

# **AGUA Y ENERGÍA EN ESPAÑA. UN RETO COMPLEJO Y FASCINANTE**

Enrique Cabrera, Miguel Angel Pardo, Enrique Cabrera Jr., Ricardo Cobacho.

ITA

Universidad Politécnica

Valencia

## **RESUMEN**

El comienzo del Siglo XXI está viendo la última crisis energética que por mor del cambio climático está teniendo un impacto social muy superior al de las precedentes. Por más que la actual coyuntura económica haya templado la escalada del precio del barril del petróleo (fue el 11 de julio de 2008 cuando alcanzó 147.25 dólares, su actual máximo) todo indica que tan pronto la economía recupere su pulso, el precio del petróleo registrará nuevos máximos y de nuevo la crisis energética volverá al primer plano de la actualidad.

Una crisis que ha servido para evidenciar el enorme gasto de energía que el manejo sostenible del agua comporta, situando en la primera página de las agendas política y científica al binomio agua – energía. Un interés acrecentado por la doble interacción del binomio con el cambio climático. De una parte porque el gasto energético aumenta la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y de otra porque de acuerdo con los pronósticos del Panel Intergubernamental para el estudio del Cambio Climático (IPCC) en muchas áreas geográficas de España, en especial la mediterránea, disminuirán las disponibilidades de recursos hídricos acentuándose el estrés que hoy ya sufren. De estas cuestiones, y de las dificultades que hay que superar para optimizar el uso de recursos tan estratégicos sobre todo como consecuencia de la dispersión de competencias en materia de agua y energía, se ocupa este trabajo.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Hasta hace pocos años la única relación agua - energía objeto de interés era el aprovechamiento de la energía de las corrientes de los ríos. Primero con norias y molinos y, a partir del siglo XIX, con turbinas. Interesaba, pues, el agua como fuente de energía mecánica y eléctrica. Pero propiciado tanto por el estancamiento de la producción de la hidroelectricidad como por la demanda energética que comporta tanto el manejo sostenible del agua como su producción (en algunas áreas, agotadas las fuentes tradicionales, hay que recurrir a la reutilización cuando no a la desalación), en el último lustro despierta mucho más interés la relación inversa, o sea, el recurso natural máspreciado como consumidor de energía.

Las cada vez más frecuentes sequías y el reto del cambio climático exigen mayores niveles de eficiencia en el uso de estos dos recursos, sobre todo porque su interdependencia amplifica el problema. El calentamiento global, la mayor evidencia del cambio climático, disminuye la disponibilidad de agua en las áreas de mayor estrés hídrico que además casi siempre coinciden con las de mayor demanda. Ello obliga, ya se ha dicho, a recurrir a fuentes alternativas energéticamente más consuntivas y a captar el agua subterránea desde profundidades mayores. Pero no acaba ahí la interdependencia. De una parte menos agua supone menos producción de energía hidroeléctrica y de otra más temperatura aumenta el consumo energético doméstico requerido por la climatización de las viviendas. Todo lleva a un mayor gasto de energía no renovable, favorece el cambio climático y alimenta, en fin, un ciclo vicioso de difícil control.

El presente artículo revisa en primer lugar el notable papel que ha jugado para la humanidad el agua como fuente de energía, una historia tan antigua como la vida misma aunque aún hoy de plena actualidad. Pero como los mejores aprovechamientos hidroeléctricos están ya en explotación, hoy esta relación concentra todos sus esfuerzos en mejorar la eficiencia de las turbinas. En segundo lugar se expone por qué manejar el agua de manera sostenible comporta un gasto de energía notable, análisis cuyo pistoletazo de salida lo marca la publicación del informe del Departamento de Energía del Estado de California (CEC, 2005b). Como también se verá Europa reacciona después siendo Inglaterra el primer país que, con un completo informe institucional (EA, 2008), aborda el problema.

El repaso que se hace del estado del arte en California y Europa tiene su continuación natural en España, un país al que este problema le afecta desde cualquier óptica en gran medida. Tanto por su notable dependencia energética del exterior como porque sólo estableciendo claras reglas de juego que, adecuadas al momento actual, ordenen el uso del agua y pongan fin a las disputas entre algunas de las autonomías que integran el Estado. Al tiempo, y no es ésta una cuestión menor, se amortiguarán los impactos generados por el cambio climático. Siendo esta una de las áreas geográficas del planeta a la que las predicciones de los modelos climáticos del IPCC (en lo referente a la disponibilidad de recursos) le auguran un futuro más sombrío, urge afrontar con decisión este asunto.

## **2. EL AGUA FUENTE DE ENERGÍA**

Desde hace varios milenios el agua se viene utilizando como fuente de energía. Y así las antiguas norias aprovechaban la velocidad del agua del propio río para, mientras llenaban sus cangilones, provocar el giro y con él, la elevación del agua. Hablamos del dispositivo más antiguo (Bonnin, 1984) pues no en vano su uso se remonta al siglo XVIII AC, es decir, hace ya unos cuatro mil años. Con todo para tener constancia documental del primer molino (Viollet, 2005) hay que esperar hasta el reinado de Mitríades (siglo I AC) en el antiguo Ponto, la Capadocia de hoy. Pocas décadas después de esta evidencia hay numerosas referencias a la utilización del molino de agua, tanto en Roma como en China, los dos grandes imperios de la época.

La antigüedad, pues, ve el nacimiento de numerosos dispositivos hidráulicos. Algunos, como los citados, utilizan el agua como fuente de energía. Otros, como la bomba de pistones o el tornillo de Arquímedes, elevan el agua con energía mecánica externa. La historia de estas primeras máquinas es, sin duda, apasionante. Bonnin presenta un cuadro con las características de los ingenios utilizados para elevar agua en la antigüedad (Bonnin, 1984) y los sitúa en el tiempo. Recientemente Viollet ha publicado un libro dedicado a esta fascinante historia (Viollet, 2005).

Pero las máquinas que intercambiaban energía hidráulica y mecánica en la antigüedad eran todas volumétricas. Es a partir del siglo XVIII (Brekke, 1996) cuando aparecen las primeras bombas y turbinas a reacción, cuya característica diferencial es el salto de presión que generan los rodets (positivo en las bombas, negativo en las turbinas). En concreto (Raabe, 1987) es Leonardo Euler quien en 1754 establece los fundamentos de unas máquinas que van a posibilitar todo el desarrollo de la hidroelectricidad, una fuente de energía que España potenció sobremanera en el siglo XX hasta llegar, ya en el 2006, a los 18278 Mw de potencia instalada con una producción de 36530 Gwh (MICT, 2007). Pero en España, como en casi todos los países desarrollados, esta fuente de energía da ya poco más de sí.

En el ranking mundial España, con sus 18,3 Gw instalados en 2006, ocupa el décimo lugar por detrás de Estados Unidos, China, Canadá, Brasil, Japón, Rusia, India, Noruega y Francia (IEA, 2006), lo que evidencia el gran desarrollo de esta energía en nuestro país. De hecho quienes nos preceden o tienen superficies muy grandes, o son muy ricos en recursos hídricos. O ambas cosas a la vez. En concreto el potencial de China, el mayor del mundo tras la entrada en servicio de la presa de las Tres Gargantas, es cinco veces superior al de España, aunque al gigante asiático tan gran potencia sólo le sirve para cubrir el 16 % de su demanda. Sin embargo Noruega con la energía hidroeléctrica prácticamente satisface sus necesidades, el 98,8 %, mientras Brasil, con el 83%, se acerca a objetivo tan deseable. En España su peso ha disminuido con el paso del tiempo. En el 2006 representó el 22,8 % (MICT, 2007) un valor típico dentro de la amplia horquilla en la que se suele mover (20 %  $\pm$  30 %), fiel reflejo de nuestra variabilidad climática.

Pero hoy la energía hidroeléctrica ya ha alcanzado prácticamente su techo. En los países desarrollados porque las grandes instalaciones están realizadas. Y en los que no lo están porque la sociedad de hoy, sin duda porque las experiencias negativas no escasean, es más sensible que la de hace unas décadas a las alteraciones medioambientales. Ejemplo palmario es la ya citada presa china de las Tres Gargantas en el río Yangtse. Finalizada hace ahora tres años (mayo de 2006), su construcción comportó el desplazamiento de más de un millón de personas y la evacuación de mil ciudades. Con su llenado han aparecido preocupantes inestabilidades geológicas y son ya evidentes los daños ambientales en el frágil equilibrio del río (Cody, 2007). Y como quiera que en las últimas décadas han aflorado muchos de los efectos secundarios derivados de la presencia de grandes presas antaño invisibles, cada vez se oyen con más fuerza voces, incluso lejanas a grupos ecologistas que, al efectuar análisis globalizados, cuestionan esta energía (NHSNL, 2006).

De cuanto antecede, breve resumen del agua como fuente de energía, se concluye que en los próximos años, al menos en los países desarrollados, el interés del mundo hidroeléctrico se dirigirá más a mitigar el impacto de las centrales existentes y a la mejora de sus rendimientos que a promover nuevas instalaciones (USBR, 2005; HQ, 2006). Fácil es, pues, anticipar que por lo que la relación agua - energía se refiere es el sentido inverso al hasta ahora tradicional (el agua fuente de energía al servicio del hombre) el que va a merecer una atención mayor.

### **3. EL AGUA CONSUMIDOR DE ENERGÍA**

El trasiego del agua (un m<sup>3</sup> pesa una tonelada) demanda importantes cantidades de energía por lo que siempre ha preocupado la mejora del rendimiento de los bombeos, como también optimizar los procesos de tratamiento y depuración. Sin embargo el análisis a lo largo del ciclo integral del binomio agua - energía es un asunto reciente pese a que sólo esta visión global permite evaluar el imponente gasto total que el manejo sostenible del agua requiere. En efecto, cada etapa del ciclo hídrico alternativo que recorre el agua para comodidad del hombre (desde su captación hasta su vertido final), exige un gasto de energía unitario, la huella energética del agua (HEA) en Kwh/m<sup>3</sup>. Un problema hasta ahora oscurecido por las notables inversiones que requieren las grandes obras hidráulicas, y porque el gasto lo asumen una infinidad de usuarios (domésticos, industriales y agrícolas). Todo ello ha propiciado que pase desapercibido, por más que la suma de muchos términos menores comporte un total imponente. En California (CEC, 2005b) ese gasto energético es el 19 % del consumo eléctrico y el 32 % del de gas (Tabla 1). En España, más adelante se verá, el asunto ya interesa, aunque por ahora sólo se han publicado análisis parciales e inconexos.

La Figura 1 sintetiza el triple nexo agua – energía – cambio climático. La HEA global (suma de las unitarias correspondientes a cada etapa del ciclo integral) depende del ciclo de cada ciudad o

sistema de riego, del mismo modo que las de emisión de GEI dependen tanto de la HEA correspondiente como del origen de la energía. La conversión agua – aire (Wolff y col., 2004) permite cuantificar esta segunda huella.

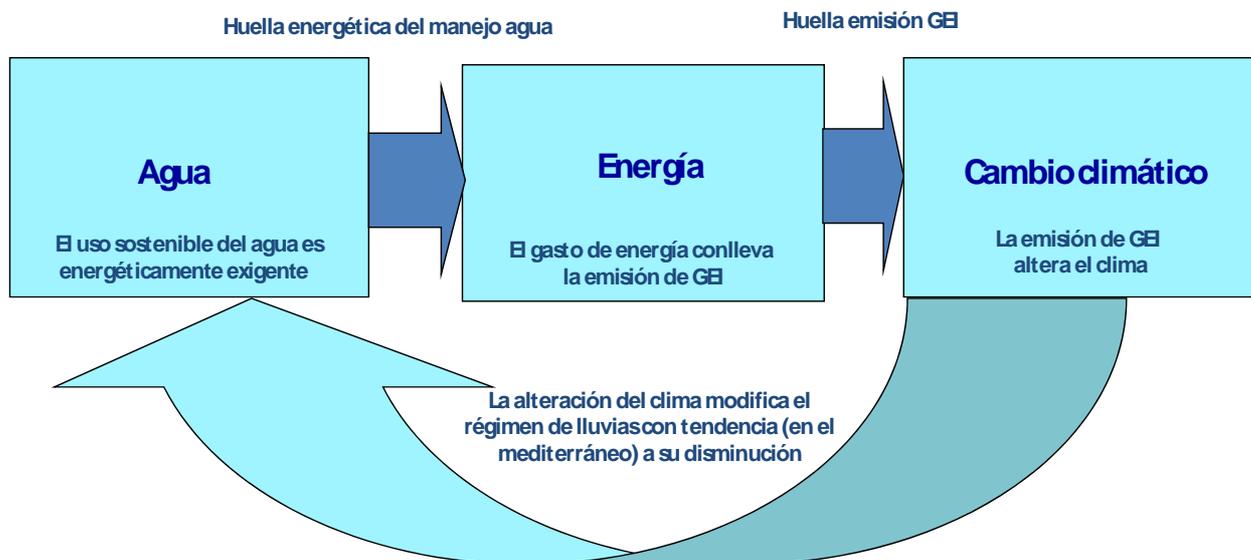


Figura 1.- El bucle agua – energía – cambio climático

Así pues el problema que se plantea, la racionalización conjunta del agua y de la energía, está directamente relacionada con el cambio climático. De una parte la mayoría de los modelos desarrollados en el marco del trabajo del IPCC prevén para el área mediterránea una reducción de los recursos hídricos de hasta el 30% (Milly y col., 2008) por lo que no es prudente aplazar en esta área geográfica la implantación de políticas de ahorro que mejoren la garantía de suministro. Máxime cuando la política del agua también debe poner todo cuanto esté de su parte para mitigar los efectos adversos del cambio climático. No en vano el ahorro de agua conlleva ahorro de energía y, en definitiva, minimiza la emisión de GEI.

La Figura 2 detalla las horquillas de las HEA obtenidas en California para distintos ciclos integrales (CEC, 2005b). Muestran mayor amplitud las etapas de captación, bombeo y transporte (lo justifica el largo trasvase desde el norte al sur del Estado) y la de potabilización (el mayor valor corresponde a la desalación). La figura no incluye, por los muchos matices que admite, la horquilla de los usos finales, pese a que de acuerdo con la Tabla 1 el mayor gasto de energía corresponde a esta fase. Por ello, y aunque siempre se ha procurado mejorar los procesos para ahorrar energía (los habidos en los últimos años en la desalación son espectaculares), el potencial ahorro de energía derivado de un uso más racional del agua, pese a su importancia, se ha venido ignorando. Así lo demuestra un reciente estudio (McMahon y col, 2006) que concluye que en una vivienda la mejor relación coste beneficio (en Kwh ahorrados) se consigue utilizando dispositivos de ahorro de agua domésticos. Es superior a cualquier otro programa de eficiencia doméstica como, por ejemplo, la sustitución de bombillas de incandescencia por otras de bajo consumo. Sólo con estos planteamientos integrales es posible evaluar, desde la óptica energética y de manera conveniente, las distintas políticas de ahorro de agua. De hecho permite valorar tanto en términos absolutos (Tabla 1) como en relativos (Figura 2) la importancia de cada etapa.

Las HEA permiten evaluar el ahorro conseguido tanto reparando las fugas de las redes como anticipar las mejoras a obtener instalando aparatos domésticos de bajo consumo en viviendas. Son además función de la procedencia del agua de la red, siendo el manantial y la desaladora los casos extremos. También, aparte del ahorro de agua que pueda suponer, permite valorar desde la óptica

energética las ventajas de reutilizar frente al uso de agua procedente de un suministro natural. Un ahorro que permite derivar menos agua del medio natural al tiempo que disminuye el caudal que circula por los circuitos alternativos antrópicos. Y con un notable efecto multiplicador. Aumenta la garantía de suministro, favorece la vida acuática y reduce el consumo energético. El análisis aún es más favorable si se consideran los ciclos de vida de los materiales que cada solución (bien aumentar el suministro, bien gestionar la demanda) requiere. De hecho sobredimensionar las obras supone un gasto de energía adicional, el asociado a toda obra. Por ello es cada vez más frecuente incluir en los estudios los costes de los ciclos de vida y las implicaciones energéticas de las soluciones analizadas (Filion y col., 2004). Estos estudios también permiten clarificar qué aumento de la oferta (reutilización o desalación de agua) es mejor (CEC, 2005a) aunque lo mejor casi siempre es gestionar mejor (EPA, 2002).

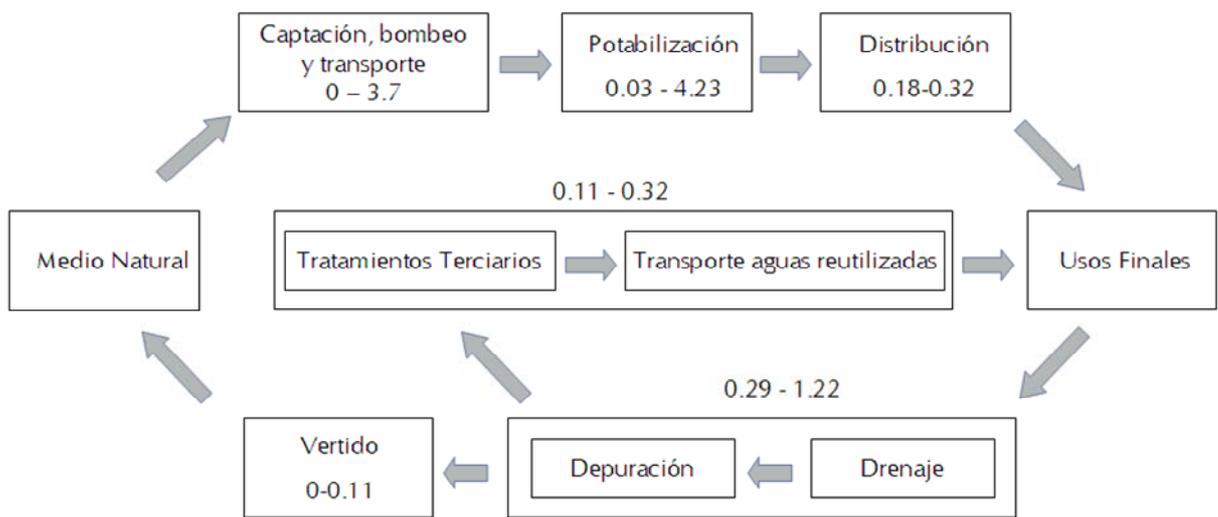


Figura 2.- Horquillas de las HEA unitarias en California (CEC, 2005b)

	Electricidad (GWh)	Gas natural (millones de termias)	Diesel (metros cúbicos)
<b>Suministro de agua y depuración</b>			
Urbano	7554	19	?
Agrícola	3188		
<b>Usos finales</b>			
Agrícola	7372	18	333080
Residencial	27887	4220	?
Comercial			
Industrial			
<b>Tratamiento de agua</b>	2012	27	?
<b>TOTAL</b>	48012	4284	333080
<b>Consumo total año 2001</b>	250494	13571	?
<b>Porcentaje de energía en el Estado</b>	19%	32%	?

Tabla 1.- Gasto energético ligado al agua en California (CEC, 2005b)

De cuanto antecede se infiere la conveniencia de coordinar las políticas hídrica y energética, aunque previamente habrá que reestructurar la propia política del agua pues el nexo agua – energía sólo tiene sentido caracterizando todo el ciclo del agua. Porque la atomización, no exenta de falta de coordinación, de las competencias hídricas propicia que muchas etapas del ciclo en la práctica se ignoren entre sí. Un ejemplo, si el control de los recursos (etapas de captación y transporte en alta) corresponde a la administración estatal mientras los ayuntamientos gestionan el agua urbana, sin un organismo regulador que las ordene y relacione las dos políticas estarán desacopladas. Más adelante se insiste en esta cuestión.

#### **4. AGUA Y ENERGÍA, UN ASUNTO EN LA CRESTA DE LA OLA**

Hasta hace unos pocos años el interés por mejorar la eficiencia de los procesos era directamente proporcional al precio de la energía. Lo evidencia la correlación que existe entre la evolución temporal del gasto en I+D en los países miembros de la International Energy Agency (IEA, 2008) y el precio del barril de petróleo. La comparación de la Figura 3, que detalla la inversión en I+D dedicada a las diferentes alternativas que existen para generar energía, y la Figura 4, que muestra la evolución de los precios del barril de petróleo tanto en dólares del año en curso como en dólares de 2006, así lo evidencia. Significar, además, que la Figura 4, por finalizar en el 2006, no registra el máximo comentado de Julio de 2008 (147,25 dólares). Y por último subrayar la estrecha relación entre coste del petróleo y el gasto en I+D, con un cierto desfase indicador del tiempo de respuesta de la acción política a la perturbación generada por el mercado del petróleo.

Las gráficas muestran con claridad la crisis de 1973 y dejan en el aire el desenlace de la actual cuyo final, obviamente, se desconoce. Y ello porque a la ya mentada correlación derivada del encarecimiento del precio del petróleo hay que añadir un nuevo ingrediente antaño inexistente, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Un asunto que adquiere máxima relevancia a partir del Protocolo de Kioto (diciembre de 1997). Doce años más tarde (diciembre de 2009) será revisado en Copenhague con ocasión de la Cumbre del Clima de la ONU.

Finalmente, y puesto que el asunto que nos ocupa es la relación agua – energía, conviene llamar la atención sobre el trato de la Figura 3 a la energía hidroeléctrica. De hecho está incluida en el apartado “otros” o, tal vez, en el bloque de las energías renovables, lo que demuestra que por las razones expuestas anteriormente su pérdida de protagonismo en el panorama del I+D. Su papel es y seguirá siendo muy importante, pero su margen de mejora es muy limitado.

Sin embargo la relación inversa agua – energía despierta hoy el mayor interés porque, al revés de la hidroelectricidad, su margen de mejora enorme. Desde que vio la luz el estudio de California (la Figura 2 y la Tabla 1 forman parte de sus principales conclusiones) el interés no ha parado de crecer. La propia Comisión de la Energía de California (CEC) revisa los resultados del primer estudio (CEC, 2006) y concluye que aún cuando la metodología seguida no es del todo sólida, las conclusiones principales son razonables.

Desde entonces, no sólo en California sino en todos los Estados Unidos, el interés por el asunto sigue creciendo. Y de entre la infinidad de publicaciones que han visto la luz se comentan por su carácter estratégico e institucional dos de ellas. La primera el informe que eleva el Departamento de Energía al Congreso de los USA en 2006 (DOE, 2006). Un informe que abunda en muchos de los aspectos que en este trabajo se subrayan. Además de destacar que en gran medida el progreso habido en los USA lo ha propiciado la construcción de las grandes infraestructuras hidráulicas y

energéticas, subraya que la prioridad máxima es coordinar mejor las dos políticas y buscar sinergias, una cuestión que por su importancia se retoma más adelante. El segundo informe que se trae a colación son las conclusiones del taller organizado por la Environmental Protection Agency (EPA). Sus conclusiones (EPA, 2008) resumen muy bien los retos y oportunidades que tiene planteados el binomio agua – energía.

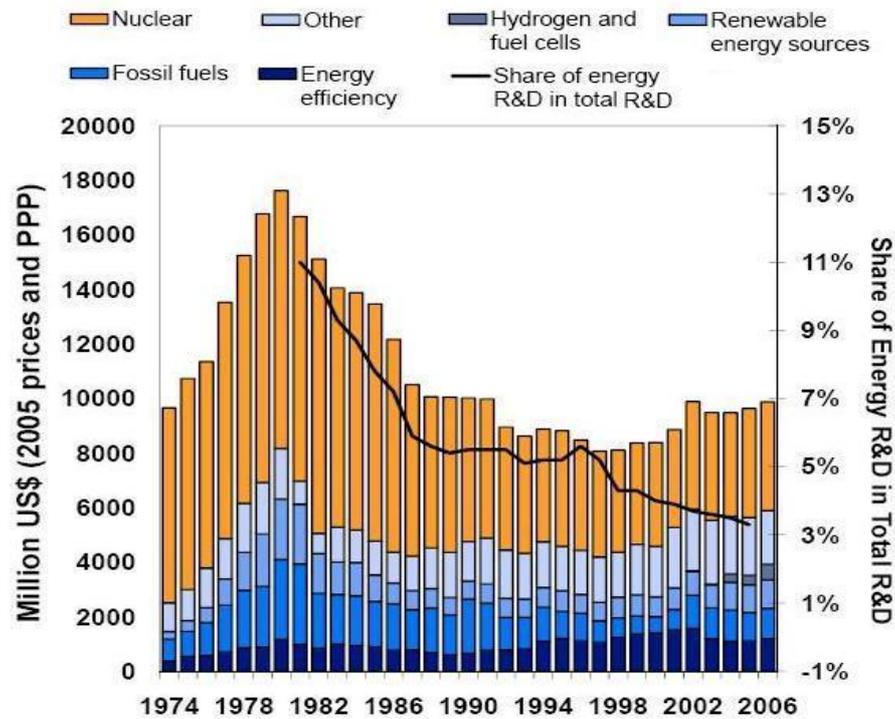


Figura 3.- Inversión en I+D en los países adscritos a la IEA (IEA, 2008)

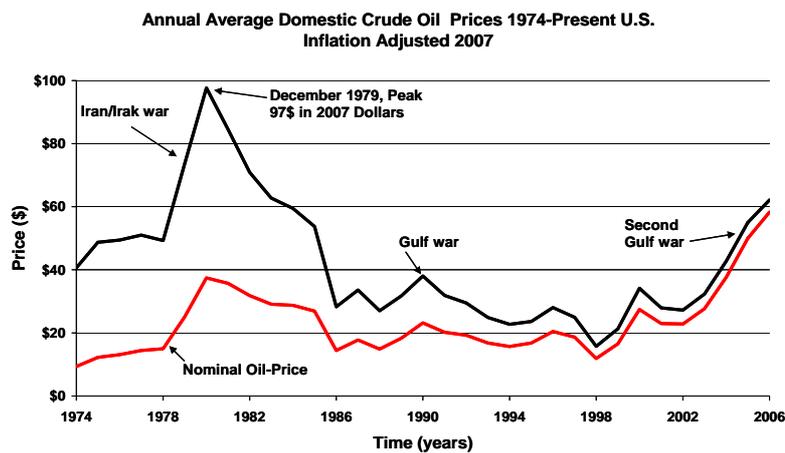


Figura 4.- Precio nominal y actualizado del petróleo (www.inflationdata.com)

El interés por la relación agua – energía en Europa es más reciente. Hay que esperar a 2008 para que vea la luz en Inglaterra el primer informe institucional. Publicado por la Environment Agency (EA, 2008) centra el problema en el ámbito urbano mientras ignora el riesgo porque en ese país la agricultura es una cuestión menor. Aborda con notable detalle el cálculo de la huella de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) correspondiente al uso de agua de una procedencia concreta, huella que incluye también el impacto energético de los Ciclos de Coste Vida. Y ante la necesidad de

mejorar la garantía de servicio propone, desde esa óptica, explorar diversas alternativas. En concreto compara aumentar la oferta con una desaladora frente al ahorro con un programa de gestión de la demanda. No se comentan los resultados (que por otra parte se pueden intuir) porque conviene centrarse en el objetivo principal de este trabajo, la necesidad de que cualquier análisis incluya todo el gasto energético que conlleva cada una de las opciones contempladas.

Por lo que a la Unión Europea se refiere las iniciativas son recientes. Una de las primeras la llevó a cabo en febrero de 2008 la Global Water Research Coalition. El taller “Agua y Energía” celebrado en Londres se centró en la mejora de la eficiencia de los procesos de depuración. El objetivo, reducir el consumo de energía un 20% (GWRC, 2008). Un análisis tan parcial del binomio agua energía se debe a que en la coalición participan empresas distribuidoras de agua. Sin embargo, sí realiza un análisis global de la interacción agua energía el taller celebrado en Bruselas en Enero de 2009 “The Energy-Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future” organizado por la oficina COST de la Unión Europea. También destacar que a finales de Octubre de este 2009 se celebrará en Copenhague la Conferencia Water & Energy, promovida por la IWA, anticipo a la Conferencia de Naciones Unidas “UN Climate Change Conference, COP15” cuyo objetivo es reimpulsar los acuerdos de Kioto.

Por último, y como prueba evidente del interés que para la Unión Europea tiene el binomio agua energía conviene referirse a la convocatoria del VII Programa Marco (EU, 2009). El Work Programme anexo a la convocatoria detalla los contenidos. En el tema VI, Medio Ambiente (cambio climático incluido) el área 6.3.1.1 está referida al agua, centrándose el epígrafe 6.3.1.1-1 en las “Technologies and systems for urban water cycle services”. Tras sintetizar los objetivos a cubrir por los proyectos como conclusión indica que sus resultados permitirán “*Assist water authorities and utilities in formulating appropriate urban water policies and levels of service criteria and their subsequent implementation. Increase understanding of urban water-energy relationship and develop tools and techniques to implement urban integrated water and energy resource management*”. Sobran comentarios.

## **5. AGUA Y ENERGÍA EN ESPAÑA**

Con todo lo más sorprendente es que en los países del área mediterránea en general y en España en particular, pese a la escasez de agua y a la dependencia energética que todos tienen, un asunto tan trascendente apenas ha merecido atención. Hasta el momento no se ha publicado ningún tipo de estudio referido al consumo energético asociado al ciclo integral del agua. Tan sólo algunos trabajos interesantes, aunque parciales, han visto la luz. Por su sentido de la anticipación destaca el de Sala, centrado en la Costa Brava (Sala, 2007). Realizado en 2002, el análisis contempló 29 fuentes de suministro diferentes, incluyendo las fases de captación/extracción, tratamiento y distribución y 18 plantas depuradoras, considerando las etapas de recolección, transporte y tratamiento biológico. Las mayores horquillas (Tabla 2) corresponden al suministro y reflejan casuísticas diferentes (sobre todo procedencia del agua y cota de la población). El estudio obtuvo valores dentro del orden de magnitud del estudio de California (CEC, 2005b).

Por lo que al regadío respecta, no existen datos actuales. Los que figuran en el Plan de Regadíos MAPA (2002) se remontan, aunque resulte difícil creerlo, al lejano 1995. Indican, además, que una parte importante del gasto energético no es eléctrico, por lo que la emisión de GEI es mayor. El consumo eléctrico (Tabla 3) estuvo próximo a los 3000 Gwh valor que, a día de hoy, bien pudiera acercarse (Tabla 4) a los 5000 Gwh. Un valor que también justifica la transformación del riego tradicional en riego por goteo que desde la óptica energética, es mucho más consuntivo.

Abastecimiento		Depuración	
Procedencia agua potable	Horquilla consumo (Kwh/m <sup>3</sup> )	Tipo planta	Horquilla consumo (Kwh/m <sup>3</sup> )
Superficial (corta distancia < 10 Km)	0.0002 – 0.37	Fangos activados convencionales	0.43 – 1.09
Superficial (larga distancia >10 Km)	0.15 – 1.74	Aireación prolongada	0.49 – 1.01
Subterránea (acuiferos locales)	0.37 – 0.75	Lagunaje convencional	0.05
Subterránea (acuiferos lejanos)	0.60 – 1.32		
Desalación (incluso distribución)	4.94 – 5.41		

Tabla 2.- Horquillas consumo de energía. Ciclo urbano del agua en la Costa Brava (Sala, 2007)

Comunidad Autónoma	Regadíos				Agricultura y Pesca		
	Bombeos		Labores	Total	Consumo	Consumo	Consumo
	Eléctricos	Gasoil	Gasoil	Gasoil	Energía	Gasoil	Energía
MWh	t	t	t	Ktep	t	Ktep	
Andalucía	530.863	48.047	108.505	156.552	270	467.191	581
Aragón	103.254	7.058	55.568	62.626	85	177.389	199
Asturias	0	104	377	481	0	52.492	52
Baleares	21.961	1.901	2.360	4.281	9	36.800	41
Canarias	139.294	9.419	4.061	13.480	43	49.210	79
Cantabria	39	99	356	455	0	36.842	37
Castilla-La Mancha	595.817	22.044	49.047	71.091	198	301.970	429
Castilla y León	190.330	27.627	67.866	95.493	136	436.927	476
Cataluña	46.221	14.334	36.663	50.998	61	286.221	296
Extremadura	58.686	13.813	29.309	43.122	56	95.567	108
Galicia	525	3.260	11.793	15.054	15	413.306	413
Madrid	10.111	1.710	3.804	5.514	8	81.953	84
Murcia	543.662	15.226	27.238	42.484	159	85.507	202
Navarra	26.281	1.450	11.416	12.866	18	44.053	50
País Vasco	2.963	519	1.878	2.398	3	137.211	138
Rioja	7.353	864	6.803	7.667	9	32.557	34
Valenciana	589.868	14.903	48.556	63.459	190	214.691	341
<b>Total</b>	<b>2.867.228</b>	<b>182.399</b>	<b>465.601</b>	<b>648.000</b>	<b>1.261</b>	<b>2.949.884</b>	<b>3.563</b>

Tabla 3.- Consumo de energía en regadíos, agricultura y pesca por autonomías (MAPA, 2002)

Pero hasta el momento nadie ha valorado el total de energía ligada al agua en España. Una primera estimación se puede realizar a partir de la demanda total de agua que, de acuerdo con los planes de cuenca vigentes (MIMAM, 2000) es de unos 35000 hm<sup>3</sup>/año, correspondiendo el 68 % al regadío, el 18 % al uso urbano e industrial, y el 14% restante a la refrigeración de centrales productoras de energía. En valores absolutos significa que el regadío consume 23800 hm<sup>3</sup>/año y el suministro urbano 6300 hm<sup>3</sup>/año. Con estos valores y admitiendo una HEA total media para todo el ciclo urbano del agua (en esta primera aproximación no se contemplan las inevitables pérdidas de agua de cada etapa) de 3 kwh/m<sup>3</sup> (incluyendo tanto la depuración como los usos finales que, ya se ha dicho, tienen la mayor HEA unitaria) y 0.2 kwh/m<sup>3</sup> para el regadío, el consumo total de energía eléctrica ligada al agua en España es el que figura en la Tabla 4.

Uso	Gasto de agua	Consumo unitario medio	Energía requerida
Urbano (ciclo completo)	6300 hm <sup>3</sup> /año	3 kwh/m <sup>3</sup>	18900 Gwh
Riego (ciclo completo)	23800 hm <sup>3</sup> /año	0.2 kwh/m <sup>3</sup>	4760 Gwh
<b>TOTAL</b>			<b>23660 Gwh</b>

Tabla 4.- Demanda de energía eléctrica (estimada) ligada al agua en España

El valor global se aproxima a los 24000 Gwh (la mitad del Estado de California) que para el consumo total del país de 223000 Gwh en el año 2005 (CNE, 2006), supone algo más del 10 % del total, obviamente inferior al 19 % de California. Sea cual sea (la Tabla 4 proporciona una primera aproximación) se trata de una cantidad lo suficientemente importante como para justificar un estudio preciso y global que por el momento ninguna administración se ha planteado realizar. Obsérvese, además, que para el regadío la estimación de la Tabla 4 es del orden de magnitud de la estimación antes realizada. No es, pues, arriesgado afirmar que en España el consumo de energía ligado al agua supera el 10%, un valor que justifica plenamente el estudio que se reclama.

Llegados a este punto de inmediato surge una pregunta. Y es ¿qué institución que debe liderar un trabajo tan necesario? Ya se ha visto que en California ha sido la Comisión de la Energía por lo que siguiendo el paralelismo debiera ser el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo que, ciertamente, acaba de mover ficha a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) retomando una iniciativa que previamente había liderado CIEMAT y de la que, tras un par de reuniones, se desentendió. Porque la actual iniciativa del IDAE no aborda un análisis integral. Se limita al análisis de la mejora de procesos (depuración y desalación). A través de la Fundación OPTI, el estudio planteado (OPTI, 2009) guarda un paralelismo total con el trabajo de la GWRC ya mencionado. El IDAE ha renunciado a un planteamiento global (pese a que en esta área es donde el margen de mejora es mayor) porque el ciclo integral del agua no es de su competencia.

El enorme potencial de ahorro de energía (la *embedded energy*, según el término acuñado por los sajones) no sólo justifica sino que exige plenamente la estrecha colaboración de todas las administraciones. Porque por cada m<sup>3</sup> de agua no utilizado la factura de energía disminuiría en media unos 3 Kwh, aunque para cada ciclo concreto habría que establecer una buena “métrica”, concretando qué valor, dentro de las horquillas detalladas en la Figura 2, le corresponde. Obviamente el ahorro de energía depende del punto del ciclo en que el uso se optimiza. Y así, en términos energéticos es más eficiente ahorrar agua en las viviendas (incluye todo el gasto energético hasta llegar a su uso final) que reducir las fugas en la red. Pero en definitiva todo contribuye de manera poderosa a ahorrar energía y a disminuir la huella de emisiones de GEI (Cabrera y col., 2009a).

Pero lo cierto es que hasta el momento la Administración española no ha lanzado, como sí han hecho otros países, una iniciativa integradora que en primer lugar evalúe el potencial ahorro de agua y energía y después disponga medidas e incentivos que permitan materializarlo. Porque hablamos de cifras notables. Por ejemplo la falta de renovación de redes urbanas obliga a recurrir a aljibes domiciliarios en los que, riesgos sanitarios aparte, por una inútil despresurización del agua se desperdician más de 200 Gwh/año, y todo ello sin contabilizar la energía que perdida con las fugas, también atribuible a tuberías obsoletas (Cabrera y col., 2009b). Y esta es sólo una vía de actuación. Hay otras muchas que, además de mejorar la gestión, activarían el mercado laboral (el manejo sostenible del agua es un yacimiento abundante de empleo) lo que en época de crisis económica con altos índices de paro, es una razón de peso adicional para andar ese camino.

Pero de momento lo que se atisba es una proliferación de eventos, todos presididos por el binomio agua y energía, más o menos relevantes. Y así han visto una reunión al menos Valencia (octubre de 2007, organizado por el ITA de la Universidad Politécnica), Madrid (noviembre de 2007, organizada por el Club Español de la Energía), Pamplona (mayo de 2008, organizado por el Gobierno de Navarra), y Zaragoza (septiembre de 2008, organizado por la Tribuna del Agua de la Expo) sin olvidar la sesión monográfica que hoy, en el marco de las primeras Jornadas de la

Ingeniería del Agua, celebramos. Por ello conviene pasar ya de los dichos a los hechos. Ojala que aquellos a quienes corresponda tomen buena nota.

## **6. EL CAMINO A SEGUIR EN ESPAÑA Y PRINCIPALES OBSTACULOS A VENCER**

El reto final que el trinomio agua, energía y cambio climático contemplado como un todo plantea, es racionalizar el uso de dos recursos clave para el bienestar de la Sociedad. Un objetivo con beneficios colaterales notables como la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, la mejora de la garantía de suministro y el amortiguamiento de los impactos derivados de un cambio climático que acecha. Para conseguirlo hay dos vías de actuación, la mejora de los procesos y la mejora de la gestión. La primera, desde siempre considerada, tiene la ventaja de poder abordarse de manera aislada para cada una de las etapas, una razón que explica la apuesta por la desalación del Ministerio de Medio Ambiente y del IDAE.

Sin embargo mejorar la gestión, pese a su superior margen, no ha merecido hasta ahora la menor atención. Sin duda porque es una tarea mucho más compleja y de resultados palpables en el medio – largo plazo. Exige coordinar administraciones, educar a los ciudadanos e introducir mecanismos económicos que propicien el uso racional del agua. Los obstáculos a salvar son tan complejos como evidentes. Superar las barreras institucionales (el estado de las autonomías y la atomización de competencias plantea retos formidables) comenzando por las de la administración del agua. Y con la política hídrica bien coordinada integrar también la política energética. Sólo de esta manera será de utilidad llevar a la práctica las acciones (la lista no es exhaustiva) que seguidamente se enumeran:

- Auditar bien todos los usos del agua. Al respecto existe un notable déficit dado que la Administración no tiene un buen conocimiento de los consumos. No sabe ni el agua que pierden las redes, ni se conocen los consumos reales (urbanos o agrícolas). No extraña, pues, que en los planes de cuenca las demandas se estimen. Conocerlos bien es una decisión política porque habilitando medios humanos y técnicos pueden determinarse con total precisión.
- Desarrollar buenas métricas de cálculo de las HEA correspondiente a los distintos ciclos del agua. A partir de ellas, y del conocimiento (que no estimación) de los usos, es inmediato relacionar los ahorros de agua con los energéticos.
- Implantar mecanismos económicos y sistemas tarifarios que propicien el uso eficiente del agua y, en consecuencia, de la energía.
- Incluir en los análisis tanto los costes ambientales como los costes energéticos asociados a los ciclos de vida de los materiales que intervienen en las soluciones que se exploren.
- Optar siempre por la solución que presente la mejor relación coste – beneficio. Efectuar análisis globales.
- Educar y sensibilizar a la ciudadanía. Introducir mecanismos económicos y de control no es, pese a su necesidad, plato de buen gusto. El ciudadano debe entender la razón del esfuerzo que se le pide para, de este modo, apoyar una acción política a priori impopular.

Con todo, una relación de acciones, pese a lo incompleta, tan extensa debe ser ordenada en el tiempo. Por ello la respuesta a la pregunta ¿por dónde empezar? es única. Por la coordinación de las administraciones implicadas para que todas juntas, apoyándose en un comité de expertos, delineen un Plan de Actuación integrado. Ya hay casuística al respecto, la liderada por el Departamento de Energía (DOE) del Congreso de los Estados Unidos que, en los primeros meses de 2005, encarga a los Laboratorios Sandía una hoja de ruta que conduzca a optimizar el uso

conjunto del agua y la energía. Tras un proceso bien descrito en la literatura (Hightower, 2005) el resultado final es el ya citado informe (DOE, 2006) que el Departamento de Energía eleva al Congreso de los Estados Unidos. Su contenido está basado, obviamente, en el trabajo de más de un año de una amplia Comisión de Expertos.

Un informe que concreta el papel del Gobierno Federal en tres acciones:

- Coordinar las administraciones.
- Plantear análisis globales porque lo que conviene desde una óptica puede que no sea lo mejor desde otra óptica alternativa.
- Optimizar las sinergias de las infraestructuras hídricas y energéticas.

La Figura 5 es la imagen que resumen las tres acciones precedentes. Un puzle complejo de encajar que, trasladado a nuestro país, sugiere que la Secretaría de Estado de Cambio Climático, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, no debiera estar tan ligada a una óptica y que mejor estaría adscrita a la Presidencia de Gobierno. Así sería más fácil realizar planteamientos en beneficio del todo y no de algunas de las partes. Porque el trinomio agua, energía, cambio climático es cuestión que afecta de manera muy directa a dos Ministerios (Medio Ambiente e Industria), pero no sólo a ellos. También, por las implicaciones económicas del asunto, afecta, y no poco, al Ministerio de Economía y Hacienda.



Figura 5.- El complejo puzle agua – energía – cambio climático (Hightower, 2005)

Pero con independencia de lo que al respecto haga la administración también se puede, bien que más lentamente, avanzar. Por ejemplo calculando métricas del problema (determinando las HEA y las de emisión de GEI). En este contexto se enmarca otra de las contribuciones de los autores a estas Jornadas (Murgui y col, 2009). También pueden plantearse objetivos más ambiciosos como los que abordará, si Bruselas lo aprueba, el proyecto WATERLIFE promovido por la Dirección General del Agua de la Comunidad Valenciana (Adapting water policies to include footprints and energy impacts) que ha sido presentado a la última convocatoria y en cuya redacción los autores de esta ponencia han trabajado activamente. Pero sin duda que sólo aunando esfuerzos (el primer

obstáculo a salvar es, ya se ha dicho, que la administración del agua actúe de modo coordinado) y haciendo planteamientos globales a escala nacional podrá afrontarse con garantías de futuro un reto tan formidable y que tanto condiciona el futuro de las generaciones venideras.

## 7. CONCLUSIÓN

Aún cuando tradicionalmente el agua ha sido considerada una fuente de energía, como la mayor parte de centrales hidroeléctricas rentables ya han sido construidas y la demanda de agua sigue creciendo, en los años venideros el interés se centrará más en el agua consumidora de energía. Sobre todo porque seguirá creciendo tanto la demanda de agua como el gasto unitario energético que su gestión sostenible comporta.

Para tomar las decisiones que convienen al futuro es necesario en primer lugar coordinar las administraciones. Sólo así se puede plantear el problema con una visión global e integradora. Este es un paso imprescindible pero en modo alguno suficiente. En segundo lugar se debe tener la información precisa, que a día de hoy no está disponible. El esfuerzo previo que al respecto debiera hacer la administración del agua es enorme. Y conocidos bien los usos, hay que determinar la HEA y de emisión de GEI para, con esta información, establecer los mecanismos que optimicen el uso eficiente conjunto de ambos recursos y al tiempo permitan apostar por las soluciones que mejor relación coste beneficio presenten. Como hasta ahora nadie ha planteado esta visión integrada, el margen de mejora que existe es formidable. Es, no hay duda, la única ventaja de haber ignorado hasta la fecha el binomio agua energía. Por último tampoco conviene olvidar la mejora de los procesos, aunque por el trabajo previo antes realizado en esta dirección, su margen de mejora es notablemente inferior.

## 8. REFERENCIAS

Bonnin J., 1984

*L'eau Dans l'antiquité. L'hydraulique avanti notre ère*  
Collection des Etudes et Recherches d'Electricité de France. Editions Eyrolles, Paris

Brekke H., 1996

*The hydroelectricity in the World. Present and future*  
XVIII IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Cavitation. Ed. E. Cabrera, V. Espert y F. Martínez Volumen I. pp 3-16. Kluwer 1996

Cabrera E., Pardo M.A., Cobacho R., Arregui F.J. y Cabrera E. Jr, 2009a

*Evaluation of carbon credits saved by water losses reduction in water networks*  
IWA International Conference on Water losses. Cape Town. Sudafrica.

Cabrera E., Pardo M.A., Cobacho R., Cabrera E. Jr., 2009b

*Energy audit of water networks*  
Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. En evaluación.

CEC (California Energy Comisión), 2005a

*Life-Cycle Energy Assessment of alternative Water Supply Systems in California. CEC 500 – 2005 – 101*

California Energy Comisión. State of California. Julio de 2005

- CEC (California Energy Comisión), 2005b  
*California's Water- Energy Relationship. Final staff report. CEC 700 – 2005 – 011 SF*  
California Energy Comisión. State of California. Noviembre de 2005
- CEC (California Energy Comisión), 2006  
*Refining Estimates of Water- Related Energy Use in California. CEC 500 – 2006 – 118*  
California Energy Comisión. State of California. Diciembre 2006
- CNE (Comisión Nacional de Energía), 2006  
*El consumo eléctrico en el mercado peninsular en el año 2005*  
Madrid, Julio de 2006
- Cody E., 2007  
*In Chinese Dam's Wake, Ecological Woes*  
Washington Post Foreign Service, Thursday, November 15, 2007, page A01
- DOE (Department of Energy), 2006  
*Energy Demands on Water Resource. Report to Congress on the Interdependency of Water and Energy.*  
US Department of Energy. Washington DC. USA
- EA (Environment Agency), 2008  
*Greenhouse gas emissions of water supply and demand management options*  
Science Report – SC070010, Julio 2008. EA. Bristol. UK.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2002  
*Cases in water conservation. How efficiency programs helps water utilities save water and avoid costs*  
United States Environmental Protection Agency Office of Water (4204M) EPA832-B-02-003
- EPA (Environmental Protection Agency), 2008  
*Summary of EPA Water and Energy Efficiency meeting. Chicago*  
United States Environmental Protection Agency Office of Water
- EU (Official Journal of the European Union), 2009  
*Call for proposals under the 2009 and 2010 work program of the 7th EC Framework Program for Research, Technological Development and Demonstration Activities, WP 2010*  
European Union, Official Journal of the European Union 30.07.2009. Bruselas.
- Filion Y., MacLean H., Karney B., 2004  
*Life-Cycle Energy Analysis of a Water Distribution System*  
Journal of Infrastructure Systems ASCE, September 2004 pp 120 – 130
- GWRC (Global Water Research Coalition), 2008  
*Water and Energy. Report of the GWRC Research Strategy Workshop*  
Global Water Research Coalition. London. United Kingdom
- Hightower M., 2005  
*Energy-Water Research and Development Roadmap*  
Sandia National Laboratories. Albuquerque. New Mexico. USA.

- HQ (Hydro Quebec), 2006  
*Hydro Quebec. Sustainability report, 2005*  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec. Canada
- IEA (International Energy Agency), 2006  
*Key world energy statistics 2006*  
International Energy Agency, Paris, Francia
- IEA (International Energy Agency), 2008  
*Energy Technologies Perspective, Scenarios & Strategies to 2050*  
International Energy Agency, Paris, Francia
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2002  
*Plan Nacional de Regadíos*  
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid
- McMahon J.E., Whitehead C.D., Biermayer P., 2006  
*Saving water saves energy*  
Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley. California. USA
- MICT (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo), 2007  
*La energía en España. 2006*  
Publicaciones del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.
- Milly P., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R., Kundzewicz W., Lettenmaier D., Stouffer R., 2008  
*Stationarity Is Dead: Whither Water Management?*  
Science Vol 319 February 2008 pp 573 – 574
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente), 2000  
*Libro Blanco del Agua en España.*  
Ministerio de Medio Ambiente. Madrid
- Murgui M., Cabrera E., Pardo M., Cabrera E. Jr., 2009  
*Estimación del consumo de energía ligado al uso del agua en la ciudad de valencia*  
Primeras Jornadas Ingeniería del Agua. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid.
- NHNSL (Natural History Society of Newfoundland and Labrador), 2006  
*The myth of hydroelectricity as “green” energy*  
History Society of Newfoundland and Labrador. Canada
- Raabe J., 1987  
*Great names and the development of hydraulic machinery*  
Hydraulics and Hydraulic Research. An Historical Review. Balkema - IAHR. Holanda.
- OPTI (Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial), 2009.  
*Agua y Energía. Estudio Prospectiva.*  
Madrid, septiembre de 2009.

Sala L., 2007.

*Balances energéticos del ciclo de agua y experiencias de reutilización planificada en municipios de la Costa Brava.*

Seminario Agua, Energía y Cambio Climático. Universidad Politécnica. Valencia.

USBR (US Bureau of Reclamation), 2005

*Managing water in the west: Hydroelectric power*

US Bureau of Reclamation. Denver. Colorado. USA

Viollet P.L., 2005

*Histoire de l'énergie hydraulique*

Presses de l'École Nationale des Ponts et chaussées. Paris

Wolff, G. Sanjay, G. and Winslow, M., 2004

User Manual for the Pacific Institute Water to Air Models

Pacific Institute. Oakland. California