

NECESIDAD DE MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA DISTRIBUCIÓN Y EL USO DE AGUA Y ENERGÍA

Ricardo Cobacho, Enrique Cabrera, Miguel Ángel Pardo
ITA - Universidad Politécnica de Valencia
rcobacho@ita.upv.es; ecabrera@ita.upv.es; miparpi@ita.upv.es

Palabras clave: agua urbana, energía, eficiencia, gestión de la demanda

Abstract

Dentro del contexto actual de escasez de recursos tanto hídricos como energéticos, es preciso reforzar la orientación de las políticas de gestión para aumentar la eficiencia en la gestión de los mismos, y así existen ya programas concretos de este tipo en ambos campos. Este trabajo, sin embargo, se centra no en cada uno de ambos recursos, sino en la relación existente entre los mismos y, en particular, en sus implicaciones para el suministro urbano de agua. Así, contemplando trabajos de referencia realizados en California, se plantea como objetivo principal cuantificar dicha relación para el caso de España, y obtener las cifras correspondientes cada una de las etapas que tal suministro sigue, así como una herramienta de cálculo que ayude en la toma de decisiones. A partir de los resultados obtenidos, se proponen por último las directrices que se creen más convenientes para el futuro.

1. Introducción y objetivo

Desde el mismo principio de la historia de la civilización, la actividad del hombre ha estado ligada a la utilización del agua, no sólo para el consumo propio y el riego de cosechas, sino también, y especialmente, para el aprovechamiento de su energía que, en el curso natural de los ríos, ya movía las primeras norias.

Son muy interesantes las obras que estudian los comienzos de la maquinaria hidráulica (Bonnin, 1984; Viollet, 2005), en sus primeras versiones de molinos y bombas de pistones, aunque no será hasta la aparición de las bombas y turbinas de reacción en el siglo XVIII (Brekke, 1996) y el establecimiento de sus leyes fundamentales por Euler (Raabe, 1987) cuando se sienten las bases de los grandes desarrollos que, a través de los siglos XIX y sobre todo XX, conocemos hoy.

Siempre ligadas el agua y la energía en el funcionamiento de toda la maquinaria hidráulica, bien utilizando la primera para generar la segunda, o la segunda para mover la primera, los grandes desarrollos aludidos han estado orientados principalmente en la primera de esas dos direcciones. Así, es la generación de energía hidroeléctrica, en su forma de las grandes presas actuales, uno de los logros principales. Precisamente España, con 18 GW instalados en 2006, no ha sido ajena a este proceso situándose en un décimo lugar mundial por detrás de EE.UU. China, Canadá, Brasil, Japón, Rusia, India, Noruega y Francia (IEA, 2006).

Sin embargo, puede considerarse que la energía hidroeléctrica hoy ha alcanzado su techo; en los países desarrollados porque las grandes instalaciones están ya realizadas, y en los que no lo están porque, no escaseando las experiencias negativas en la materia, se es más

sensible que hace unas décadas a las alteraciones medioambientales. Ejemplo singular son los problemas que continuamente surgen en la presa china de las Tres Gargantas (Cody, 2007), y como quiera que en las últimas décadas han aflorado muchos de los efectos secundarios derivados de la presencia de grandes presas, cada vez se oyen con más fuerza voces que, al efectuar análisis globalizados, cuestionan este tipo de energía (NHSNL, 2006).

En contraposición a la faceta apuntada del agua como generadora de energía, este documento va a centrarse, por su parte, en la relación inversa, es decir, en la energía que se necesita para mover el agua. Y no exclusivamente desde lo que sería la “limitada” perspectiva de los bombeos, sino desde la visión más general de todo el proceso que supone llevar el agua desde donde se encuentra hasta donde se necesita. Efectivamente, son diversas las etapas que componen tal proceso: captación, transporte, tratamiento, distribución, consumo, drenaje y depuración, y cada una de ellas requiere su determinada energía, por lo que dentro de la corriente actual de mejora de la eficiencia energética a todos los niveles, este proceso que sigue el agua debe obligatoriamente quedar contemplado.

Como en todos estos trabajos, la complejidad del estudio aumenta con su perspectiva, o mejor dicho, con la envergadura del alcance que se propone, y en el suministro de agua quizá más todavía, a la vista de etapas tan diferentes en volumen trasegado y agentes implicados como son desde el bombeo en alta de una red hasta el consumo de un grifo por parte de un usuario final. Así, aunque se va a partir de una visión general del proceso y unas cifras ilustrativas que enmarquen el problema, el objetivo principal del documento se centrará en el estudio de la distribución y consumo final del agua, lo más cercano a los consumidores últimos, profundizando en las relaciones (y sinergias) que se dan entre dos políticas que hoy día están al cabo de la calle: el ahorro de agua y el ahorro de energía, en qué función pueden tener entidades suministradoras y usuarios finales en todo ello y, sobre todo, en proporcionar una herramienta que permita evaluar con fiabilidad posibles estrategias a adoptar en el futuro.

2. El agua como consumidor de energía

Sin duda, el creciente consumo de agua en la actualidad supone un riesgo de sobreexplotación de recursos hídricos y, si no se controla, puede conducir a su agotamiento con consecuencias irreversibles, lo que hace imprescindibles las políticas de eficiencia hídrica. Sin embargo, no menos real es el importante gasto de energía que comporta el consumo de agua, incluida su depuración. Y ello porque cada etapa del ciclo hídrico que el agua recorre, supone un gasto energético elevado, si bien oscurecido tanto por las imponentes inversiones que requieren las grandes obras hidráulicas como porque el gasto energético en sí se diluye entre una infinidad de usuarios domésticos, industriales y agrícolas. Con todo y como se verá a continuación, la suma de muchos términos menores supone un total importante.

2.1. Cifras en California

La relación agua (en su vertiente consumidora)-energía ha sido recientemente estudiada con detalle en el estado de California (CEC, 2005). El ciclo alternativo al natural que sigue el agua, tanto en los abastecimientos urbanos como en los sistemas de riego, ha sido analizado desde la óptica energética, en un estudio que ha permitido establecer las

horquillas de consumo energético para cada una de las etapas. Los resultados, excepto para el caso de los usos finales, se muestran en la Figura 1. Los valores más elevados de cada horquilla corresponden a la alternativa más costosa dentro de su etapa correspondiente, generalmente relacionada con el largo trasvase que recorre el estado de norte a sur (hasta 3,70 kWh/m³ en este caso), o con la obtención de agua desalada (hasta 4,23 kWh/m³ en la etapa de tratamiento).

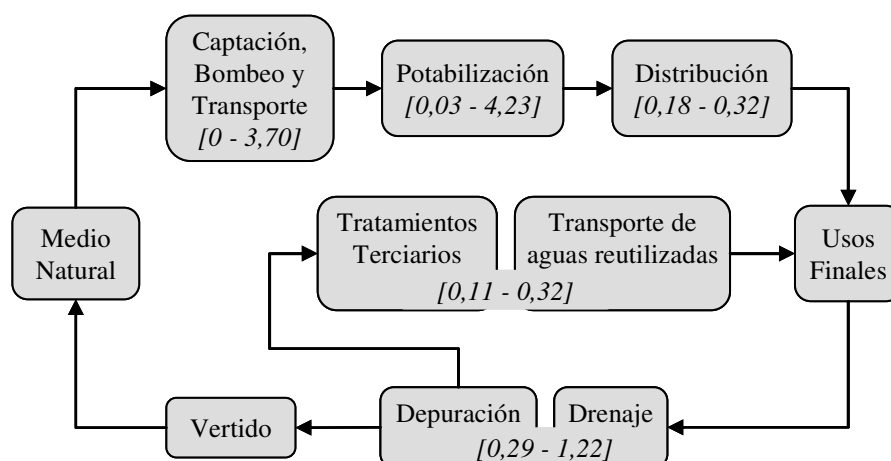


Figura 1. Horquillas del consumo de energía en el ciclo del agua en California (CEC, 2005)

Como se ha adelantado, en la Figura 1 no consta la horquilla correspondiente al bloque de los usos finales del agua, el mayor gasto energético del ciclo. Así lo evidencia la Tabla 1 (también CEC, 2005) donde el gasto ligado a los usos finales es del 73% del total relacionado con el agua. Y éste, a su vez, es el 19% del gasto eléctrico total de todo el estado, siendo aún mayor para el caso del gas: 32%.

Tabla 1. Consumos energéticos totales ligados al agua en California (CEC, 2005)

	<i>Electricidad (GWh)</i>	<i>Gas Natural (termias·10⁶)</i>
<i>Suministro y potabilización</i>		
<i>Urbano</i>	7554	19
<i>Agrícola</i>	3188	
<i>Usos finales</i>		
<i>Agrícola</i>	7372	18
<i>Urbano e industrial</i>	27887	4220
<i>Depuración</i>	2012	27
<i>TOTAL</i>	48012	4284
<i>Consumo en el 2001</i>	250494	13571
<i>% del total de California</i>	19%	32%

2.2. Cifras en España

En España, bien que con menos detalle, se han llevado a cabo en Cataluña algunos trabajos de este tipo (Sala, 2007) y los resultados, allá donde admiten una comparación (puesto que el estudio de California es más completo) son similares a los mostrados en la Figura 1. El interés de cuantificar en España la relación entre el ahorro de agua y el de energía en

parecidos términos a los de California, es obvio, puesto que resulta fundamental para conocer la contribución que un uso más racional del agua aportaría a la sostenibilidad energética.

El estudio indicado se realiza en 2002 (es anterior, por tanto, al californiano) con datos, en su mayor parte, de 2001. Para el abastecimiento, el análisis incluyó 29 fuentes de suministro distintas, y consideró el gasto energético conjunto de la captación, tratamiento y distribución. Para la depuración se analizaron 18 plantas y se incluyó la recolección, transporte y tratamiento biológico. Las mayores horquillas (Tabla 2) corresponden al suministro, y reflejan casuísticas diferentes (fundamentalmente procedencia del agua y cota de la población).

Por lo que al regadío concierne, el uso más importante del agua en España, no existen datos fiables. Los que constan en el Plan Nacional de Regadíos (MAPA, 2002) se remontan al ya lejano 1995. Muestran, además, que una parte importante del gasto energético no es eléctrico. Éste supuso en el año de referencia unos 3000 GWh (Tabla 3), valor que, a día de hoy, bien pudiera aproximarse (Tabla 4) a los 5000 GWh. Y ello porque de una parte el consumo de energía depende del tipo de riego, y las modernizaciones realizadas en la última década siempre comportan un gasto energético (Roldán, 2007); y de otra, porque la electrificación se ha ido extendiendo a áreas rurales antaño alimentadas con grupos electrógenos. Con todo (ahora sólo se conoce el orden de magnitud del consumo global), la importancia del asunto merece un análisis detallado, más allá del objeto del presente documento.

Tabla 2. Consumos energéticos del ciclo urbano del agua en la Costa Brava (Sala, 2007)

ABASTECIMIENTO	
<i>Procedencia del agua potable</i>	<i>Horquilla de consumo (kWh/m³)</i>
<i>Superficial (corta distancia < 10 km)</i>	0,0002 – 0,37
<i>Superficial (larga distancia > 10 km)</i>	0,15 – 1,74
<i>Subterránea (acuíferos locales)</i>	0,37 – 0,75
<i>Subterránea (acuíferos lejanos)</i>	0,60 – 1,32
<i>Desalación (incluso distribución)</i>	4,94 – 5,41
DEPURACIÓN	
<i>Tipo de planta</i>	<i>Horquilla de consumo (kWh/m³)</i>
<i>Fangos activados convencionales</i>	0,43 – 1,09
<i>Aireación prolongada</i>	0,49 – 1,01
<i>Lagunaje convencional</i>	0,05

Una primera y apresurada valoración debe partir de la demanda de agua que, de acuerdo con las estimaciones de los planes de cuenca vigentes (MIMAM, 2000) es de 35000 hm³/año, de los cuales un 68% corresponde al regadío, un 18% al abastecimiento a poblaciones e industrias, y el 14% restante se destina a la refrigeración de centrales productoras de energía. En otras palabras, el consumo agrícola es 23800 hm³/año, mientras que el urbano se queda en los 6300 hm³/año. Con estos valores y admitiendo consumos energéticos unitarios de 3 kWh/m³ para el ciclo integral del agua (incluido el del uso final que, ya se ha dicho, es el mayor) y 0,2 kWh/m³ para el regadío, la demanda de energía eléctrica que el manejo del agua requiere en España es la mostrada por la Tabla 4.

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

<i>Comunidad Autónoma</i>	<i>Regadíos</i>				<i>Agricultura y Pesca</i>	
	<i>Bombeos</i>		<i>Labores</i>	<i>Total</i>	<i>Consumo</i>	<i>Consumo</i>
	<i>Eléctricos</i>	<i>Gasoil</i>	<i>Gasoil</i>	<i>Gasoil</i>	<i>Energía</i>	<i>Gasoil</i>
	<i>MWh</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>Ktep</i>	<i>t</i>
<i>Andalucía</i>	530863	48047	108505	156552	270	467191
<i>Aragón</i>	103254	7058	55568	62626	85	177389
<i>Asturias</i>	0	104	377	481	0	52492
<i>Baleares</i>	21961	1901	2360	4281	9	36800
<i>Canarias</i>	139294	9419	4061	13480	43	49210
<i>Cantabria</i>	39	99	356	455	0	36842
<i>C. la Mancha</i>	595817	22044	49047	71091	198	301970
<i>C. León</i>	190330	27627	67866	95493	136	436927
<i>Cataluña</i>	46221	14334	36663	50998	61	286221
<i>Extremadura</i>	58686	13813	29309	43122	56	95567
<i>Galicia</i>	525	3260	11793	15054	15	413306
<i>Madrid</i>	10111	1710	3804	5514	8	81953
<i>Murcia</i>	543652	15226	27238	42484	159	85507
<i>Navarra</i>	26281	1450	11416	12866	18	44053
<i>País Vasco</i>	2953	519	1878	2398	3	137211
<i>Rioja</i>	7353	864	6803	7667	9	32557
<i>C. Valenciana</i>	589868	14903	48556	63459	190	214691
<i>TOTAL</i>	2867228	182399	465601	648000	1261	2949884

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

<i>Uso</i>	<i>Demanda de agua</i>	<i>Consumo unitario medio</i>	<i>Energía necesaria</i>
<i>Urbano e Industrial</i>	6300 hm ³ /año	3,0 kWh/m ³	18900 GWh
<i>Riego</i>	23800 hm ³ /año	0,2 kWh/m ³	4760 GWh

La suma total asciende a unos 24000 GWh que, para un consumo energético total del año 2005 en torno a los 223000 GWh (CNE, 2006), supone algo más del 10% del total, muy inferior al 19% visto en California, y resultando ser una consecuencia lógica dadas las hipótesis conservadoras asumidas.

3. Relación entre el ahorro de agua y el ahorro de energía

A la vista de las cifras presentadas sobre la energía requerida para posibilitar el consumo de agua, resulta clara la importancia, no sólo del ‘ahorro directo’ de energía en forma de campañas a los usuarios o en forma de mejora de procesos concretos (como las habidas en los últimos años en técnicas de desalación), sino del ‘ahorro indirecto’ de energía que suponen las políticas de ahorro de agua.

De nuevo, debemos referirnos al caso de California, donde el estudio antes mencionado (CEC, 2005) hacía una comparación entre el ahorro de energía obtenido con programas de mejora de eficiencia (calculado en años precedentes y estimado para años venideros) con el derivado de un uso más eficiente del agua, siendo los resultados incuestionables a favor del segundo (Tabla 5). A igualdad de inversión, racionalizar el uso del agua ahorra más kWh. Ello no significa que deban abandonarse los programas de mejora de eficiencia energética, sino tan sólo que presentan una relación coste-beneficio menor.

Tabla 5. Ahorro de energía por un uso más eficiente del agua en California (CEC, 2005)

	<i>Logros de las compañías eléctricas con programas de mejora de eficiencia</i>		<i>Potencial de ahorro por uso eficiente del agua</i>
	<i>2004-05</i>	<i>2006-08 (estimado)</i>	
<i>GWh/año</i>	2745	6812	6500
<i>Demanda punta (MW)</i>	690	1417	850
<i>Inversión (\$·10⁶)</i>	762	1500	826
<i>\$/kWh/año</i>	0,28	0,22	0,13
<i>Coste de la energía ahorrada por uso eficiente del agua como porcentaje del coste del programa de mejora de la eficiencia (relación de los respectivos \$/kWh/año)</i>	46%	58%	100%

En el caso de España puede plantearse un cálculo básico a partir de las cifras de la Tabla 4. Así, en líneas generales se encuentra que por cada m³ de agua no utilizada, la factura energética disminuiría en unos 3 kWh (hay que descontar la depuración). Y apuntado a una factible reducción del consumo en uso urbano e industrial del 30% (esto es, en unos 1900 hm³/año), con un gasto energético más conservador de 2 kWh/m³, la rebaja en la factura energética global rondaría los 3750 GWh, una cifra equivalente a casi el 2% del consumo total en España.

Con todo, la valoración indicada no deja de ser muy general. Un paso más en plantear dicha valoración con más rigor, viene dado al concretar de qué forma se reduce ese uso del agua, porque son varias las etapas de su gestión tal como se ha visto, y las diferencias podrían no ser tan generalizables. Efectivamente, las referidas políticas de ahorro de agua suelen englobar bajo tal denominación común dos tipos de acciones distintas, en realidad, dirigidas a dos etapas distintas de la gestión del agua:

- La distribución, en la que la eficiencia se plantea como una reducción de las fugas de agua existentes en la red de tuberías.
- El consumo final, en la que la eficiencia se plantea en forma de campañas de concienciación a los usuarios e instalación de dispositivos de bajo consumo de agua en los hogares.

Y siendo siempre deseable todo ahorro que razonablemente se pueda conseguir, tampoco pueden pasarse por alto los factores implicados en todo ello. Factores, por otra parte, que hay que tener en cuenta al hacer cálculos concretos, en casos concretos, si se busca contar con el respaldo de una cierta fiabilidad. Así:

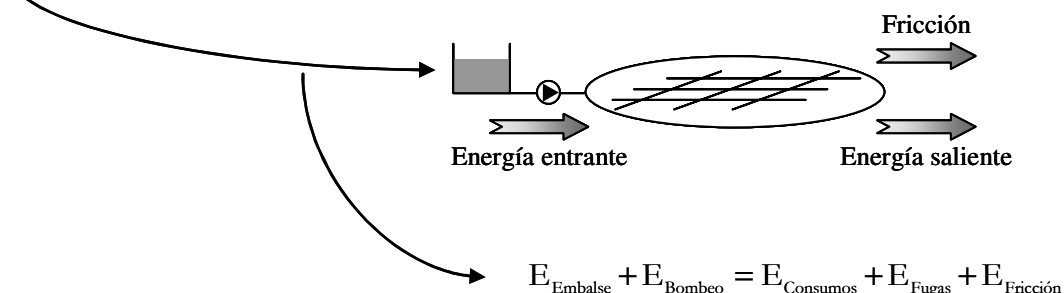
- En primer lugar, las acciones sobre distribución y consumo son esencialmente distintas. No es lo mismo ni volumétrica ni energéticamente, reparar una fuga que instalar una cisterna de doble descarga:
 - El volumen de fugas depende directamente del nivel de presiones en la red. Para sistemas con un rendimiento bajo el margen de recuperación en volumen puede ser importante (de más del 30% del volumen inyectado en red, por ejemplo) y energéticamente, suponen una pérdida directa tanto por la pérdida de agua como por fricción generada en las tuberías antes de escapar.

- El volumen consumido depende de los hábitos de cada usuario final y los aparatos que tiene en su vivienda. El posible ahorro difícilmente pasará de un 20% (del volumen consumido, en este caso), pero, eso sí, energéticamente, implica el mismo coste cualitativo que las fugas y, además, la reimpulsión a pisos altos, en algunos casos, y el calentamiento de, aproximadamente, un 34% del agua usada (Cobacho y col., 2005), en todos.
- En segundo lugar, la gran variedad de condiciones en que pueden encontrarse las tuberías y los consumos de distintos abastecimientos: suministro por gravedad, por bombeo, edad y estado de las conducciones, concentración habitacional, nivel de renta de los consumidores... dificulta igualmente la utilización de unos promedios únicos de forma generalizada.

Teniendo en cuenta todo lo apuntado, es conveniente contar con una herramienta que, considerando las posibles características de cada sistema, permita evaluar fiablemente las implicaciones energéticas de las medidas de eficiencia en la gestión y uso del agua. Tal es el objetivo del siguiente apartado.

4. Una forma de evaluar las eficiencias energéticas por ahorro de agua

Para poder centrar ya en un caso concreto el problema de evaluar el ahorro energético que suponen posibles medidas de eficiencia hídrica, es preciso analizar conjuntamente todos los factores apuntados. Ello puede hacerse trabajando con el modelo matemático de la red de tuberías, y combinando las simulaciones hidráulicas de cada escenario con su balance energético correspondiente.

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{dW_{eje}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{VC} \left(gz + u + \frac{v^2}{2} \right) \rho dV + \iint_{sc} \left(\frac{P}{\rho} + gz + u + \frac{v^2}{2} \right) \rho \cdot d\vec{\Lambda}$$


$E_{\text{Embalse}} + E_{\text{Bombeo}} = E_{\text{Consumos}} + E_{\text{Fugas}} + E_{\text{Fricción}}$

Figura 2. Planteamiento para la evaluación energética

Estando explicados todos los detalles en Cabrera y col. (2008), sí puede sintetizarse aquí la esencia del método: el funcionamiento de la red se resuelve mediante las simulaciones hidráulicas, así se evalúan los caudales inyectados, consumidos y perdidos. Y aplicando entonces la ecuación integral de la energía a la red de tuberías en cada simulación, se

obtienen las energías asociadas a cada caudal. En resumen y como muestra la Figura 2, tomando la red como referencia se tiene cada término energético:

- Energía ‘entrante al sistema’: potencial desde el depósito de cabecera y de eje desde las bombas.
- Energía ‘saliente del sistema’: potencial y de presión útil en los nudos de consumo e inútil en las fugas.
- Energía ‘empleada’: por fricción en las conducciones

Obviamente, esto es para todo lo implicado en la distribución. En el caso de los consumos finales, habrá que evaluar, además, rebombeos y calentamiento.

5. Ejemplo numérico

Para ilustrar los cálculos indicados, se van a considerar dos alternativas distintas sobre lo que sería el sistema de una población de unos 20000 habitantes, con las siguientes características:

- Longitud de tuberías principales (entre 200 y 400 mm): 40 km.
- Volumen inyectado en red: 1,615 hm³/año (221 l/hab/día). Volumen consumido: 1,250 hm³/año (171 l/hab/día). Volumen fugado 0,366 hm³/año.
- Rendimiento de la red: 77,3%. Indicador de pérdidas: 25 m³/km/día (1,04 m³/km/h).
- Suministro base desde un depósito (embalse) a 25 m de cota, apoyado por un bombeo ($h_B = 93,3 - 0,003646 \cdot Q^2$) en las horas centrales del día.
- Depósito compensador en cola de red, de sección circular de 20 m de diámetro, altura mínima de agua 2 m, máxima 7 m, y lleno al inicio de la simulación

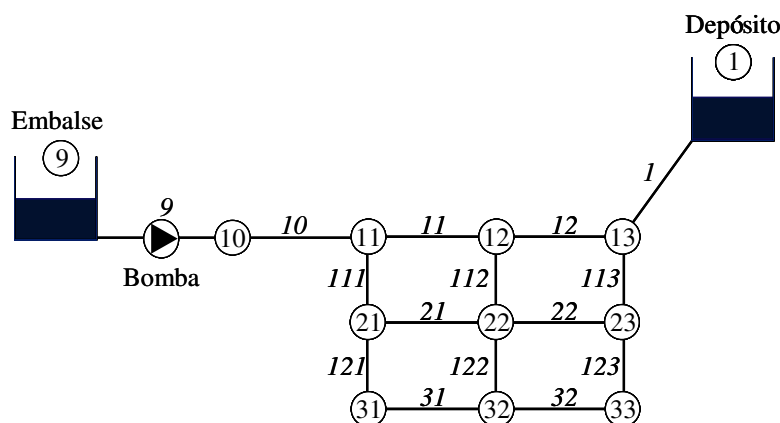


Figura 3. Esquema del modelo de red utilizado en el ejemplo

La Figura 3 muestra el esquema del modelo de la red, mientras que la Tabla 6 contiene las características de los nudos y tuberías. La Figura 4 muestra la curva de modulación de los consumos, supuesta igual para todos los nudos, en los que se asegura una presión mínima de 25 mca en todo momento. Las simulaciones se han realizado con EPANET y la inclusión en el modelo de las fugas se ha hecho siguiendo el método de Almandoz y col.

(2005): utilizando emisores de descarga a la atmósfera en cada nudo y tomando el caudal fugado como proporcional a la longitud de tubería.

Tabla 6. Datos de la red de tuberías

<i>Tubería</i>	<i>Longitud (km)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Nudo</i>	<i>Demanda Base (l/s)</i>	<i>Cota (m)</i>	<i>Coef. Emisor ($m^{0,8}/s$)</i>
10	2	400	Nudo 10	0	5,8	0,004796705
11	2	300	Nudo 11	5	5,8	0,019186819
12	2	350	Nudo 12	5	4	0,019186819
21	2	200	Nudo 13	4	2	0,019186819
22	2	200	Nudo 21	5	4	0,023983523
31	2	200	Nudo 22	6,5	2	0,028780228
111	4	200	Nudo 23	5	0	0,023983523
112	4	250	Nudo 31	3	4	0,014390114
113	4	300	Nudo 32	3	5	0,019186819
121	4	200	Nudo 33	3	0	0,014390114
122	4	200	Embalse	-	25	-
123	4	200	Depósito	-	32	-
32	2	200				
1	2	400				

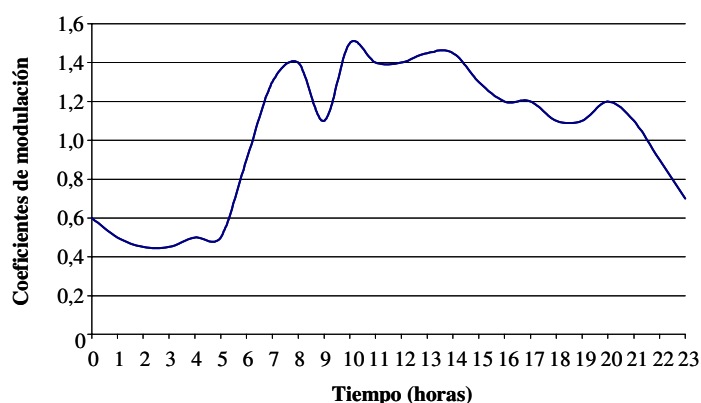


Figura 4. Curva de modulación de los consumos

Tabla 7. Balance hídrico de cada situación considerada

<i>Balances HÍDRICOS</i>				
	<i>Situación Ideal</i>	<i>Situación Actual</i>	<i>Reducción de fugas</i>	<i>Reducción de consumos</i>
<i>V. Inyectado ($h^3/año$)</i>	1,250	1,615	1,475	1,475
<i>V. Consumido ($h^3/año$)</i>	1,250	1,250	1,250	1,062
<i>V. Fugado ($h^3/año$)</i>	0	0,365	0,230	0,413
<i>Rendimiento</i>	100%	77,3%	86,5%	73,5%
<i>Indicador fugas ($m^3/km/d$)</i>	0	25,1	15,4	28,3

En este caso se han comprobado cuatro situaciones distintas:

- La situación actual con los datos ya presentados.
- Una hipotética situación ideal en la que no hubiese fugas. Esta situación sirve como referencia para valorar la situación actual.

- A partir de la situación actual, una tercera situación en la que se hubiese llevado a cabo un programa de reducción de fugas en red, que hubiese aumentado el rendimiento hasta un 87%, manteniendo los consumos inalterados.
- A partir de la situación actual, una cuarta situación en la que mediante gestión de la demanda, se hubiese logrado una reducción de los consumos del 15%, manteniendo el estado de las tuberías inalterado.

Una vez obtenidos los resultados para cada una de estas situaciones, se muestran de forma ordenada los balances hídricos en la Tabla 7 y los balances energéticos en la Tabla 8.

Tabla 8. Balance energético de cada situación considerada

Balances ENERGÉTICOS				
	Situación Ideal	Situación Actual	Reducción de fugas	Reducción de consumos
<i>E. Entrada-Embalse (MWh/año)</i>	85,2	110,1	98,4	98,4
<i>E. Entrada-Bombeo (MWh/año)</i>	135,0	170,3	153,3	153,1
<i>E. Salida-Consumos (MWh/año)</i>	127,8	127,2	126,7	107,8
<i>E. Salida-Fugas (MWh/año)</i>	0	37,4	23,6	43,3
<i>E. Empleada-Fricción (MWh/año)</i>	92,3	115,6	105,2	103,6

Las conclusiones a la vista de todas estas cifras pueden resumirse como sigue:

- En la situación actual el 61% de la energía entrante en la red es aportada por el bombeo, mientras que el 39% procede del embalse.
- Las fugas que existen en la red en la situación actual suponen una carga energética de 60 MWh/año (aproximadamente, 37,4 MWh/año por pérdida directa junto con el agua fugada y 23,3 MWh/año por aumento de las pérdidas por fricción).
- El programa de reducción de fugas, con respecto a la situación actual, supondría un ahorro hídrico de 0,14 hm³/año y un ahorro energético de 24,7 MWh/año (aproximadamente, 13,8 MWh/año por reducción en fugas y 10,4 MWh/año por reducción en fricción). Estas son las cifras resultantes según el planteamiento seguido, ahora bien, la reducción energética no se distribuye igual entre las dos fuentes del sistema: embalse y bombeo. Posiblemente, en la gestión del sistema sea más útil conocer el ahorro en la energía que debe aportarse mediante bombeo (unos 17 MWh/año).
- El programa de gestión de la demanda (reducción de consumos), con respecto a la situación actual, supondría un ahorro hídrico prácticamente igual al caso anterior, y un ahorro energético de 25,5 MWh/año. Aunque en este caso, el consumo de agua se ha reducido en 0,19 hm³/año, al exigir idéntico nivel de presiones con caudales circulantes menores, se produce un indeseable aunque inevitable aumento del agua fugada (de 0,05 hm³/año). En cuanto al ahorro energético, se encuentra que también es debido a la reducción en energía saliente y fricción, pero ahora debido a los menores consumos de agua.

El ejemplo presentado no pretende en absoluto generalizar sus resultados a todos los programas de eficiencia en fugas o consumos, ni aún presentar los valores medios obtenidos como aplicables a otros sistemas, ya que se trata de un caso particular. Al

contrario, lo que se ha buscado es mostrar cómo el método apuntado es consistente en relacionar agua y energía en una red de distribución, puesto que el tratamiento conceptual y numérico del análisis sí es el mismo en cualquier caso. Y cómo también son numerosos los factores a tener en cuenta en el cálculo. Por todo ello, resulta más útil una herramienta como la aquí propuesta que sugerir unos simples “valores guía”.

Es más, continuando el trabajo, los gestores de este sistema estarían probablemente interesados no en los totales de las tablas mostradas, sino más concretamente en la operación del bombeo, la optimización del estado de presiones y, todavía para la situación de la reducción del consumo, el cálculo del ahorro energético debido a una menor necesidad de agua caliente o del rebombado a los pisos altos. Y esto en el caso de que tales rebombos lo fuesen directamente desde red (como, por ejemplo, es el caso de Valencia), ya que si el agua se vertiese primero en aljibes particulares, su ineficiencia energética debería incluirse igualmente en el análisis. En este sentido, remitimos a Cobacho y col. (2007) para mayor detalle al respecto (

Figura 5).

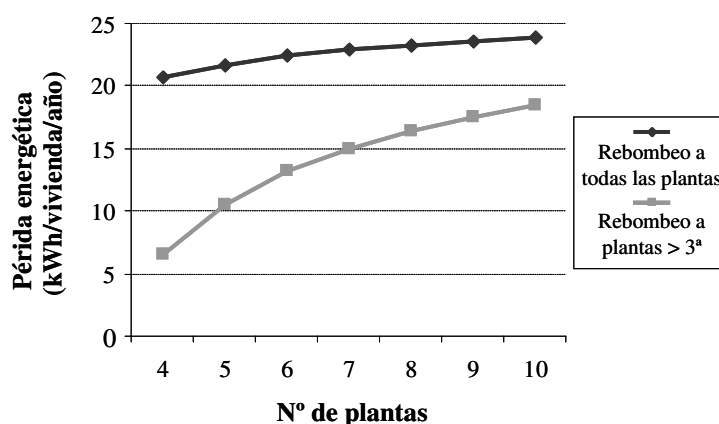


Figura 5. Pérdida energética por rebombado desde aljibes a plantas altas

6. Directrices para el futuro

En la actualidad la relación agua-energía es asunto de atención preferente en los países desarrollados. Una relación que se puede abordar desde dos ópticas complementarias pero distintas. De una parte, mitigando el problema, lo que supone reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De otra, implementando medidas de adaptación, bien planificadas bien autónomas (Rogers, 2008).

Ya en nuestro país, la primera actuación que al respecto conviene abordar es conocer el punto de partida. En España no hay un control del gasto del agua y por ello los consumos, con mayor o menor fortuna, se estiman. La información que periódicamente publica al respecto el Instituto Nacional de Estadística es fruto de encuestas y análisis estadísticos. No parece razonable que un recurso tan preciado y escaso no sea sometido a un mayor control. Por ello, la primera medida debería ser conocer bien el gasto de agua y su distribución por usos. Ello supone, además de medir bien, establecer algún tipo de control administrativo, hoy inexistente. La creación de Agencias Reguladoras es la solución que están adoptando numerosos países.

En segundo lugar, y a la vista del enorme gasto energético que comporta el manejo sostenible del agua, deben realizarse auditorías energéticas para cada uno de los usos. Ello permitiría disponer de datos precisos, y con esos datos, delinear estrategias. Porque el ahorro de energía no sólo depende del uso racional del agua, sino que también es sensible a la mejora de los procesos y a los rendimientos de cada una de las etapas del ciclo. Así, conviene conocer con precisión el margen de mejora.

En tercer lugar, es esencial continuar mejorando la eficiencia en cada una de las etapas de los diferentes ciclos artificiales que recorre el agua. Un claro ejemplo es la mejora de los rendimientos de las redes de distribución. Y no sólo por el ahorro de agua que ello comporta. También, y por dos razones, la factura energética disminuye de modo apreciable. En primer lugar, porque se ahorra la energía necesaria para llevar el agua desde el medio natural hasta la red de distribución, y en segundo, porque al ser las pérdidas por fricción proporcionales al cuadrado del caudal, al aumentar éste por culpa de las fugas, el consumo energético es sensiblemente mayor, y así se ha mostrado numéricamente. El desarrollo de herramientas, como la aquí explicada, que permitan mejorar las valoraciones, según las características propias de cada sistema, y ayuden a tomar decisiones es esencial.

En cuarto lugar, y como el ahorro del agua está ligado a su precio, se deben repercutir en el mismo todos sus costes, algo que el Artículo 9 de la Directiva Marco del Agua (UE, 2000) será de obligado cumplimiento pronto (a partir de 2010). Esta recuperación directa de costes propiciará un mejor uso del agua. Y si razones de interés general aconsejan subsidiar algún uso, por ejemplo el riego, se deben establecer mecanismos para que no se comprometa el uso eficiente del agua.

Por último, y como quiera que las medidas precedentes son impopulares (al fin y al cabo se trata de aumentar el control y los precios), hay que sensibilizar al ciudadano explicando lo mucho que hay en juego. Es evidente que no se pueden introducir medidas que chocan frontalmente con la cultura de siempre sin explicar su necesidad.

7. Conclusión

Aun cuando tradicionalmente el agua ha sido considerada una fuente de energía, en los años venideros el interés se centrará en mayor medida en el agua como consumidora de energía, invirtiéndose un planteamiento centenario. Máxime porque el gasto unitario energético que comporta su gestión sostenible seguirá creciendo.

Para tomar las decisiones que convienen al futuro es necesario contar con información precisa, hoy no disponible. El esfuerzo que al respecto debe hacer la administración del agua es enorme. No en vano, en lo referente al binomio agua-energía, contemplado desde la óptica del futuro, casi todo está por hacer. En cierto modo, como esta relación poco se ha tenido en cuenta hasta ahora, el margen de mejora existente es imponente. Es, no hay duda, la única ventaja de haber sido hasta la fecha tan poco eficientes.

8. Referencias

- Almandoz, J. ; Cabrera, E. ; Arregui, F. ; Cabrera E. Jr. ; Cobacho, R. *Leakage assessment through water distribution network simulation*. Journal of Water Resources, Planning and Management. Vol. 131, nº 6. Noviembre 2005.
- Bonnin, J. *L'eau dans l'antiquité. L'hydraulique avant notre ère*. Collection des Etudes et Recherches d'Electricité de France. 1984. Editions Eyrolles. Paris.
- Brekke, H. *The hydroelectricity in the World. Present and future*. XVIII IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Cavitation. Ed. E. Cabrera, V. Espert y F. Martínez. Volume I. 1996. Kluwer.
- Cabrera, E.; Pardo, M.A.; Cobacho, R. *Energy balance in water networks*. Remitido al Journal ASCE, Water Resources Planning and Management para su posible publicación.
- CEC (California Energy Commission). *California's water-energy relationship. Final staff report. CEC 700-2005-011 SF*. California Energy Commission. 2005. California.
- CNE (Comisión Nacional de la Energía). *El consumo eléctrico en el mercado peninsular en el año 2005*. 2006. Madrid.
- Cobacho, R.; Arregui, F.; Parra, J.C.; Cabrera, E. Jr. *Improving efficiency in water use and conservation in Spanish hotels*. Efficient 2005. Santiago de Chile.
- Cobacho, R; Arregui, F.; Cabrera, E; Cabrera, E. Jr. *Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies*. Efficient 2007. Jeju Island, Corea del Sur.
- Cody, E. *In Chinese dam's wake. Ecological woes*. Washington Post Foreign Service. November 15th, 2007.
- IEA (International Energy Agency). *Key world energy statistics 2006*. International Energy Agency. 2006. Paris.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). *Plan Nacional de Regadíos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2002. Madrid.
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente). *Libro Blanco del Agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente. 2000. Madrid.
- NHSNL (National History Society of Newfoundland and Labrador). *The myth of hydroelectricity as "green" energy*. History Society of Newfoundland and Labrador. 2006. Canada.
- Raabe, J. *Great names and the development of hydraulic machinery*. Hydraulics and Hydraulic Research. An Hystorical Review. 1987. Balkema. Holanda.
- Rogers, P. *Coping with global warming and climate change*. Editorial. Journal of Water Resources, Planning and Management. ASCE. 2008.
- Roldán, J. *La optimización energética del riego*. Seminario Agua, Energía y Cambio Climático. 2007. Universidad Politécnica de Valencia.
- Sala, Ll. *Balances energéticos del ciclo del agua y experiencias de reutilización planificada en municipios de la Costa Brava*. Seminario Agua, Energía y Cambio Climático. 2007. Universidad Politécnica de Valencia.
- UE (Unión Europea). *Directiva 2000/600/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 22/12/2000.
- Viollet, P.L. *Histoire de l'énergie hydraulique*. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 2005. Paris.