimista' y proponen que no se considere ningún ahorro real derivado de la modernización. Gutiérrez-Martín y Gómez (2011) (20) también consideran que no se produce ahorro real debido, por una parte, a la reducción de los retornos y por otra, a la adopción de nuevos cultivos que aumentan la evapotranspiración neta de la superficie regada.

A lo largo del trabajo se ha planteado un modelo 'endógeno' de cambio con escasas referencias al entorno global y europeo. Esta forma de exponer el discurso ha sido consciente ya que el nuevo modelo de gestión de la cuenca se está gestando de manera interna con los distintos agentes implicados. No obstante, conviene hacer mención de la influencia de la DMA, que ha planteado una nueva forma de gestión con un sistema de implementación común a todos los países miembros de la UE, lo que ha permitido ganar objetividad y enriquecer la normati-

va española en materia de planificación con nuevos elementos de participación pública y procedimientos objetivos para la gestión de aspectos ambientales y cualitativos.

Como se ha comentado, podemos decir que el año 2005 (acuerdo de financiación de Breña II) marca un punto de inflexión en la gestión de la cuenca que se continua con el Acuerdo por el Guadalquivir (CHG, 2005) (7) y que con algunos matices, que son la esencia de la nueva etapa que queda configurada en el Borrador de Plan de Demarcación (2011), que con evidente retraso por disfunciones político administrativas, se podrá aprobar y poner en marcha en breve.

Sin embargo, la presión sobre el recurso continúa y los alcaldes siguen reclamando agua para los re-

gantes de sus municipios, los agricultores siguen perforando pozos y tratando de legalizarlos, presionando en las instancias políticas a su alcance donde las nuevas demandas intentan conseguir los recursos que ya no existen por la vía de concesiones administrativas y autorizaciones de explotación.

En nuestra opinión, la única solución que parece hoy por hoy compatible con la norma y con la racionalidad para poder atender las demandas insatisfechas y crecientes con los recursos disponibles, pasa por la adquisición de derechos de riego y acceder a los nuevos usos mediante cambio de características concesionales, sin incremento de demandas y con beneficio para regantes y nuevos usuarios. ♦

Referencias:

- (1) COMISIÓN EUROPEA. *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. 2000.
- (2) MOLLE, François; WESTER, Philippus; HIRSCH, Philip. "River basin closure: Processes, implications and responses". *Agricultural Water Management*, 2010, 97, pp. 569-577.
- (3) MOLLE, François. "Why enough is never enough: the societal determinants of river basin closure". *International Journal of Water Resource Development*, 2008, vol. 24, nº 2, pp.217-226.
- (4) VAN OEL, Pieter R.; KROL, Maarten S.; HOEKSTRA, Arjen Y. "Downstreamness: A concept to analyze basin closure". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2011, vol. 137, pp. 404-411.
- (5) KOLBERG, Solveig. *Equity and equality in irrigation water allocation under basin closure: concepts and measurement*. Ph D. Tesis. 2012. Sin publicar.
- (6) CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir*. 2010.
<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/consultaPublica/>
- (7) CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL

- DALQUIVIR. *Acuerdo por el Agua en la Cuenca del Guadalquivir*. 2005.
<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/consultaPublica/>
- (8) ARGÜELLES, Agustín. "Agua y derecho humano" en SÁNCHEZ BRAVO, A. *Transición al nuevo modelo de gestión del agua en la Cuenca del Guadalquivir*. Editorial Arcibel. Sevilla 2012. En prensa.
- (9) CARRASCO, José María; PISTÓN, Juan Máximo; BERBEL, Julio. "Evolución de la productividad del agua en la Cuenca del Guadalquivir 1989-2005". *Economía Agraria y Recursos Naturales*. 2010. Vol. 10 nº 1, pp. 59-69.
- (10) MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Censo Agrario 1989*. ISSN: 1579-2277.
- (11) BERBEL, Julio; MARTÍN-ORTEGA, Julia; MESA, Pascual "A cost-effectiveness analysis of water-saving measures for Water Framework Directive: the case of the Guadalquivir River Basin in Southern Spain". *Water Resources Management*, 2011, 25, pp. 623-640.
- (12) ARGÜELLES, Agustín; SAURA, Juan. *Guadalquivir*. Capítulo: "Presas y pantanos en la Cuenca del Guadalquivir". Junta de Andalucía y MMA. 2007.
- (13) BECERRIL, Soledad; PALANCAR, Manuel. *Crónica de una sequía 1992-1995*. 1997. Emaseisa. ISBN: 8460628078.
- (14) CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL

- GUADALQUIVIR. *Plan Hidrológico del Guadalquivir*. 1998.
<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/marcoLegal/planHidrologicoCuenca/>
- (15) CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. JUNTA DE ANDALUCÍA. *Agenda del Regadío Andaluz*. 2011.
- (16) CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR-MIMAM. *Esquema de Temas Importantes de la Demarcación (ETI)*. 2007.
<http://www.chguadalquivir.es/chg/opencms/phcuenca/contenido.html>
- (17) BERBEL, Julio; KOLBERG, Solveig; MARTÍN-ORTEGA, Julia. "Assessment of the Draft Hydrological Basin Plan of the Guadalquivir River Basin (Spain)". *Water Resources Development*, 2012, vol. 28, nº 1: 43-56
- (18) BERBEL, Julio; MESA-JURADO, María Azahara; PISTÓN, Juan Máximo. "Value of irrigation water in Guadalquivir basin (Spain) by residual value method". *Water Resources Management*, 2011, 25, pp. 1565-1579.
- (19) LECINA, Sergio; ISIDORO, Daniel; PLAYÁN, Enrique; ARAGÜÉS, Ramón. "Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón". *Agricultural Water Management* 2010, 97, pp- 1663-1675
- (20) GUTIÉRREZ-MARTÍN, Carlos; GÓMEZ GÓMEZ, Carlos Mario. "Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model". *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2011, Vol 9, nº 4, pp. 1009-1020.

Evolution of the Guadalquivir River Basin (Spain)

The Mediterranean region is particularly affected by a structural water scarcity as well as common drought periods. A sharpness of these problems it is also expected in the near future due to climatic change. In this context, the aim of this research is to describe and analyse the evolution of water supply and water consumption in the Guadalquivir basin. The paper has a deep research of historic data to estimate the trajectories since 1900 of both supply of water through reservoir volume and demand related to irrigated area. Research data are based on published documents generated during the planning stage of the Water Framework Directive implementation in Spain and on the Hydrological Basin Plan (HBP) and the associated Programme of Measures specially developed for the Guadalquivir river basin. The interest of this document is in the process of basin closure arisen under a centralized and hierarchic basin administration. The case study covers a large irrigated area, under a Mediterranean climatic condition, as well as a European normative framework.

Guadalquivir basin can be considered a closed basin where historically supply and demand have been increasing during the last century reaching a limit to supply enlargement although demand is still growing. This paper analyses the historical trajectory that has driven the basin to closure by analyzing both supply and demand evolution. Farmers' response to growing scarcity and rising cost of water has been to resort to deficit irrigation and invest in water saving technologies, which has increased the productivity of water in the basin spectacularly. The administrative response has been to close the basin with a moratorium to increase irrigated area since the year 2005 subject to some exceptional cases and subordinated to water savings due to 'modernization' (technological change in distribution systems and farm irrigation).

Water consumption has increased since the last Hydrological Plan (1992). For instance, urban consumption has grown from 297 l/person per day in 1992, to 323 l/person per day in 2008. In 2005 per capita water consumption was 1,600 m³. However, although water demands from urban and industrial sectors have been increased, irrigated agriculture still accounts for around 87% of water basin resources. Guadalquivir also has in common with most of closed basins a fuzzy definition of water right for irrigation. Basically, landowners receive water use rights (i.e. access to water as a 'license of use' for 75 years) by a system coupled with their own land, for an overall amount of water rights which is proportional to the

land served by the infrastructure. In addition, a water right allotment (i.e. quota) is defined according to a crop-specific irrigation coefficient.

The model of basin evolution described in this document is divided in six stages: Traditional: before 1950; Development: 1950-1963; Stagnation: 1963-1989; Private development (groundwater): 1989-2005; Congestion; 2005-2012; Closed basin management: after 2012. Although most of the drivers, pressures and processes, are common among other closed basins in the world, various factors in the Guadalquivir emerge being distinctive. These are the cultivation of high value of irrigated Mediterranean crops, the predominance of deficit irrigation (87% of land is irrigated below theoretical needs estimated according Penman ETP) and, the large investment in water saving systems.

The basin has a huge, increasing water demand while the resources are limited and subject to a strong inter-annual variability. As a consequence, a strategy of increase in reservoir capacity has been adopted until the last Hydrological Basin Plan. The last dams just finished a few years ago, have increased the regulation capacity of the basin from 7,145 hm³ to over 8,562 hm³ per year. Additionally, there is an important natural regulation capacity as groundwater may store 2,720 hm³/year. The combined surface (reservoirs) and groundwater reserves suppose a 140% of average renewable resources, but it is not sufficient when there is more than two consecutive years with scarce precipitations. In this regards, special measures are activated according to the Special Drought Awareness and Mitigation Plan introduced since 2005.

In this context might be argued that limits of water supplies have been reached. In fact, according to the drafted HBP release of new water rights is banned. As a consequence, a more flexible allocation water system is necessary, which in turn might ease the transfer of water rights from less to more productive activities. Lately, water markets have been worked through an inter-basin transfers (i.e. Negratín-Almanzora), which allowed to exchange water from the Guadalquivir to the Almería.

In this context, an analysis of key steps which are leading to basin closure may contribute to the body of knowledge about the water management and planning. Finally, some solutions for future management of new entrants are studied implying the use of permanent and temporal water right trade. Those solutions are in line with existing national a basin normative. ♦