

La gestión conjunta de los recursos del embalse de "El Pintado" para fines agrícolas y de abastecimiento (Sevilla) mediante un contrato de opción

ALMUDENA GÓMEZ RAMOS (*) y ALBERTO GARRIDO COLMENERO (**)

RESUMEN En este trabajo se estudia un marco de uso conjunto entre recursos pertenecientes a una Comunidad de Regantes y un abastecimiento urbano. Bajo el formato de un contrato de opción, se propone un mecanismo de transferencia de recursos dirigido a reforzar la garantía de un sistema de abastecimiento. Sus rasgos principales son, primero, que los cedentes perciben una prima de compensación por poner a disposición del adquiriente volúmenes de agua que éste puede tomar sin tener la obligación de hacerlo; segundo, que el ejercicio de la opción está condicionada a la constatación objetiva de que el sistema cedente está en situación de sequía; tercero, el contrato se constituye de forma que siempre pueda ser cumplido, sean cuales sean los aportes a los embalses o sus niveles de reserva. El modelo propuesto se aplica al embalse de El Pintado que sirve aguas para riego a la Comunidad de Regantes de El Viar y al sistema de abastecimiento de aguas urbanas de Sevilla y otros municipios (EMASESA). Los resultados demuestran que un contrato de opción de estas características, u otro desarrollado sobre presupuestos parecidos, proporcionaría un importante incremento de garantía del sistema de EMASESA a un coste social y financiero inferior al de otras medidas contempladas en el Manual de Sequía. Finalmente, un contrato de opción tendría encaje en nuestra Legislación de Aguas y podría desarrollarse al amparo de los futuros bancos de aguas o centros de intercambio, contemplados en ella.

JOINT MANAGEMENT OF THE "EL PINTADO" RESERVOIR RESOURCES FOR IRRIGATION AND URBAN SUPPLY (SEVILLE) BY MEANS OF AN OPTION CONTRACT

ABSTRACT *This paper looks at a conjunctive arrangement for water use between an irrigation community and an urban water supplier. A mechanism based on an option contract, to transfer resources is proposed to reinforce the reliability of the urban water service. Its main features are, first, that the sellers receive a compensation premium in return for offering water quantities to the buyer, with no obligation to take them; secondly, that the contract's execution requirements are based on the objective verification that the buyer's system is undergoing a drought process; and third, the contract is designed so that it can always be enforced, independently on the inflows accumulated or present levels of the sellers' storage facilities. The proposed model is applied to the 'El Pintado' dam, from which the 'El Viar' irrigation community is served, and to the water supply system of Seville (EMASESA). Results show that an option contract featuring the above designing details, or based under similar characteristics, would deliver the water company a significant increase in supply reliability at a lower social and financial cost than other measures foreseen in the company's Drought Handbook. Lastly, such a contract would fit within Spanish water law provisions and could be developed under the format of the future water banks or exchange centres that Law foresees.*

Palabras clave: Contrato de opción, Gestión conjunta, Regadío, Suministro urbano.

(*) Dra. Ingeniero Agrónomo. DNI: 8963029. Investigadora. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Economía y CCSS Agrarias. Avda. Complutense s/n 28040 Madrid. Tel. 913367594. E-mail. almgozmez@eco.etsia.upm.es.

(**) Dr. Ingeniero Agrónomo. DNI: 51363093. Profesor Titular. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Economía y CCSS Agrarias. Avda. Complutense s/n 28040 Madrid. Tel. 913367582. E-mail. alberto.garrido@upm.es.

1. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable a la ciudad de Sevilla constituye un buen ejemplo de los riesgos que actualmente amenazan este importante servicio público. Por un lado, se encuentra sometido al rápido crecimiento de su demanda y por otro soporta una climatología irregular. Estos problemas se manifestaron de forma tangible en la anterior sequía sufrida durante el periodo 93-95, durante la cual los consumidores hubieron de soportar cortes de suministro de diversa duración

e intensidad en los tres veranos del trienio. Gómez Ramos (2004) ha estimado la probabilidad de experimentar un déficit anual igual o inferior a 50 hm^3 en el sistema de EMASESA¹ en 4,75%, una vez tenidos en cuenta los aportes diversos adicionales que se obtendrían ejecutando el plan estratégico de la propia empresa para situaciones de sequía (EMASESA, 1997). García Valiñas (2002) ha evaluado los costes económicos asociados a la sequía padecida en Sevilla, como consecuencia de las interrupciones del servicio así como a la mala calidad de las aguas servidas, situando estos costes entre 1,41 y 2,53 € por metro cúbico no suministrado.

Durante la sequía 1992-95, como respuesta a los serios problemas en el abastecimiento sufridos por la ciudad de Sevilla, EMASESA recurrió a distintas estrategias como la realización de tomas de emergencia de aguas del Guadalquivir, la interrupción temporal del servicio de abastecimiento o la realización de acuerdos puntuales con la Comunidad de Regantes de El Viar para la adquisición de unos 80 hm^3 del embalse de El Pintado. El objetivo de este trabajo será profundizar en esta estrategia de uso conjunto de las aguas de El Pintado como medida pro-activa frente a futuros episodios de sequía. La idea de gestionar conjuntamente los recursos de El Pintado entre EMASESA y la C.R. de El Viar ya fue concretada por la propia empresa (Aguado, 2000), pero no ha prosperado tal vez por pensarse que la opción de construir un nuevo embalse, Los Melonares en la cuenca del río Viar, resulta más idónea.

En este artículo se analiza el problema de abastecimiento de Sevilla y su área metropolitana estudiando la posibilidad de la gestión conjunta de las aguas del embalse de El Pintado como solución viable a estos problemas de suministro. Sin embargo, nuestra propuesta se articula en el marco de un contrato de cesión como una alternativa viable para la solución parcial del problema. La instrumentación de este contrato de cesión a través de un contrato de opción estaría en línea con la idea de que la gestión y el análisis de riego deben formar parte de los criterios seguidos a la hora de asignar el agua. Esto es evidente en un contexto de aleatoriedad de los aportes a los embalses del sistema de abastecimiento de EMASESA sumada a las variaciones en la demanda. Estos criterios atienden a la búsqueda de estrategias que reduzcan el riesgo de desabastecimiento a un coste económico y ambiental razonable.

Naturalmente, la articulación del contrato estaría en principio amparada por la Legislación, ya que supone un acuerdo de cesión de concesiones que en nada contravendría el espíritu de la Ley de Aguas si al solicitar autorización al Organismo de Cuenca cumple con todos los requerimientos exigidos.

Con este objeto, se simula un modelo de intercambio de derechos de agua de los riegos del Viar y el sistema de abastecimiento de la ciudad de Sevilla. De este modo se demostraría que un mecanismo de cesión basado en el reparto del riesgo entre diferentes titulares de derechos de uso puede ser una alternativa válida a la política tradicional de gestión de los recursos disponibles en periodos de escasez o incluso a la construcción de nuevas infraestructura tal y como actualmente se viene planteando. Para ello, este trabajo incluye la simulación y análisis de distintas estrategias para la solución de los problemas de abastecimiento de la ciudad de Sevilla, introduciendo la que actualmente propone la empresa de suministro en su Manual de Sequía (EMASESA, 1997), así como la que este trabajo propone. Asimismo se plantea una estrategia mixta que contempla la combinación de ambas alternativas.

2. ELEMENTOS DESCRIPTIVOS DE UN CONTRATO DE OPCIÓN SOBRE EL USO DE RECURSOS HÍDRICOS

Aunque breve, la literatura sobre contratos de opción para articular la cesión de recursos hídricos subraya la necesidad de que se fijen con precisión algunos elementos clave de los contratos (Easter et al. 1998; Villinski, 1999; Gómez Ramos, 2004). En este caso, los recursos objeto del contrato son los que se pueden almacenar en el embalse de El Pintado, del cual se abastece la Comunidad de Regantes 'Riegos de El Viar', quien tiene una concesión de uso en forma de una dotación anual.

Un contrato de opción aplicado al contexto de la asignación de agua tiene algunas particularidades que lo diferencian de los contratos de opción comúnmente empleados en otros sectores, si bien le es común que en el momento de la ejecución no obliga más que una de las partes. En nuestro caso, planteamos una opción del tipo 'call' o de compra según la cual el comprador, EMASESA, adquiere el derecho de adquisición de un caudal dado pero no la obligación. En el caso de la CR de El Viar, si asume la obligación de la cesión si así lo demanda EMASESA. El contrato que se propone se articularía de acuerdo a los siguientes elementos:

- *Un período de vigencia* de cuatro años (la duración media de un período de sequía en la cuenca del Guadalquivir de acuerdo a EMASESA, 1997), comenzando el 1 de febrero del año i .
- La condición para la cesión del volumen comprometido por parte de la CR de El Viar y el ejercicio de la opción por parte de EMASESA es la siguiente: Si en dos años consecutivos, los aportes totales al embalse de 'El Pintado' son inferiores a un valor K (hm^3), entonces EMASESA puede ejercer el derecho de adquisición de dicho embalse por una cantidad máxima establecida \bar{R} (hm^3) en el curso del siguiente año. Matemáticamente, el volumen efectivo, \bar{R}_i , que se puede ceder realmente en un año hidrológico i genérico para un volumen \bar{R} comprometido viene dado por la expresión:

$$R_i = 0 \quad \text{si} \quad \bar{A}_i + A_{i-1} \geq K \quad [1]$$

$$R_i = \min(\bar{A}_i, \bar{R}) \quad \text{si} \quad \bar{A}_i + A_{i-1} < K \quad [2]$$

Donde \bar{A}_i representan los aportes al sistema durante el año i . Con estas condiciones se garantizan dos características importantes. En primer lugar, que la cesión solo tenga lugar cuando haya una situación de sequía hidrológica objetivamente valorable y verificable, evitándose así que el sistema de EMASESA haga un uso del sistema de abastecimiento de la CR de El Viar que impida su normal actividad agrícola en años hidrológicamente no secos. En segundo lugar, se contempla el hecho de que los aportes a El Pintado resulten insuficientes para cumplir con el volumen de cesión pactado en el contrato con carácter general, \bar{R} . Así en el caso de que A_i sea inferior a \bar{R} , EMASESA solo tendrá derecho a adquirir los aportes recogidos en el embalse en el año hidrológico anterior.

- La contraprestación económica por la suscripción del contrato, que necesariamente implica la reducción de la dotación anual de riego esperada, queda constituida por un pago a cada agricultor de una cantidad anual fija en € por hectárea. Este pago, cuya cuantía es obviamente dependiente de K y de \bar{R} , ha sido obtenido por Gómez Ramos y Garrido (2004), mediante la utilización de un modelo de programación estocástica discreta que permite la optimización de la gestión conjunta del embalse para el riego y la cesión de recursos considerando las condiciones del contrato de opción establecidas anteriormente.

¹ Empresa pública de abastecimiento a Sevilla y gran parte de su Area Metropolitana

Contrato	Volumen comprometido R (10 ⁶ m ³)	Probabilidad de cumplir requisitos de ejecución	Prerrequisito de ejecución del contrato K(10 ⁶ m ³)
A	30, 60, 90, 120, 150, 180	81 %	<500
B	30, 60, 90, 120, 150, 180	62 %	< 400
C	30, 60, 90, 120, 150, 180	37 %	< 300

TABLA 1. Definiciones de los contratos de opción.

3. METODOLOGÍA

Aunque la valoración de un contrato de opción debe realizarse desde la doble perspectiva de las dos partes intervinientes, este trabajo toma como base los resultados de Gómez Ramos y Garrido (2004) en lo que concierne a la parte cedente y se centra únicamente en el análisis de la parte adquirente, que es el sistema de abastecimiento de Sevilla. La metodología seguida para tal fin se basa en un modelo de simulación mediante la técnica de Monte-Carlo. Esta técnica permite la simulación del contrato ante un número estadísticamente significativo de situaciones hidrológicas, obtenidas mediante extracciones aleatorias y estratificadas de las variables aleatorias relevantes (Vose, 2000). En nuestro caso, estas variables son los aportes anuales a los dos subsistemas de El Pintado y de EMASESA, este último constituido por cuatro embalses. La valoración del contrato se hace en términos del coste total de la operación para la parte adquirente, considerando no sólo el coste financiero que supone la compra del recurso (compensación al regante), sino también el coste social, que es el que asumiría el usuario en el caso de recibir un suministro inadecuado a su demanda.

3.1. ETAPAS DEL ANÁLISIS

Se ha realizado una valoración económica y financiera de 18 variantes de contratos de opción, resultantes de combinar diferentes valores de \bar{R} y de K, tal y como se recoge en el TABLA1. En él se incluyen también las probabilidades de que se cumplan los requisitos de ejecución del contrato, evaluadas de acuerdo al análisis probabilístico de los aportes anuales al embalse de El Pintado. En la tabla 1 se puede observar como mientras las condiciones del contrato C son menos restrictivas pues la probabilidad de ejercicio de la opción es del 37% de los años, las del contrato A se cumplen con una probabilidad superior al 80% de los años.

Desde la óptica de EMASESA, el análisis económico de las diferentes modalidades del contrato de opción nos va a propor-

cionar diferentes elementos de interés. Se evaluarán las estrategias de mitigación de los efectos de la sequía recogidas en el Manual de Sequía editado por la propia empresa (EMASESA, 1997). Por tanto, el análisis arrojará resultados sobre variables clave de las estrategias de la propia empresa que serán comparados con los que se obtienen mediante el contrato de opción y mediante una estrategia mixta que integra ambas estrategias, empleando los mismos supuestos y metodología, que se explican a continuación en los siguientes pasos:

1. A partir de los históricos de aportes anuales, se caracterizan estadísticamente los aportes a los embalses de EMASESA, obteniendo la función de distribución que mejor ajuste estadístico proporciona.
2. Tras obtener la correlación entre los aportes al sistema de embalses de EMASESA y al embalse El Pintado, $\rho=0.9$, se han obtenido 100 series aleatorias de cuatro años consecutivos de aportes a ambos sistemas mediante una simulación conjunta de tipo Monte-Carlo (empleando el procedimiento de Johnson y Tenenbein, 2001). Haber fijado la longitud de la serie en cuatro años obedece al hecho de que los contratos de opción estudiados tienen una vigencia de cuatro años también.
3. Las 100 simulaciones de cuatro años de ambos sistemas proporcionan dos resultados clave para la evaluación del contrato. Para el caso de El Pintado, se identificaron los años en que podrían ejecutarse las distintas modalidades de contrato de opción, así como el volumen transferible (siempre igual o inferior a \bar{R}). Para el caso del sistema de EMASESA se evalúa el déficit final anual comparando las reservas disponibles para abastecimiento y la demanda total de agua del sistema. La Tabla 2 representa los diferentes estados de reserva del sistema para distintos escenarios de sequía una vez que ha sido satisfecha la demanda urbana para cada uno de estos escenarios.

Estados de sequía	Niveles de reserva (10 ⁶ m ³)	%	Coefficiente de reducción de la demanda ¹ %	Estado final (10 ⁶ m ³ año ⁻¹)
Normalidad	335	75	0	181
Alerta	240	54	2.5	89.85
Inicio de sequía	163	36	7.5	20.55
Sequía	125	28	12.5	-9.75
Sequía Grave	90	20	15	-40.90
Sequía muy Grave	40	9	15	-90.90

Fuente: Gómez Ramos (2004) y EMASESA (1997).

¹ Se asume una demanda urbana de 154x10⁶ m³ año⁻¹, a la que se aplica un coeficiente de reducción para cada estado de sequía resultado de las campañas de ahorro y otro tipo de medidas basadas en la gestión de la demanda (EMASESA, 1997).

TABLA 2. Estimación del estado del déficit asociado al sistema en función de los distintos estados sequía y las estimaciones de demanda urbana de la ciudad de Sevilla.

Fuente Alternativa	Cala (Hm ³)	El Pintado (Hm ³)	Bombeo del Guadalquivir (Hm ³)
Fase de sequía			
Normalidad	10	-	-
Alerta	10	30	-
Inicio Sequía	20	30	-
Sequía	-	-	60
Sequía Grave	-	-	90
Sequía muy Grave	-	-	100

Fuente: Elaboración propia y Manual de sequía (EMASESA, 1997)

TABLA 3. Utilización de fuentes alternativas al sistema en cada fase de sequía.

La siguiente etapa es diferente según se trate del contrato de opción, el menú de opciones del Manual de sequía y la estrategia mixta que integra a los anteriores:

4. Esta etapa se dobla en tres variantes para simular el contrato de opción, la estrategia del Manual de Sequía y una estrategia mixta, que se describen a continuación.

4a) En el caso del contrato de opción, se suman a las reservas del sistema los recursos adicionales procedentes del embalse de El Pintado proporcionados a través del contrato. Tras sumar estos recursos, se determina para cada año si habrá un déficit y, de verificarse, de qué cuantía. Este déficit coincide con una situación de sequía en la que EMASESA ha de suspender el servicio de abastecimiento un número determinado de horas al día.

4b) En el caso de seguir el procedimiento establecido en el Manual de Sequía, se agregan los recursos adicionales necesarios para cubrir el déficit en los años en que hubiere, explotando al máximo todas las opciones al objeto de reducirlo o anularlo. Si pese a ello, todavía persiste una demanda insatisfecha, se estaría en una situación de sequía similar a la descrita al final del punto 4a. En la Tabla 3 se reflejan las estrategias de toma de recursos externos para cada situación de escasez, tal y como establece el Manual de Sequía.

4c) Se opera como si entrara en funcionamiento un contrato de opción (4a) y, en el caso de no bastar los recursos aportados mediante el contrato, se sigue el procedimiento del Manual de Sequía, descrito en el punto 4b.

5. En los tres casos, 4a, 4b y 4c, se procede a valorar económicamente la situación imputando un coste social de 1,41 € por metro cúbico de déficit, para un déficit superior a 64 Hm³ e inferior a 108 Hm³ y 2,53 € por metro cúbico, para un déficit superior a 108 Hm³ (ver García Valiñas, 2002 y Gómez Ramos, 2004), lo que conformaría una valoración económica del coste social asociado al déficit o de la suspensión del servicio de abastecimiento. De manera separada, se evalúa el coste financiero que habría de asumir EMASESA, ya sea imputando el coste anual del contrato de opción (4a), poniendo en funcionamiento las estrategias recogidas en su manual de sequías (4b) o sumando el coste del contrato de opción a las estrategias del manual (4c). Hay que notar que este ejercicio de doble valoración socioeconómica y financiera se realiza sobre la media de las 100 simulaciones de cuatro años consecutivos. De esta manera, se obtiene un conjunto numeroso de evaluaciones que permiten una mejor comparación de los resultados de cada estrategia de respuesta a las sequías.

3.2. SUPUESTOS

Los supuestos más relevantes del análisis inciden en aspectos propios del modelo de balance de entradas y salidas de agua empleado para evaluar las condiciones del embalse que abastece a la C.R. del Viar (El Pintado) en el supuesto del contrato de opción, y para evaluar las condiciones del sistema de abastecimiento de la propia EMASESA, descrito detalladamente en Gómez Ramos (2004). En particular, se asume un modelo de balance anual, con entradas y salidas anuales concebidas como instantáneas, si bien se incorpora en la rutina de cálculo unas funciones que modelan los aliviados por excesos en los aportes. Consideramos que la incidencia de este supuesto no es grave desde el momento en que la capacidad de ambos sistemas, tanto de El Pintado como el de EMASESA, es muy superior a las demandas de un año hidrológico. También se asume que los aportes anuales a ambos sistemas siguen funciones de distribución gamma estimadas mediante ajuste estadístico a partir de los datos históricos de ambos sistemas (Gómez Ramos, 2004). En la medida en que se pueda realizar la abstracción de asumir una variable aleatoria que represente los aportes anuales, será posible emplear su función de distribución para realizar simulaciones Monte-Carlo.

Por otro lado, se asume también que el conjunto de estrategias recogidas en el manual de sequía de EMASESA proporcionan unos volúmenes seguros y a costes prefijados. Recordemos que entre estas medidas se recogen las tomas de emergencia y las campañas de reducción del consumo. Indudablemente, en este punto se puede afinar mucho el análisis incorporando las estrategias que tengan características más y mejor definidas. Sin embargo, los resultados pretenden ser ilustrativos de la situación de sequía vivida en el Guadalquivir entre 1992 y 1995. Por lo tanto, las valoraciones de EMASESA de las medidas adoptadas en esos años, de cuyos costes y aportes volumétricos se tienen registros precisos, proporcionan referencias válidas para el análisis comparativo respecto del contrato de opción.

4. RESULTADOS

El primer elemento de interés de un contrato de opción de las características ya descritas es su coste económico. En este caso, el coste o prima de la opción resulta evidentemente de la negociación de las dos partes, por lo que su cuantía puede fijarse sólo en calidad de hipótesis o evaluarse indirectamente. La opción seguida en este estudio ha sido evaluar las pérdidas económicas para los regantes derivadas de contar con una dotación anual inferior como consecuencia del compromiso asumido mediante el contrato de opción. Por no ser un aspecto central del trabajo, referimos a otros trabajos de los autores la explica-

Volumen comprometido (10 ⁶ m ³)	Contrato A (€.ha ⁻¹)	Contrato B (€.ha ⁻¹)	Contrato C (€.ha ⁻¹)
0	0	0	0
30	102	102	102
60	164	162	157
90	412	387	338
120	1068	958	735
150	1709	1501	1094
180	1918	1644	1105

Fuente: Gómez Ramos (2004)

TABLA 4. Precio del contrato de opción para cada modalidad de contrato (para un período de cuatro años).

ción detallada del procedimiento seguido para calcular la prima (Gómez Ramos y Garrido, 2004; Gómez Ramos, 2004), si bien se incluye en la Tabla 4 los valores para cada uno de los contratos estudiados. Se aprecia en el mismo que la prima de los contratos oscila significativamente tanto por la modalidad (A, B ó C), como por el volumen comprometido. Para un mismo volumen, el contrato A es más oneroso porque los requisitos planteados para el ejercicio de la opción tienen mayor probabilidad de que se cumplan. En tal caso, el derecho de adquisición se ejercería en mayor número de años y los regantes dispondrán de menos agua para riego en menos campañas, y en consecuencia exigirán una compensación económica mayor.

Pero el resultado central de este trabajo es comparar los resultados económicos del contrato de opción con los de las estrategias recogidas en el manual de EMASESA. La figura 1 presenta de manera esquemática los resultados del análisis. En él se muestran los resultados medios o esperados de los costes sociales, por déficit de suministro, y los resultados financieros asociados a las dos estrategias alternativas, el manual de EMASESA y el contrato de opción. Los costes correspondientes a las estrategias marcadas por el Manual de Sequía son independientes de los niveles de cesión por lo que se presentan como una línea horizontal. Las cifras están expresadas en miles de euros para un cuatrienio medio o representativo.

En la figura 1 se muestra, por tanto, la comparativa de los costes sociales y financieros asociados a la estrategia del Ma-

nual de Sequía de EMASESA y a las distintas modalidades de contrato para cada volumen de agua comprometido. Comencemos por comentar los resultados económicos correspondientes a las estrategias del manual de EMASESA. Se aprecia con claridad la gravedad del período de sequía como el vivido entre 1992 y 1995, como atestiguan los casi 19,8 millones de euros de coste social por déficit para un cuatrienio medio. Debe subrayarse que estos datos de coste social por déficit surgen una vez tenidos en cuenta los aportes complementarios que proporcionan las estrategias del manual de sequía de EMASESA. El coste financiero medio por cuatrienio de las mismas totaliza 4,2 millones de euros. El déficit medio de este supuesto no es muy elevado, situándose en 13,63 hm³, pero tiene una incidencia económica importante ya que de acuerdo a García Valiñas (2002) la disposición a pagar por disponer de un metro cúbico no servido se sitúa en torno a 1,41 €/m³, lo que da lugar a un elevado coste social asociado a la suspensión temporal del suministro.

Siguiendo la interpretación de la figura, e incidiendo en los resultados de las distintas modalidades del contrato de opción, comencemos por analizar los tres contratos (A, B y C) respecto de los distintos volúmenes comprometidos. Se aprecia con claridad que los contratos con volúmenes reducidos, 30 ó 60 hm³ por año, comportan un coste financiero reducido pero tienen una menor capacidad para reducir el coste social asociado a los déficit. Por el contrario los contratos que comprometen volúmenes elevados, 150 ó 180 hm³ por año, tienen un coste financiero elevado y una

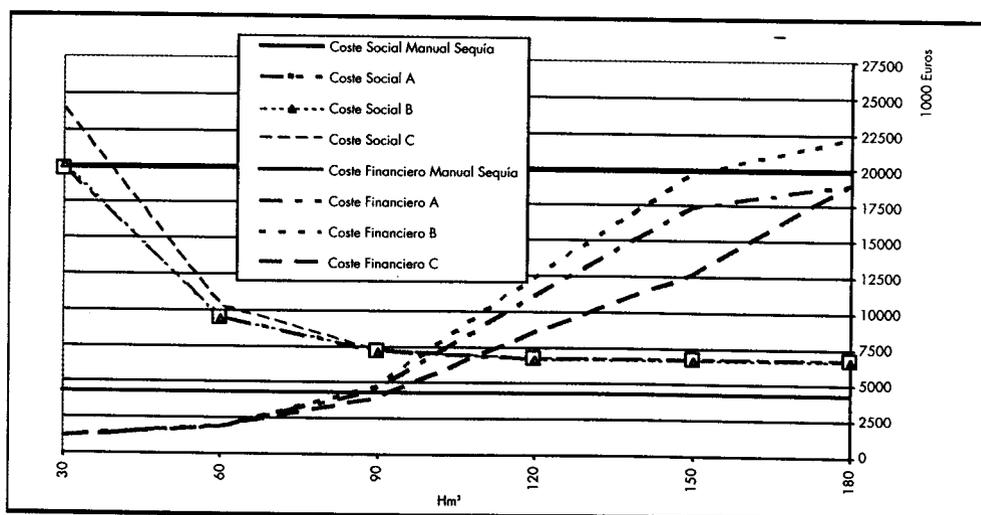


FIGURA 1. Coste social y financiero por volumen de agua comprometido para cada modalidad de contrato y frente al coste asociado del Manual de Sequía.

capacidad de reducción del coste social algo más elevada, pero que encuentra un límite en 2 millones de euros. De estos datos se deduce que el volumen de agua más apropiado para ser transferido es de 90 hm³. Además, la probabilidad de incurrir en sequía no disminuye para cantidades comprometidas superiores a 90 hm³, aunque en cualquier caso la probabilidad de incurrir en sequía es siempre inferior con un contrato de cesión que con las estrategias del Manual de Sequía. Este límite de reducción del déficit viene determinado por los propios límites del embalse de El Pintado. Dicho de otra forma, y refiriéndonos a las condiciones impuestas en el contrato en virtud de las ecuaciones [1] y [2], el contrato sólo obliga a la CR de El Viar a entregar los aportes del último período siempre que se den las condiciones de ejecución. Por tanto, aunque contractualmente se obligue a una entrega de 150 ó 180 hm³ en los contratos más cuantiosos, en la realidad los contratos de 120 ya se topan con las limitaciones del propio sistema. Una conclusión a destacar es que los contratos de más de 120 hm³ no aportan más recursos adicionales, pero tienen un coste muy elevado por las restricciones que imponen a los regantes. En consecuencia deben quedar descartados.

De lo anterior se concluye que el contrato más equilibrado es aquel que plantea un compromiso de entrega de 90 hm³, y en particular debería plantearse en la modalidad de contrato C (contrato C-90). Este contrato, frente a las estrategias del manual de EMASESA, proporciona una reducción del coste social por déficit de 65% y del coste de financiero ligeramente menor, siendo alrededor del 8%. Frente a las otras modalidades de contratos, también presenta resultados económicos más favorables. Aceptando que el contrato C-90 se muestra como el más adecuado, nos cuestionamos la posibilidad de aplicar una estrategia mixta que combina la aplicación de un contrato de cesión con la aplicación de

las estrategias que define el Manual de sequía cuando el contrato no sea capaz de compensar en su totalidad el déficit del sistema. La solución mixta reduce considerablemente el coste social, puesto que neutraliza las situaciones de sequía extrema. Ello es así porque se dispone de recursos adicionales cuando estos se precisan, aunque por ello asuma un coste financiero algo superior a los soportados en las soluciones individuales.

Por último, siguiendo la misma metodología, se ha simulado una serie de aportes reales correspondiente al período de 1992-1998 para cada una de las soluciones evaluadas. En la Tabla 5 se cuantifican los costes asociados al déficit de este último período de sequía sufrida en la cuenca del Guadalquivir (1992-1995). Los resultados para este período muestran la magnitud del déficit hidrológico del sistema, por lo que unos aportes hipotéticos de 90 Hm³ anuales serían incapaces de neutralizar este déficit si éstos se aplicarían de forma aislada, es decir, considerando la firma de un contrato de opción de cuatro años como el que aquí se propone para solucionar el problema puntualmente. No obstante, su hipotética aplicación en este período hubiera supuesto un coste financiero inferior al que se produjo realmente mediante la aplicación de tomas de emergencia y otras medidas llevadas a cabo por EMASESA, que como se ha visto, tampoco fueron capaces de neutralizar el déficit en su totalidad. Sin embargo, si el contrato se aplicara de forma continuada durante un período de tiempo mayor mediante la concatenación de contratos de cuatro años, la situación mejoraría radicalmente, pues en este caso el período de sequía partiría con unos niveles de reserva más favorables una vez practicadas las cesiones. La figura 2 muestra como sería esta situación en el período de sequía 92-95. Puede apreciarse como en situaciones de sequía extrema las estrategias seguidas en el Manual de Sequía son incapaces de solucionar el problema.

COSTES (10 ⁶ €)	CONTRATO DE OPCIÓN	GESTION DE SEQUÍA DE EMASESA
COSTE SOCIAL	480,173	325,818
COSTE FINANCIERO	3,882	28,790
COSTE TOTAL	484,055	354,608

Fuente: Gómez Ramos y Garrido (2004)

TABLA 5. Costes incurridos en el período de sequía 92-95 bajo el contrato C-90 y la gestión de EMASESA.

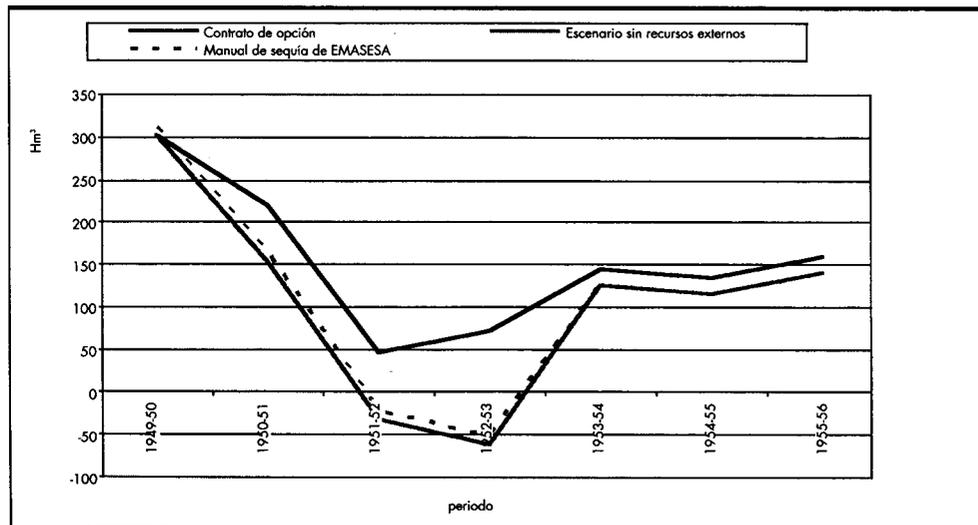


FIGURA 2. Niveles de déficit del sistema de abastecimiento de Sevilla durante el período de sequía 92-95 a través la simulación de la serie histórica de aportes 1949-56.

5. CONCLUSIONES

El abastecimiento de agua de Sevilla y de su zona de influencia es vulnerable a situaciones de déficit hídrico como demuestran los momentos críticos sufridos en la anterior sequía durante el período 1993-95. Este abastecimiento se ha visto sometido al rápido crecimiento de las necesidades de suministro con el consiguiente agotamiento de los recursos más accesibles. El proceso repite fielmente en Sevilla el modelo general de crecimiento de las demandas urbanas y de expansión del espacio ambiental de las ciudades modernas (del Moral et al., 2002). Ante el panorama que plantea el abastecimiento de Sevilla y su área metropolitana, la empresa encargada del suministro (EMASESA) ha recurrido a la flexibilización de la oferta de los recursos disponibles mediante la utilización de recursos externos al sistema y a la reducción de la demanda.

La utilización de los recursos procedentes del embalse de El Pintado, cuya concesión de uso pertenece a la C.R. de El Viar, es una de las soluciones barajada por ésta, solución que en cierta forma fue puesta en práctica en el último episodio de sequía. Sin embargo como solución radical al problema de suministro en el sistema, EMASESA ha optado por recurrir a la estrategia tradicional de un aumento estructural de la oferta mediante de construcción del embalse de Los Melonares. Sin embargo. Este trabajo retoma la solución anterior basada en la cesión de los recursos de El Pintado mediante una propuesta de gestión conjunta de este embalse entre los usos agrarios y los urbanos. La principal aportación de esta propuesta es la incorporación del riesgo en la gestión de los recursos con el objeto de optimizar su asignación, alcanzando de este modo una asignación más eficiente de los recursos. Este reparto se articula a través de un contrato de cesión basado en el mecanismo de las opciones, de forma que EMASESA tiene el derecho de opción de compra sobre los recursos del Pintado y la C.R. de El Viar se compromete a la cesión de una cantidad preestablecida cuando la empresa lo demande.

El análisis de costes y riesgo asumido por EMASESA tras la suscripción de un contrato de estas características permite deducir que el volumen a ceder que optimiza la gestión del sistema minimizando tanto costes como riesgo es de 90 hm³, resultado obtenido a través de la simulación de distintas modalidades del contrato (que difieren en la cantidad comprometida y las condiciones de cesión) en las partes contratantes y enfrentando estos resultados a los que se obtienen mediante la simulación de actual escenario de respuestas a la sequía que plantea el Manual de Sequía diseñado por EMASESA.

La principal consecuencia de este tipo de contratos es que los regantes perderían una parte variable del potencial productivo del regadío, si bien las condiciones de la cesión proporcionarían un tiempo suficiente de anticipación a la reducción de su dotación. Ello les permitiría sembrar cultivos de secano o cultivos de regadío de menor consumo en una mayor proporción de sus explotaciones, adaptándose así a las restricciones impuestas por el cumplimiento del contrato. De este modo el contrato no sólo debe compensar a los regantes por los caudales cedidos sino también por el riesgo adicional que conllevan los compromisos del contrato.

Para EMASESA el contrato supone la adición virtual de un nuevo embalse que no deben construir o gestionar que permitirían disponer de 90 hm³ anuales en caso de ser necesarios, y que supondría un coste para cuatro años de unos 4 millones de euros. Los recursos adicionales serían fácilmente trasladables a la red de EMASESA, que tendría así una reserva de un agua de excelente calidad disponible en los años que estuvieran precedidos de una situación de sequía moderada o grave. Los datos demuestran que, incluso en este supuesto, la probabilidad

de experimentar un déficit no se elimina por completo. Pero se reduce significativamente, tanto en su magnitud como en su probabilidad a un coste casi tres veces inferior al que supone llevar a cabo las medidas recogidas en el Manual de Sequía de EMASESA. No obstante, cualquier contrato de opción mejora el nivel de reserva medio del sistema de embalses del suministro de agua potable respecto al obtenido con la alternativa de gestión de la sequía basada en su Manual de Sequía. Se considera que esta solución sería fácilmente asumible por el regante, puesto que se trata de la modalidad de contrato que mejor permite compensar las pérdidas incurridas por la cesión con un nivel de riesgo admisible.

La simulación del contrato de opción en el último episodio de sequía sufrido por la ciudad de Sevilla entre 1992 y 1995 ha permitido constatar su gravedad. Las cesiones simuladas para el contrato propuesto no han sido capaces de compensar el déficit hidrológico del período 92-95, aumentando considerablemente el coste social. Sin embargo, el coste financiero soportado por la compra de recursos a través del contrato resulta mucho menor.

El coste por metro cúbico que conlleva la implementación del contrato de opción es de 4,2 cts frente a los 0,53 € que se estiman por la construcción del embalse de Los Melonares (ver Gómez Ramos, 2004). Es por tanto una alternativa viable no sólo frente a las estrategias tradicionales planteadas en el Manual de Sequía seguido por EMASESA, sino también frente a la solución estructural basada en la construcción del embalse de Los Melonares.

6. REFERENCIAS

- AGUADO, F., (2000), "Allocating Urban and Agricultural Water Supply Co-operatively in Spain: Seville". Comunicación presentada en 2d. Rosemberg International Forum of Water Policy. Barcelona, 15 -17 de Noviembre.
- DEL MORAL, L. et al., (2002), "El Sistema de Abastecimiento de Agua en Sevilla: Análisis de Situación y Alternativas al Embalse de Melonares", Nueva Cultura del Agua. Serie Informes nº 5, Segunda Edición. Bilbao.
- EASTER, K.W., M. ROSEGRANT AND A. DINAR (Eds.), (1998), "Markets for Water - Potential and Performance". Kluwer Academic Publishers, New York.
- EMASESA, (1997), "Manual de Sequía". EMASESA, Sevilla
- GARCÍA VALIÑAS, M.A., (2002), "Tarificación Óptima para el Servicio de Agua en las Ciudades: Aplicaciones a tres Municipios Españoles". Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Octubre.
- GÓMEZ RAMOS, A. (2004), "El Contrato de Opción como Instrumento de Cesión de Agua. Una Aplicación a la Ciudad de Sevilla". Tesis Doctoral. Departamento de Economía y CCSS Agrarias. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Enero 2004.
- GÓMEZ RAMOS, A. Y GARRIDO, A. (2004), "Formal Risk-Transfer Mechanism for Allocating Uncertain Water Resources. The Case of Option Water". Water Resources Research, 40 W12302, DOI: 10.1029.
- JOHNSON, M. E. Y A. TENENBEIN, (1981), "A Bivariate Distribution Family with Specified Marginals". Journal of the American Statistical Association. 76(373), pp: 198-201.
- VILLINSKI, M.T., (1999), "A Numerical Quadrature Approach to Option Valuation in the Water Markets". Comunicación presentada en AAEA Annual Meeting. Agosto 8-11, Nashville, Tennessee. USA.
- VOSE, D. (2000). "Risk Analysis. A Quantitative Guide. Wiley". Chichester. Reino Unido.