

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

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

ITA, Universidad Politécnica Valencia  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia  
ecabrera@ita.upv.es

**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 con el gasto energético aumenta la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y de otra porque según 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 actual dispersión de competencias en materia de agua y energía, se ocupa este trabajo.

## 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 por el estancamiento de la producción de hidroelectricidad, por el gran consumo energético que el manejo sostenible del agua exige y, finalmente, por la necesidad de generar recursos alternativos (agotadas las fuentes tradicionales, en algunas áreas geográficas hay que recurrir a la reutilización cuando no a la desalación), en los últimos años despierta más interés la relación inversa, es decir, 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 suelen coincidir con las de mayor demanda. Ello obliga a recurrir tanto a fuentes alternativas energéticamente más exi-

gentes como a elevar el agua subterránea desde profundidades mayores. Y 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. Todos los vectores van, pues, en la misma dirección, a aumentar el gasto de energía no renovable, a propiciar el cambio climático y, en fin, a alimentar 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 y aún hoy de plena actualidad. Pero como los mejores aprovechamientos hidroeléctricos ya están operativos, hoy esta relación concentra sus esfuerzos en mejorar la eficiencia de las turbinas. En segundo lugar se expone por qué el manejo sostenible del agua 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 se verá, Europa reacciona después, siendo Inglaterra el primer país que aborda este análisis con un completo informe institucional (EA, 2008).

El repaso que se hace del estado del arte en California y Europa tiene su continuación en España, un país al que este asunto le afecta en gran medida desde cualquier óptica. Tiene notable interés tanto por nuestra dependencia energética del exterior como porque hasta ahora la gestión de la demanda no ha merecido la atención de la administración española por lo que el margen de ahorro de agua (y por tanto de energía) que existe es importante. Al tiempo, y no es una cuestión menor, una mejor comprensión de la relación agua - energía permitirá minimizar los impactos derivados del cambio climático. Siendo España una de las áreas del planeta a la que las predicciones de los modelos del IPCC le auguran un futuro más sombrío (los recursos hídricos pueden verse reducidos hasta un 40 %), conviene abordar con decisión este asunto.

### 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 en el propio río para, mientras llenaban sus cangilones, provocar el giro y con él, su elevación. Hablamos del dispositivo más antiguo (Bonnin, 1984) que se remonta al siglo XVIII AC, hace unos cuatro mil años. Con todo (Viollet, 2005), el primer documento que referencia un molino tiene una fecha muy posterior (siglo I en Ponto, la Capadocia de hoy). Sin embargo pocas décadas después, tanto en Roma como en China, los dos grandes imperios de la época, son numerosas las referencias al uso de los molinos de agua.

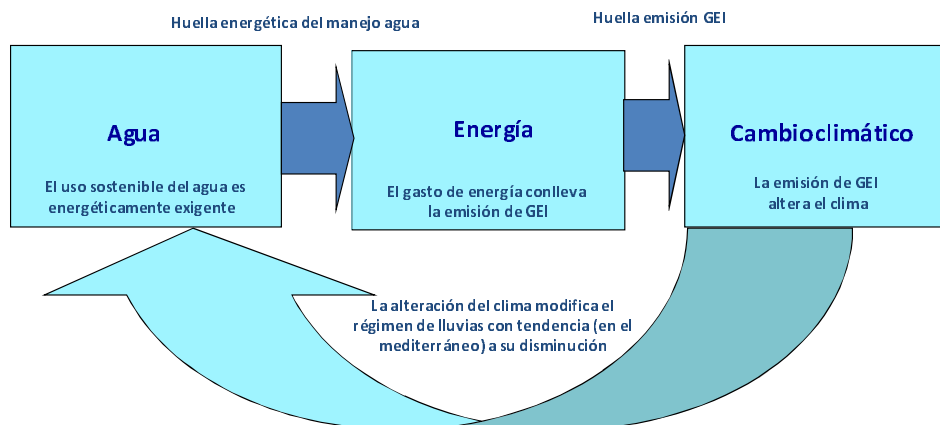
La antigüedad, pues, ve el nacimiento de numerosos dispositivos hidráulicos. Algunos, como los citados, utilizan el agua como fuente de energía. Otros, como la bomba de pistones o el tornillo de Arquímedes, elevan el agua con energía mecánica externa. La historia de estas primeras máquinas es, sin duda, apasionante. Bonnin presenta un cuadro con las características de los ingenios utilizados para elevar agua en la antigüedad y los sitúa en el tiempo (Bonnin, 1984). Y Viollet publicó no hace mucho un libro en el que cuenta esta historia (Viollet, 2005).

Pero las máquinas que intercambiaban energía hidráulica y mecánica en la antigüedad eran todas volumétricas. Hay que esperar al siglo XVIII (Brekke, 1996) para ver aparecer las primeras bombas y turbinas a reacción, cuya mayor diferencia con relación a las máquinas volumétricas de la antigüedad, es el salto de presión que generan los rodets (positivo en las bombas, negativo en las turbinas). En concreto será Leonardo Euler quien en 1754 establece las bases de las

máquinas que van posibilitar el desarrollo de la hidroelectricidad (Raabe, 1987). Una fuente de energía que potenciará España en el siglo XX hasta alcanzar, ya en el 2006, los 18278 Mw de potencia instalada, con una producción ese mismo año de 36530 Gwh (MICT, 2007). Pero en España, como en casi todos los países desarrollados, esta fuente de energía apenas da ya 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), prueba evidente del gran desarrollo que esta energía ha tenido en nuestro país. De hecho quienes nos preceden en el ranking o son países inmensos o, como Noruega, son extremadamente 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 su elevada potencia tan sólo le sirve para cubrir el 16 % de su demanda. Sin embargo a Noruega la energía hidroeléctrica prácticamente le basta para satisfacer sus necesidades (98,8 %), mientras Brasil, con el 83 %, se acerca a este objetivo tan deseado. En España el peso de la energía de origen hidroeléctrico 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 % 30 %), fiel reflejo de nuestra variabilidad climática.

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



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

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 será el sentido inverso (el agua usuario de energía) al hasta ahora tradicional (el agua fuente de energía) el que merecerá mayor atención.

### EL AGUA CONSUMIDOR DE ENERGÍA

El trasiego del agua (un m<sup>3</sup> pesa una tonelada) demanda importantes cantidades de energía, y por ello la mejora del rendimiento de los bombeos siempre ha preocupado, como optimizar los procesos de tratamiento y depuración. Sin embargo el análisis extendido a lo largo del ciclo integral del binomio agua - energía es asunto reciente pese a que sólo esta visión permite evaluar el imponente gasto total que el manejo sostenible del agua requiere. En efecto, cada etapa del ciclo hídrico artificial que recorre el agua para comodidad del hombre (desde su captación hasta su vertido final), exige un gasto de energía unitario, una 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 pero, sobre todo, porque el gasto lo asumen una infinidad de usuarios (urbanos, industriales y agrícolas), propiciando 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 como más

adelante se verá el asunto comienza a interesar. Una primera estimación indica que el porcentaje en ningún caso sería inferior al 10%.

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 de cada ciudad o sistema de riego, del mismo modo que las emisiones de GEI dependen tanto de la HEA correspondiente como del origen de la energía. La conversión agua - aire (Wolff *et al.*, 2004) permite concretar esta segunda huella.

Así pues el problema que se plantea, la racionalización conjunta del agua y de la energía, está estrechamente relacionada con el cambio climático. De una parte porque los más de los modelos desarrollados en el marco del trabajo del IPCC prevén para el área mediterránea una reducción de hasta el 30% de los recursos hídricos (Milly *et al.*, 2008), lo que aconseja implantar cuanto antes políticas de ahorro que mejoren la garantía de suministro en esta zona geográfica. Y de otra porque el ahorro de agua conlleva ahorro de energía y, en definitiva, minimiza la emisión de GEI. Por ello la política del agua debe poner todo cuanto esté de su parte para no con tribuir al cambio climático.

La Figura 2 detalla las horquillas de las HEA calculadas en distintos ciclos de agua urbanos en California (CEC, 2005b). Presentan mayor amplitud la etapa de captación, bombeo y transporte (lo justifica el largo trasvase de norte a 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 aho-

rar energía (son espectaculares los habidos en los últimos años en desalación), el ahorro inherente a un uso del agua más racional, pese a su importancia, se ha venido ignorando. Así lo demuestra un reciente estudio (McMahon *et al.*, 2006) que concluye que en una vivienda la mejor relación coste beneficio (en Kwh ahorrados) se obtiene utilizando dispositivos de ahorro de agua domésticos. Es superior a cualquier otro programa de eficiencia doméstica como, por ejemplo, el cambio de bombillas de incandescencia por otras de bajo consumo. Por ello sólo los análisis integrales permiten evaluar adecuadamente los beneficios derivados de las distintas políticas de ahorro de agua.

Las HEA permiten evaluar el ahorro conseguido reparando las fugas de las redes e instalando en las viviendas aparatos domésticos de bajo consumo. También, y con independencia del ahorro de agua que pueda comportar, permite valorar, desde la óptica energética, las ventajas de reutilizar agua frente a utilizar la procedente de un suministro alternativo. El ahorro de agua

supone detraer menos agua del medio natural al tiempo que disminuye el caudal que circula por los circuitos artificiales alternativos lo que tiene un notable efecto multiplicador. Aumenta la garantía de suministro, favorece la vida de otros ecosistemas y reduce el consumo energético.

El análisis coste beneficio de cada alternativa (aumentar el suministro frente a gestionar la demanda) aún es más favorable si se consideran los ciclos de vida de los materiales que cada una comporta. De hecho, sobredimensionar las obras supone un gasto de energía adicional, el asociado a toda obra. De ahí que comience a ser habitual que estos estudios incluyan los costes de los ciclos de vida de las soluciones analizadas con sus implicaciones energéticas (Filion *et al.*, 2004). Estudios que también permiten clarificar qué opción de aumento de la oferta (reutilización o desalación de agua) es ambientalmente más sostenible (CEC, 2005a). Pero, y en ello hay que insistir, siempre será la opción más favorable gestionar mejor (EPA, 2002).

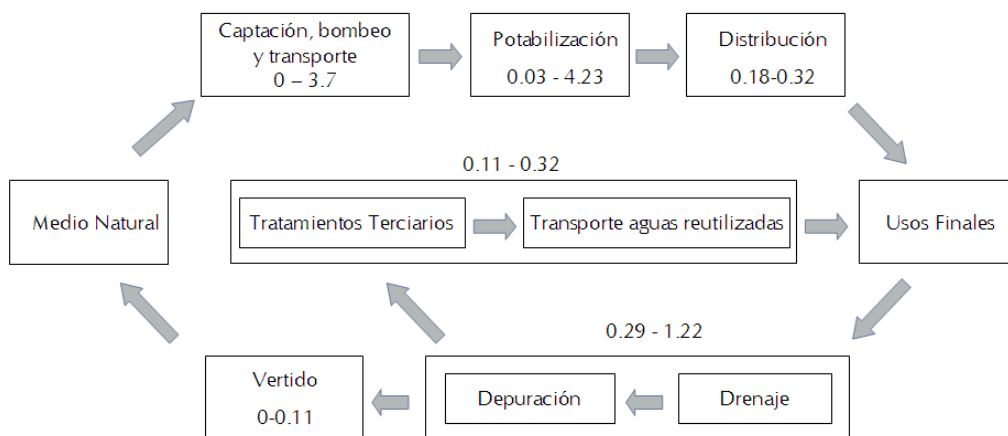


Figura 2. Horquillas de las HEA unitarias en California (CEC, 2005b)

	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>	<b>48012</b>	<b>4284</b>	<b>333080</b>
<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 necesidad de acoplar las políticas hídrica y energética, aunque previamente cada una de ellas deba coordinarse adecuadamente. No en vano el nexo agua – energía sólo tiene sentido caracterizando primero todo el ciclo del agua. La actual atomización, no exenta de falta de coordinación, de la administración española del agua propicia que muchas etapas del ciclo en la práctica se ignoren entre sí. Y así mientras el control de los recursos (etapas de captación y transporte en alta) corresponde a la administración estatal (o autonómica cuando las cuencas son intra-comunitarias), los ayuntamientos gestionan el agua urbana. Mientras no exista un organismo regulador que las coordine, estas etapas estarán desacopladas. Por la importancia estratégica del asunto, más adelante se abunda en ello.

### 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. Comparando la Figura 3 (que detalla la inversión en I+D dedicada a las diferentes fuentes de energía) con 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 se evidencia. Debe notarse que la Figura 4 (sólo alcanza hasta el 2006) no registra el máximo absoluto de Julio de 2008 (147,25 dólares el barril de petróleo). Por último conviene subrayar que la correlación entre coste del petróleo y el gasto en I+D evidencia un desfase, indicador del tiempo de respuesta de la acción política al aumento del precio del crudo.

Las gráficas muestran con claridad la crisis de 1973, dejando en el aire el desenlace de la actual cuyo final nadie conoce. Y ello porque a la ya mentada correlación derivada del encarecimiento del precio del petróleo hay que añadir un nuevo ingrediente, antes 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) que doce años más tarde, y con ocasión de la Cumbre del Clima de la ONU (Copenhague, diciembre de 2009), con escaso éxito se ha intentado actualizar. También conviene llamar la atención sobre cómo contempla la energía hidroeléctrica la Figura 3. Su inclusión en el bloque de las energías renovables confirma que, por las razones expuestas, ha perdido protagonismo en el presupuesto global dedicado al I+D. Su papel es y seguirá siendo importante, pero como su margen de crecimiento es muy limitado, con el paso del tiempo cada vez suscita menos interés.

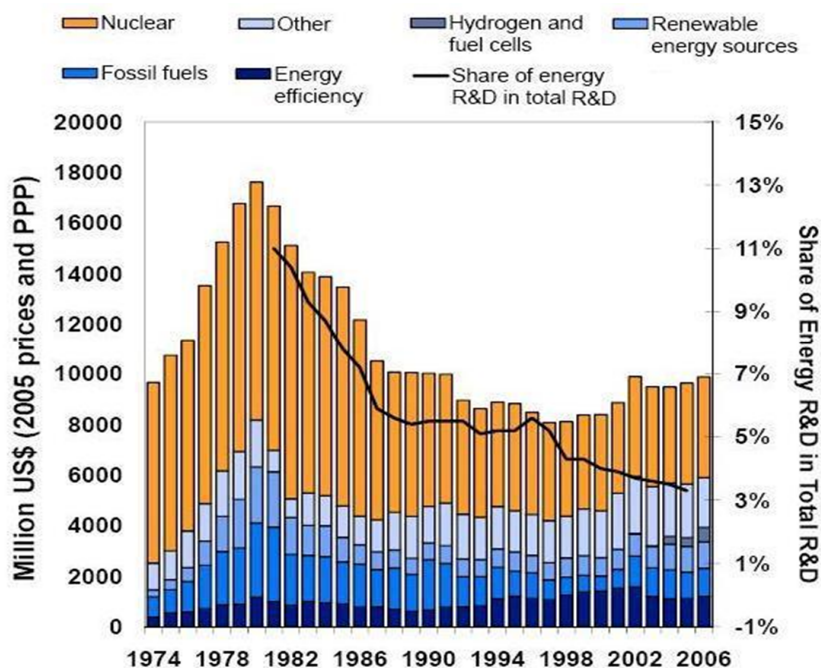
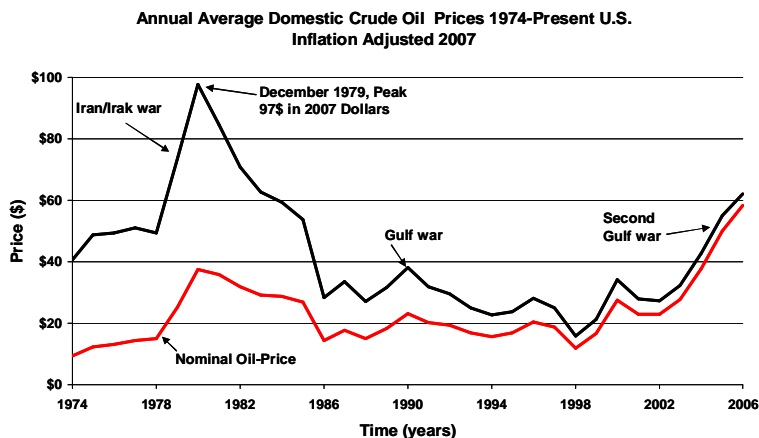


Figura 3. Inversión en I+D en los países adscritos a la IEA (IEA, 2008)



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

Sin embargo la relación inversa agua – energía cada día que pasa está más de moda porque, al revés de la hidroelectricidad, su margen de mejora es enorme. Desde que vio la luz el estudio de California (la Figura 2 y la Tabla 1 sintetizan algunas de sus principales conclusiones) los estudios proliferan por todo el mundo. La propia Comisión de la Energía de California (CEC) revisa los resultados del primer estudio (CEC, 2006) y concluye que, si bien la metodología seguida no es del todo sólida, las conclusiones principales son razonables. Con todo, este estudio es posterior a otro realizado en 2001 (Wolff y Wilkinson, 2001), cuyo resumen (Wolff, 2010) acompaña a este artículo en esta misma Revista. A destacar que, pese a seguir caminos opuestos (“top-down” el de la CEC y “bottom-up” el segundo), los resultados son muy parecidos lo que viene a confirmar la solidez de los resultados.

Así pues el informe de la CEC, pese a ser el más conocido, no es el primero de una larga serie de informes que, desde hace algo más de un quinquenio, no para de crecer. Uno de los primeros (Ward, 2004) sintetiza las conclusiones del taller “New York regional Energy – Water Workshop” organizado por la Universidad de Columbia, en abril de 2004 en Nueva York. Con todo, de entre la infinidad de informes que han ido apareciendo posteriormente, y que complementan al de la CEC, por su carácter estratégico e institucional sólo se comentan dos de ellos. El primero, el que eleva el Departamento de Energía al Congreso de los USA en 2006 (DOE, 2006), abunda en muchos de los aspectos que aquí se subrayan. De hecho, además de destacar que el progreso habido en los USA en gran medida ha sido posible gracias a las grandes infraestructuras hidráulicas y energéticas, subraya

que la prioridad máxima es coordinar mejor las políticas hídrica y energética buscando sinergias entre ellas. En segundo lugar se citan las conclusiones del taller organizado por la Environmental Protection Agency (EPA, 2008). Resume muy bien los retos y oportunidades del nexo agua – energía.

En Europa el interés por la relación agua – energía 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 riego, 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 suministro propone, desde esa óptica, explorar diversas alternativas. En concreto compara aumentar con una nueva desaladora la oferta frente al ahorro conseguido 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. Evidenciar que sólo un análisis que incluya todo el gasto energético que conllevan las distintas opciones que se contemplen conducirá a resultados satisfactorios.

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 específico del binomio agua energía se debe a que en la coalición participan fundamentalmente empresas distribuidoras de agua del norte de Europa. Y los elevados precios que allí se pagan garantizan un uso muy eficiente del agua por lo que el principal margen de ahorro está en la mejora de los procesos de depuración. 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 del 2009 en Copenhague se celebró, promovida por la IWA, la Conferencia Water & Energy que ha tenido continuidad justo un año después en Ámsterdam (Noviembre de 2010). Ambas conferencias celebradas en el norte de Europa, por las razones expuestas, han focalizado su atención en la eficiencia energética en los procesos de depuración.

Por último, la prueba evidente del interés que la Unión Europea tiene en el binomio agua energía la encontramos en las bases de la convocatoria del VII Programa Marco vigente (EU, 2009). En anexo al tema VI Medio Ambiente, y en particular en el epígrafe 6.3.1.1-1 del área 6.3.1.1 referida al agua, "Technologies and systems for urban water cycle services", consta lo que sigue. Los resultados de los proyectos permitirán *"Assist water authorities and utilities in formulating appropriate urban water polices 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."*

## AGUA Y ENERGÍA EN ESPAÑA

Con todo lo sorprendente del caso es que, pese

a la escasez de agua y la dependencia energética que España y los países del área mediterránea tienen, un asunto tan relevante apenas ha merecido atención aunque en el tiempo transcurrido desde que este artículo se presentó en las Primeras Jornadas de la Ingeniería del Agua y el momento en que se pone a punto ha aparecido, promovido por la Fundación Botín, un interesante trabajo (Hardy y Garrido, 2010). Estima que el gasto energético ligado al agua representa un 8% del total, si bien no contabiliza la energía ligada a los usos finales, sin duda la etapa más consuntiva. Su inclusión aproximaría, e incluso rebasaría, el resultado estimado en este artículo (ver Tabla 4). El trabajo, además, incluye un estudio novedoso y de notable interés, el futuro de los biocombustibles como potenciales sustitutos de los tradicionales combustibles fósiles para, de este modo, ir reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Y al respecto aconseja mucha prudencia porque biocombustibles y cultivos tradicionales competirían por la misma agua por lo que puede que resolviendo un problema se crease otro peor, lo que evidencia una vez más la necesidad de realizar análisis globales.

Pero hasta hace bien poco apenas se habían publicado estudios referidos al consumo energético asociado al ciclo integral del agua. Sólo algunos trabajos interesantes, aunque parciales, habían 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, e incluyó 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 (como la cota de la población y la procedencia del agua). El estudio obtuvo valores similares a los del estudio posterior de California (CEC, 2005b).

Abastecimiento		Depuración	
Procedencia agua potable	Horquilla consumo (Kwh/m <sup>3</sup> )	Tipo Planta	Horquilla consumo (Kwh/m <sup>3</sup> )
Superficial (corta distancia < 10Km)	0.0002-0.37	Fangos activados convencionales	0.43-1.09
Superficial (larga distancia > 10Km)	0.15-1.74	Aireación prolongada	0.49-1.01
Subterránea (acuíferos locales)	0.37-0.75	Lagunaje convencional	0.05
Subterránea (acuíferos 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 MWh	Gasoil t	Gasoil t	Gasoil t	Energía Ktep	Gasoil t	Energía 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	3.084	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)

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

Por lo que al regadío se refiere, no existen datos actuales si bien el reciente trabajo de Corominas aporta mucha luz al respecto (Corominas, 2010). Los que figuran en el Plan de Regadíos MAPA (2002) se remontan, aunque resulta difícil creerlo, al lejano 1995. Indican, además, que una parte importante del gasto energético no es eléctrico, por lo que la emisión de GEI aún 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 resultado que explica la transformación del riego tradicional a riego por goteo. Este último es energéticamente mucho más consuntivo.

Una primera estimación de la energía ligada al agua en España se puede realizar a partir de la demanda total de agua, 35000 hm<sup>3</sup>/año de acuerdo con los actuales planes de cuenca (MIMAM, 2000), correspondiendo el 68% al regadío, el 18% al uso urbano e industrial. El resto, un 14% a la refrigeración de centrales productoras de energía. En valores absolutos significa que el regadío demanda 23800 hm<sup>3</sup>/año mientras el suministro urbano 6300 hm<sup>3</sup>/año.

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 ligado al agua en España sería el de la Tabla 4.

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, bastante inferior al 19% de California. Sea cual fuere (la Tabla 4 proporciona una primera aproximación) es 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 porque hasta ahora sólo ha habido laudables iniciativas particulares.

Llegados a este punto surge la pregunta ¿qué institución debería 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, le correspondería al 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 que, tras un par de reuniones, abandonó. Pero la iniciativa del IDAE no es un análisis integral. Se centra, al igual que los países del norte de Europa, en la mejora de procesos (depuración y desalación). El estudio planteado a través de la Fundación OPTI (OPTI, 2009) guarda un paralelismo total con el trabajo de la GWRC mencionado. Al parecer el IDAE renunció 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 (en terminología sajona, *embedded energy*) justifica la estrecha colaboración de todas las administraciones. Porque por cada m<sup>3</sup> de agua no utilizado la factura de energía disminuiría unos 3Kwh en media, aunque para cada ciclo urbano 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 *et al.*, 2009).

Pero lo cierto es que hasta ahora, y pese a que hablamos de cifras notables, 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. Y así la falta de renovación de redes urbanas obliga a recurrir a aljibes domiciliarios en los que, riesgos sanitarios aparte, la inútil despresurización del agua supone desperdiciar más de 200 Gwh/año. Y aún hay que contabilizar la energía que se pierde con las fugas, también atribuible a tuberías obsoletas

(Cabrera *et al.*, 2010). Y tan sólo nos hemos referido a 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 de empleo formidable) lo que en épocas de crisis económica con altos índices de paro, constituye una razón de peso adicional para andar ese camino.

Pero hasta el momento lo único que de verdad se atisba es una proliferación de eventos, más o menos relevantes, todos presididos por el binomio agua y energía. Y así han visto al menos una reunión las ciudades de Valencia (octubre de 2007 y junio de 2010, organizadas 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, en el marco de las primeras Jornadas de la Ingeniería del Agua se celebró en Madrid en octubre de 2009 y cuyas principales aportaciones recoge esta Revista.

---

## EL CAMINO A SEGUIR EN ESPAÑA Y PRINCIPALES OBSTÁCULOS 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 notables beneficios colaterales como la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, la mejora de la garantía de suministro de agua y el amortiguamiento de los impactos derivados del cambio climático que nos acecha. Para conseguirlo hay dos vías de actuación, la mejora de los procesos y la mejora de la gestión. La primera, desde siempre contemplada, tiene la ventaja de poder abordarse para cada una de las etapas de manera independiente, razón que explica la apuesta del Ministerio de Medio Ambiente y del IDAE por la desalación.

Sin embargo, y pese a su superior margen, mejorar la gestión no ha merecido hasta ahora la menor atención. Sin duda por ser 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 aumenta la dificultad de realizar análisis globales) comenzando

por las de la propia administración del agua.

Y con la política hídrica bien coordinada integrar en ella un política energética adecuada. Y viceversa. Sólo de esta manera será de utilidad llevar a la práctica (la lista no es exhaustiva) las acciones que seguidamente se enumeran:

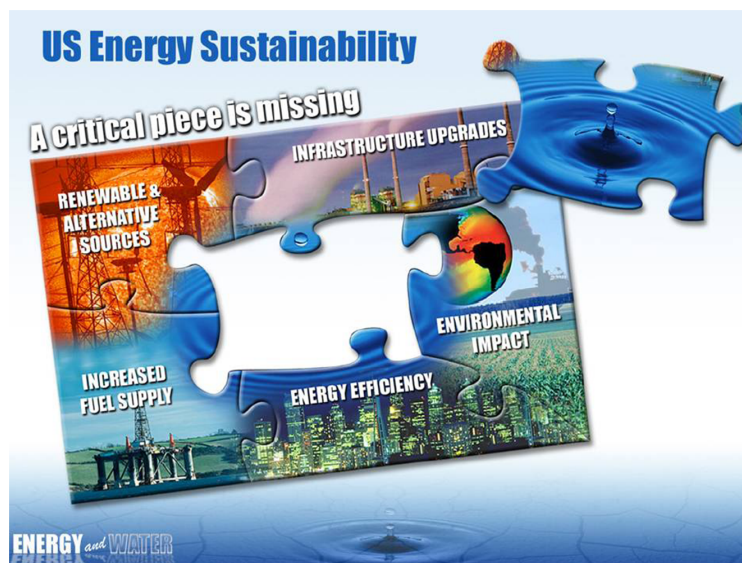
- Auditar los usos del agua. Al respecto existe un notable déficit pues la Administración no conoce con la precisión deseable los consumos. No sabe ni el agua que pierden las redes, ni conoce los consumos reales (urbanos o agrícolas). No extraña, pues, que en los planes de cuenca las demandas se estimen. Conocer bien los usos es una decisión política. Basta con habilitar los medios humanos y técnicos necesarios.
- Desarrollar buenas métricas de cálculo de las HEA correspondiente a los diferentes ciclos del agua. Con ellas, y conociendo (que no estimando) los usos, resulta inmediato cuantificar los ahorros energéticos a partir de los ahorros de agua.
- 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 energéticos asociados a los ciclos de vida de los materiales que intervienen en las diferentes soluciones.
- 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 el por qué del esfuerzo que se le pide para, de este modo, apoyar una acción política impopular.

Con todo, una relación de acciones, aunque incompleta, extensa debe ordenarse en el tiempo. Por ello la respuesta a la pregunta ¿por dónde empiezo? es única. Sin duda coordinando todas las administraciones implicadas para que, juntas y asesoradas por un comité de expertos, tracen un Plan de Actuación integrado. Ya hay precedentes. El más notable el del Departamento de Energía (DOE) del Congreso de los Estados Unidos que encargó a los Laboratorios Sandia, en los primeros meses de 2005, la elaboración de una hoja de ruta dirigida a optimizar el uso conjunto de agua y energía. Un proceso bien documentado (Hightower, 2005) culminado por el ya citado informe elevado al Congreso de los Estados Unidos (DOE, 2006).

El informe concreta el papel del Gobierno Federal (Figura 5) en tres acciones:

- Coordinar las administraciones.
- Plantear análisis globales pues 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.



**Figura 5.** El complejo puzzle agua – energía – cambio climático (Hightower, 2005)

La Figura 5 es la imagen que representa las tres acciones. Un puzzle complejo de encajar que, trasladado a nuestro país, sugiere que la Secretaría de Estado de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente, no debiera estar tan ligada a una óptica. Sería mejor que colgase de la Presidencia de Gobierno. Así sería más fácil realizar planteamientos en beneficio del todo y no de una de las partes. Porque aunque el trinomio agua, energía, cambio climático es cuestión que afecta de manera muy directa a dos Ministerios (Medio Ambiente e Industria), no sólo a ellos les compete. Por las implicaciones económicas del asunto debiera también involucrarse el Ministerio de Economía y Hacienda.

---

## CONCLUSIÓN

---

Aunque tradicionalmente el agua ha sido considerada una fuente de energía, como la mayoría de las centrales hidroeléctricas rentables ya han sido construidas mientras la demanda de agua sigue creciendo, en los años venideros el interés se centrará, cada vez más, en el agua como consumidora de energía.

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 se desconoce. 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 tanto por el recorrido previo de esta línea de trabajo como porque las actuaciones no están tan correlacionadas, el margen de mejora es notablemente inferior.

---

## REFERENCIAS

---

Bonnin J., (1984). *L'eau dans l'antiquité. L'hydraulique avant 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, E. Cabrera, V. Espert y F. Martínez (Eds.), Volumen I. pp. 3–16, Kluwer 1996.
- Cabrera E., Pardo M.A., Cobacho R., Arregui F.J. y Cabrera E. Jr, (2009). *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. y Cabrera E. Jr., (2010). *Energy audit of water networks*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, pp. 669–677, Noviembre.
- 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.
- CEC (California Energy Comisión), (2005b). *Californias Water- Energy Relationship. Final staff report*, CEC 700 - 2005 - 011 SF California Energy Comisión, State of California, Noviembre.
- 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.
- CNE (Comisión Nacional de Energía), (2006). *El consumo eléctrico en el mercado peninsular en el año 2005*. Madrid, Julio.
- Cody E., (2007). *In Chinese Dam's Wake. Ecological Woes* Washington Post Foreign Service, pp. A01, November 15.
- Corominas J., (2010). *Agua y energía en el riego en la época de la Sostenibilidad*. *Ingeniería del Agua*, Volumen 17 (3).
- 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, 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, pp. 120–130, September.
- GWRC (Global Water Research Coalition), (2008). Water and energy. Report of the GWRC Research Strategy Workshop Global Water Research Coalition, London, United Kingdom.
- Hardy L. y Garrido A., (2010). Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España. Observatorio del agua, Fundación Marcelino Botin, Santander, Abril.
- 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), (2008). Energy Technologies Perspective, Scenarios & Strategies to 2050. International Energy Agency, Paris, Francia.
- IEA (International Energy Agency), (2006). Key world energy statistics. 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*, 319, pp. 573–574, February.
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente), (2000). Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- NHSNL (Natural History Society of Newfoundland and Labrador), (2006). The myth of hydroelectricity as “green” energy. History Society of Newfoundland and Labrador, Canada.
- OPTI (Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial), (2009). Agua y Energía. Estudio Prospectiva, Madrid, septiembre..
- 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.
- Raabe J., (1987). Great names and the development of hydraulic machinery. *Hydraulics and Hydraulic Research, An Historical Review*, Balkema - IAHR, Holanda.
- 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'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Ward C., (2004). Key note address. New York Régional Energy Water Workshop, Department of Environmental Protection, New York, April.
- Wolff G. y Wilkinson R., (2001). State-wide estimate of water-related energy use. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program, CEC-500-2009-XXX.
- Wolff, G. Sanjay, G. and Winslow, M., (2004). User manual for the Pacific Institute Water to Air Models. Pacific Institute, Oakland, California.
- Wolff G., (2010). Agua y energía en California. *Ingeniería del Agua*, Volumen 17(3).