

# AGUA Y ENERGÍA EN CALIFORNIA

Gary Wolff

Research Affiliate, The Pacific Institute, Oakland California  
Executive Director, StopWaste.Org  
gw@pacinst.org

**Resumen:** Este trabajo estima el uso de energía ligado al agua en California en el año 2000. Se presenta un resumen de un informe más detallado que se puede conseguir solicitándolo al autor.<sup>1</sup> Los resultados del estudio se basan en la estimación del consumo de agua en cada etapa del abastecimiento de agua potable: Captación, bombeo y transporte, potabilización, distribución, usos finales, drenaje, depuración y vertido. El modelo Water-to-Air del Pacific Institute se ha utilizado para estimar la energía eléctrica equivalente (es una medida global, suma de la energía eléctrica y la energía procedente de otras fuentes) que cada una de estas etapas requiere, así como para cuantificar la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La energía utilizada en el sector del agua representa aproximadamente el 18 % de la energía eléctrica total consumida en el año 2000, mientras que el consumo de gas natural y gasolina diesel relacionados con el agua suponen aproximadamente el 10 y el 4 % respectivamente del consumo total de dichos combustibles. El consumo energético medio del agua se estima en 1.56 KWh equivalentes por m<sup>3</sup> entregado a los usuarios finales, cantidad que incluye la energía total, no sólo la eléctrica igual a 1.01 KWh/m<sup>3</sup>. Las emisiones de dióxido de Carbono se estimaron en 0.800 Kg por m<sup>3</sup> consumido y representan el 8 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del estado de California durante ese año.

Las emisiones y el consumo energético varían enormemente (en varios ordenes de magnitud), dependiendo del tipo y de la localización del consumo de agua. Asimismo, y como no se disponía de datos de consumo energético para algunos usos del agua, debieron estimarse. Consecuentemente, algunas valoraciones que en este trabajo se hacen deben ser interpretadas con cautela aunque, sin duda, los resultados finales permiten formarse una idea bastante aproximada del estado de esta cuestión. Unas conclusiones que, sin duda, pueden contribuir a orientar la política de gestión del agua en California.

## ORIGEN Y UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CALIFORNIA

A orillas del Pacífico y con innumerables lagos, ríos, arroyos, pantanos, canales y acueductos, los gestores del agua de California manejan un complejo conjunto de recursos naturales y artificiales que posibilitan suministrar el agua demandada en los puntos de utilización. California tiene una población de 36 millones de habitantes, así como un potente sector agrícola e industrial, que demanda más de 53000 Hm<sup>3</sup>/año. Asimismo, el consumo indirecto (esto es, usos de tipo ambiental, utilización de agua sin extraerla del medio natural, uso "in situ") alcanzó en el año 2000 en California los 48000 Hm<sup>3</sup>/año. Agua que, sin duda, juega un papel estratégico en el desarrollo de ciertas actividades económicas como el turismo, la pesca y el ocio.

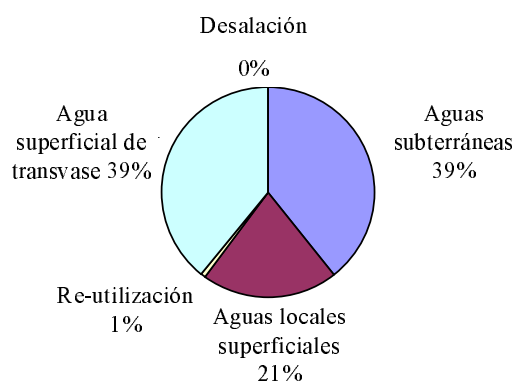
Para atender tan elevada demanda, los gestores del agua en California utilizan agua procedente de distintos orígenes que requieren dife-

rentes procesos de tratamiento y potabilización. Una vez adecuada la calidad del agua a los usos posteriores, requiere un transporte y una distribución. Finalmente, y tras su utilización, hay que proceder a su depuración y, en ocasiones, a un posterior reciclado. Finalmente es vertida al medio natural. Pues bien, todas estas etapas del ciclo del agua consumen energía, producen gases de efecto invernadero de manera indirecta y, por tanto, contaminan el aire.

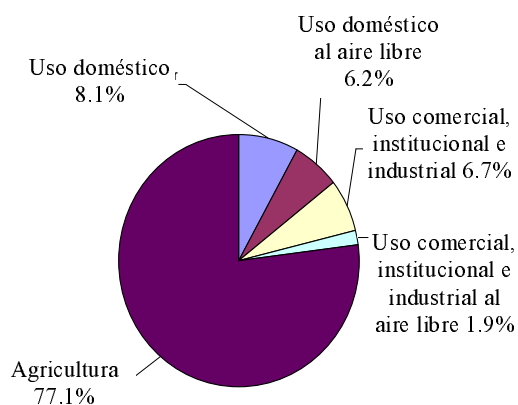
El origen del agua en California es bastante diverso. Fundamentalmente son tres sus orígenes, agua superficial directamente utilizada (21 %), agua superficial trasvasada de otra cuenca hidrológica (39 %) y agua subterránea (39 %). A ello hay que añadir una cantidad escasamente representativa (en el año 2000) de agua reutilizada (1 %). La Figura 1 resume esta distribución. El volumen total del agua consumida en California es, cual se ha dicho, 53400 Hm<sup>3</sup>/año, cifra en la que coinciden todas las fuentes consultadas a saber, el Observatorio Geológico de los Estados

<sup>1</sup>Wolff, Gary and Robert Wilkinson. forthcoming. Statewide Estimate of Water-Related Energy Use. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2009-XXX

Unidos, el United State Geological Survey (Hutson *et al.*, 2004) y el California Department of Water Resources (Tipton, 2005).



**Figura 1.** Origen del agua de consumo directo en California en el año 2000



**Figura 2.** Usos finales del consumo directo de agua en California en el año 2000

La diferencia entre el volumen total de agua requerido y el agua realmente utilizada son las pérdidas habidas en las diferentes etapas del proceso y responde a distintas causas. Desde la evaporación e infiltración en canales y depósitos hasta la evaporación del agua durante los procesos de trasvase, tanto en plantas de tratamiento como en potabilizadoras, sin olvidar las fugas en redes de distribución. La Figura 2 resume la distribución del consumo total de agua en el año 2000, unos 45500 Hm<sup>3</sup> frente a los, recordémoslo, 53400 Hm<sup>3</sup>/año requeridos. Cual se ve el uso agrícola es con mucha diferencia (77.1%) el más importante.

Dos son, en cualquier caso, las causas que de manera más relevante contribuyen en la reducción del volumen de agua entre el origen y el consumo final, unos 7900 Hm<sup>3</sup>/año. De una parte las fugas y de otra el agua empleada en la recarga de acuíferos. En California, no se han

cuantificado (de manera global) las fugas en los abastecimientos de agua. En cualquier caso, Tipton (2005) sí estima las pérdidas en los procesos de transporte (unos 3200 Hm<sup>3</sup>), cantidad a la que habría que añadir las pérdidas en las plantas potabilizadoras así como las fugas en redes de distribución de agua y en los depósitos.

Algunos usos del agua son consuntivos. Por ejemplo la evapotranspiración de cultivos agrícolas y de los jardines de los parques urbanos. Se caracterizan porque el agua se consume sin posibilidad de reutilización. Otros muchos, del orden del 40%, no lo son, y después del primer uso, el agua residual resultante admite una potencial reutilización. En el año 2000 el total de agua potencialmente reutilizable era, de acuerdo con Tipton (2005), unos 9000 Hm<sup>3</sup>. De este volumen, 4400 Hm<sup>3</sup> corresponde a los vertidos de aguas urbanas depuradas y 4900 Hm<sup>3</sup> a aguas utilizadas en la agricultura. También estima en 900 Hm<sup>3</sup> las recargas de los acuíferos. Un total de 100 Hm<sup>3</sup> son efluentes procedentes de zonas urbanas mientras unos 800 Hm<sup>3</sup> es la recarga realizada con aguas previamente utilizadas en la agricultura. Finalmente un porcentaje desconocido de los 38400 Hm<sup>3</sup> empleados en agricultura se infiltran en el terreno (DWR, 2005). Las buenas prácticas en agricultura aconsejan que un tercio del agua empleada se devuelva al medio natural, esto es, se infiltre para, de este modo, mantener los niveles de agua dulce en los acuíferos y, en acuíferos costeros, prevenir la intrusión salina.

## METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

El informe fue financiado por la California Energy Commission (CEC) para estimar la utilización de la energía ligada al agua en California durante el año 2000. Los autores lo realizaron cubriendo dos etapas básicas. La primera consistió en identificar el consumo de agua anual en cada una de las etapas del ciclo urbano del agua, desde su detección del medio natural hasta el vertido final al medio natural, incluyendo obviamente los usos consuntivos (como, por ejemplo, la evapotranspiración). La segunda se centró en estimar la energía empleada, bien en el transporte de agua en el ciclo urbano del agua, bien la empleada en los usos finales (como, por ejemplo, la energía necesaria para calentar agua o los bombeos para elevar el agua en las viviendas altas lo requieran).

Wolff (2004) en el marco de un proyecto de investigación financiado por la CEC, desarrolla el modelo Water - to - Air del Pacific Institute.

Un modelo que desagrega el consumo urbano del agrícola y evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por la energía consumida a lo largo del ciclo del agua. Desarrolla los cálculos mediante el programa Microsoft Excel. Los resultados obtenidos se han empleado en estudios reales, (Wolff *et al.*, 2004). En una primera fase únicamente se obtenía la relación agua-energía. Posteriormente se añadieron los modelos de contaminación del aire y la emisión de gases de efecto invernadero. El modelo permite que se introduzcan los datos relativos a los consumos de agua, bien en el ciclo urbano, bien en redes de riego. También permite que se puedan comparar los consumos energéticos correspondientes a dos escenarios diferentes. Los modelos y el manual del usuario se pueden descargar gratis en la URL: <http://www.pacinst.org>.

El modelo permite a los usuarios determinar en un determinado abastecimiento la cantidad de energía requerida durante un periodo anual. A falta de datos concretos, el modelo suministra valores por defecto para cada una de las etapas del ciclo de abastecimiento (en unidades de energía por volumen de agua trasegada, expresado en las unidades sajonas "pies por acre"<sup>2</sup>). Cuando se han introducido todos los datos energéticos, se calcula la energía por unidad de volumen consumido. Como en ocasiones se utilizan valores por defecto y con estos se calcula a la energía total empleada, indirectamente se está admitiendo en el modelo una estructura lineal. En otras palabras, el consumo energético en cada etapa del ciclo es el mismo por unidad de volumen de agua. Esta hipótesis es incorrecta para muchas fases consideradas individualmente, pero es apropiada para obtener el valor del consumo energético medio en numerosos abastecimientos.

Como en un principio pudiera parecer, el consumo energético por abastecimiento no es un concepto simple. Por ejemplo, aunque la energía empleada en una secadora está fuera de nuestro campo de estudio, la ropa ha pasado previamente por la lavadora y, por tanto, se puede argumentar que el conjunto lavadora-secadora es sistema único, pues el objetivo final de la secadora es eliminar el agua. Precisamente por ello la energía consumida por la secadora fue incluida en el análisis presentado en CEC (2005a). Sin embargo en nuestro análisis se excluye la energía consumida por la secadora porque su utilización no está directamente relacionada con la de la lavadora, puesto que no toda la ropa pasa

de un electrodoméstico al otro (en buena parte se puede secar en tendederos) y, además, también hay lavadoras con un gran consumo de agua aunque con programas de centrifugado que indirectamente reducen el consumo energético de un posterior secado aunque no la utilización de agua.

Otro ejemplo típico de la dificultad que presenta determinar los límites concretos del sistema que se analiza lo encontramos en las torres de refrigeración. En el estudio que en este trabajo se resume, se ha excluido la gran cantidad de energía empleada en comprimir el fluido de refrigeración, pero en cambio sí está incluida la energía utilizada en la recirculación del agua de la propia torre. Esta decisión es discutible pues en otros estudios similares realizados, ambos se han tenido en cuenta (Wolff *et al.* (2004); Wolff (2004)). También introduce incertidumbres en el análisis la complejidad que entraña decidir qué dispositivos incluyen sistemas con transferencias energéticas que utilizan agua. Y así en el estudio se han excluido jacuzzis, piscinas, camas de agua (calentadas con energía eléctrica) y calderas de agua industriales y comerciales destinadas a alimentar radiadores utilizados en la calefacción de edificios y viviendas. El criterio general ha sido excluir la energía asociada a dispositivos con consumo de agua bajo o mínimo (los circuitos de agua de las calefacciones de edificios trabajan en circuitos cerrados y, por tanto, salvo potenciales fugas, no consumen agua) aunque a veces la dificultad estriba en discernir precisamente qué se entiende por consumo de agua bajo o mínimo. Es decir, cuál es el umbral mínimo de consumo de agua para que el dispositivo deba, o no, ser incluido en el estudio.

En consecuencia, los límites establecidos en este informe tienen una cierta componente de subjetividad aunque no por ello los resultados pierden consistencia. En trabajos de investigación futuros se puede considerar diferentes límites pero siempre estableciendo previamente con claridad las hipótesis de partida, evaluar y discutir sus pros y contras, evitando en todo momento las discusiones sobre qué definición "relacionada con los límites del trabajo" es la correcta. Sencillamente porque todas presentan ventajas e inconvenientes.

Todos los valores numéricos están expresados en energía por m<sup>3</sup> consumido. Ésta es una restricción importante. Si en vez de recurrir a ella, se calcula la energía por unidad de volumen circulante en cada etapa del ciclo, posteriormen-

<sup>2</sup>1 acre = 4047 m<sup>2</sup>. 1 acre foot = 1.233 m<sup>3</sup>=1233 litros

te no se pueden sumar estos indicadores ya que no se refieren al mismo volumen porque, no en vano, a lo largo del ciclo del agua hay pérdidas. Por ejemplo, un consumo de 2 Kwh/m<sup>3</sup> de agua entregada a los consumidores no se puede sumar con un consumo de 1 KWh/m<sup>3</sup> de agua entrante a la planta depuradora ya que un elevado porcentaje del agua utilizada no va a llegar a la planta (en el trayecto hay fugas, filtraciones, evaporación en la planta, etcétera). La energía invertida en entregar el agua al usuario, más la empleada en la planta de tratamiento es o bien 2.5 Kwh por m<sup>3</sup> entregado a los usuarios o bien, admitiendo que sólo se depura el 50 % del agua del agua consumida, 5 Kwh por unidad de volumen entrando en la planta depuradora. Pero sumar sin más los gastos energéticos unitarios de cada etapa (hablamos de 3 Kwh/m<sup>3</sup>) para proporcionar el montante global de las dos fases es manifiestamente incorrecto. Y lo es porque no queda claro a que unidad de volumen se refiere. En este análisis se han realizado todos los cálculos en m<sup>3</sup> entregados a los consumidores porque no en vano resultan magnitudes más intuitivas y por tanto, más útiles. Sin embargo, el agua que circula en cada etapa del ciclo es conocida y podría ser especificarse la energía por unidad de volumen circulante en cada etapa.

El modelo también requiere que se defina la procedencia de la energía consumida en cada abastecimiento. Es una cuestión relevante para poder estimar las emisiones atmosféricas de la relación agua-energía y las posibles consecuencias de la utilización de energías procedentes de diversos orígenes (energías renovables, gas natural, centrales térmicas, nucleares, etcétera). Para ello, en el modelo water-to-air desarrollado por el Pacific Institute se pueden seleccionar hasta nueve fuentes diferentes de energía. De este modo se ajusta el origen de la energía a cada caso y, al tiempo, con las combinaciones de las energías previamente definidas se pueden simular hasta ocho escenarios diferentes. Si los usuarios del modelo conocen el origen de la electricidad que, por ejemplo, proviene de una central en particular pueden contactar con la misma y averiguar los porcentajes a utilizar para crear un escenario mixto local que refleje con precisión la realidad. Las fuentes de energía mostradas en el modelo también incluyen algunas opciones no eléctricas, como alimentación directa mediante equipos de bombeo arrastrados con grupos electrógenos, una fuente de energía muy empleada en agricultura hasta hace unos pocos años. El modelo estima las emisiones de contaminan-

tes para cada uno de los nueve orígenes de la energía pero para un determinado origen de la energía no contempla la posibilidad de cambiar las emisiones unitarias que previamente se le han asignado.

La energía consumida se estima en dos unidades diferentes. De una parte los kilovatios eléctricos por hora (Kwh) y de otra los kilovatios hora equivalente. El Kwh equivalente es la suma de los Kwh eléctricos consumidos más los Kwh que se habrían generado si el gas natural, diesel, o cualquier otra fuente de energía empleada directamente en el manejo de agua que se considera se hubiese destinado a generar directamente electricidad en la central correspondiente. Los resultados del modelo sólo contemplan dos formas de energía, la eléctrica y la no eléctrica. En cualquier caso, en los resultados mostrados en la Tabla 1, los componentes propios del gas natural y del diesel se han calculado de forma manual.

El presente estudio difiere del bien conocido CEC (2005a) en algunas hipótesis de partida, aunque ambos presentan resultados muy similares, confirmando la validez de ambos cálculos.

---

## ESTIMACIONES GENERALES

---

La valoración de la relación agua-energía puede sintetizarse en dos cifras, el gasto energético total relacionado con el consumo de agua, y el consumo energético medio por volumen de agua. En lo que sigue se detallan.

### Gasto energético total relacionado con el consumo de agua

La Tabla 1 sintetiza, para el año 2000, el gasto total de energía relacionado con el consumo de agua. El consumo relativo de energía ligado al agua en el total del Estado supone un 18 % del consumo total eléctrico, el 10 % del consumo total de gas natural, el 4 % del consumo de diesel y el 8 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (expresados como dióxido de carbono equivalente).

Estos consumos totales eléctricos y de gas natural difieren de los mostrados en el Informe del 2005, Integrated Energy Policy Report, en adelante IEPR, (CEC 2005a). La Tabla 2 compara los dos informes. Ambos proporcionan estimaciones orientativas y fuertemente dependientes del origen de los datos, especialmente en lo referente a los procesos industriales, al consumo de agua caliente en viviendas y a las hipótesis realizadas para estimar el porcentaje de energía con relación al agua empleada por los consumidores industriales.

	Total relacionado con el agua	Total del Estado	Consumo energético relacionado con el agua como porcentaje
Consumo eléctrico (GWh)	46145	263493	18 %
Consumo Gas Natural (10 <sup>6</sup> GJ)	249 <sup>(1)</sup>	2567 <sup>(2)</sup>	10 % <sup>(3)</sup>
Consumo Diesel (Hm <sup>(3)</sup> )	0.38	9.57	4 %
Emisiones CO <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> Toneladas)	37 (CO <sub>2</sub> )	489 (CO <sub>2</sub> equivalentes)	8 %

Notas: (1) Este consumo no incluye gas natural empleado en la generación eléctrica para evitar contabilizarlo dos veces.  
 (2) El consumo de gas natural sí que incluye el gas empleado en la generación eléctrica.  
 (3) Este dato contrasta con el 32 % de gas natural no empleado en la generación eléctrica estimado para el año 2001 en CEC (2005a). Éste 32 % representa el 18 % del consumo total de gas natural del año 2001, 2460 GJ ([http://www.energy.ca.gov/naturalgas/statistics/natural\\_gas\\_consumption\\_electricity.html](http://www.energy.ca.gov/naturalgas/statistics/natural_gas_consumption_electricity.html))

**Tabla 1.** Estimación de los consumos de energía y emisiones relacionados con el agua para el año 2000

	Electricidad (GWh/año)	Gas natural no empleado en generación <sup>(1)</sup> (10 <sup>6</sup> GJ)	Diesel <sup>(1)</sup> (Hm <sup>3</sup> )
2005 Energy Commission	48012	450	0.335
Este informe	46145	249	0.380
Diferencia (%)	-4 % <sup>(2)</sup>	-45 %	+14 %

Notas: (1) El gas natural y el diesel que esta Tabla detalla, no incluyen la parte empleada en la producción eléctrica. De haberlos incluido, se habría contabilizado dos veces el consumo requerido para la producción eléctrica.  
 (2) Si los secadores se hubiesen incluido en este análisis, tal y como se hizo en CEC (2005 y 2005c), la diferencia sería del 8 %, mientras que en el caso del gas natural estaría en torno al -42 %.  
 Fuente: California Energy Commission. 2005. Integrated Energy Policy Report.

**Tabla 2.** Comparación entre este informe y CEC (2005a)

Convendrá decir que ninguna hipótesis es necesariamente más precisa que otra. Aunque la estimación desarrollada en este trabajo, y con la excepción de la energía empleada en procesos industriales, sigue para cada uno de los usos del agua modelos de consumo energético “bottom-up.” Es decir, “por elevación.” La energía se contabiliza desde los consumos individuales de los particulares hasta obtener la energía que se ha generado en las fuentes. Sin embargo, la Energy Commission (2005c) estima el consumo siguiendo el trayecto opuesto “top-down”, que consiste en agregar los datos facilitados por las compañías suministradoras de energía. Ningún modelo es necesariamente mejor, aunque quizá el modelo empleado en nuestro trabajo es más transparente y, contando con los datos suficientes, potencialmente más preciso.

No sorprende que los resultados del consumo de gas natural difieran de los obtenidos por la Energy Commission. En nuestro análisis su consumo para calentar agua es del orden de 79 millones de GJ menor que en el IEPR. Por otra parte, el consumo de gas natural utilizado en la extracción de otros combustibles fósiles se considera en el IEPR de algún modo relacionado

con el aguaz supone otros 146 millones de GJ de diferencia adicional en las estimaciones. Estas diferencias señaladas son ya mayores que la reflejada en la estimación del consumo de gas natural. Si se incluyen secadores de ropa, como hace el CEC (2005c), las diferencias entre ambos informes se sitúan entre el -4 % y el 8 %. La estimación mostrada no incluye la energía necesaria para poner a disposición de los abastecimientos 10680 Hm<sup>3</sup> de agua superficial, ni los 4400 Hm<sup>3</sup> demandados por las redes de saneamiento. Los datos del IEPR incluyen tanto el consumo eléctrico de las compañías suministradoras de agua como las que operan el drenaje y la depuración. Si en nuestro trabajo consideramos esta energía, así como la utilizada en las secadoras, la diferencia entre ésta estimación y la realizada por IEPR se incrementa.

Pero incluso realizando estas correcciones, necesarias para establecer un común denominador entre ambos procedimientos y así poder comparar mejor los resultados, nuestra estimación presenta en las tres categorías de consumo energético, mayores consumos que la de IEPR. Con todo, las estimaciones pueden considerarse correctas si se encuentran dentro de un margen definido por

un factor de 2, el valor que la American Society of Cost Engineers (AACE) considera admisible para valoraciones que pretenden determinar el orden de magnitud. Un hecho que incrementa la credibilidad de ambos análisis pues, tal cual más adelante se verá, consideran fuentes de datos diferentes y en periodos de tiempo distintos. De hecho, en muy pocos casos el análisis que aquí presentamos ha utilizado datos procedentes de CEC (2005c) o Klein (2005) y además conviene subrayar que estos datos compartidos representan un pequeño porcentaje respecto al total empleado en nuestro análisis.

### Consumo energético medio por volumen de agua

Las Figuras 3 y 4 sintetizan los resultados del consumo energético. La Figura 3 muestra la energía media consumida por volumen entregado al consumidor final. Este valor, 1.56 Kwh equivalentes/m<sup>3</sup>, incluye el consumo de gas natural y de diesel, convertidos a electricidad equivalente. Por tanto no representa únicamente el consumo eléctrico. Estos resultados son aproximaciones representativas del Estado de California como un conjunto, pero no son aplicables a cada uno de los abastecimientos del Estado, área concreta o consumidor final. Por ejemplo, existe una diferencia significativa en la energía consumida para la obtención y transporte del agua entre las zonas del sur y del norte de California, debido a que el abastecimiento de la zona del sur está alejado de las fuentes de suministro del agua como, por ejemplo, el río Colorado. Además, no hay datos disponibles en los abastecimientos para el agua superficial ni tampoco los consumos de las estaciones de bombeo de las redes de saneamiento. De hecho el agua de

lluvia y el gasto energético en las bombas de las redes de saneamiento no se estiman en este trabajo, tanto por la falta de datos como porque el agua de lluvia (es sólo un criterio) no se considera como parte del ciclo urbano del agua. En consecuencia, las estimaciones en este informe son, sin duda, representativas pero en modo alguno pueden elevarse a la categoría de definitivas. Antes bien conviene interpretar cautelosamente sus resultados. La Figura 4 muestra la energía eléctrica media relacionada con el agua. Los porcentajes mostrados están referidos al valor, 1.01 Kwh/m<sup>3</sup>, un dato que comparado con el de la Figura 3 (1.56 Kwh equivalentes por m<sup>3</sup> entregado) evidencia que dos terceras partes de la energía relacionada con el agua es, aproximadamente, de origen eléctrico, mientras que la mayoría de la energía restante es generada a partir del gas natural (33%), mientras que una pequeña fracción, un 2%, en el año 2000 aún se generaba con grupos electrógenos.

### Consumos energéticos más relevantes relacionados con el agua

El presente análisis indica que gran parte de la energía ligada al uso del agua en el año 2000 corresponde a las etapas de captación y transporte (incluyendo los bombeos de las aguas subterráneas que se incorporan al State Water Project y al Federal Central Valley Project), así como a los usos finales del agua (viviendas, industrias y usos agrícolas). Las Tablas 3, 4 y 5 muestran, debidamente desglosados, los consumos energéticos ligados al agua. Como en las transferencias de agua entre cuencas la única fuente de energía es la electricidad, la Tabla 4 agrupa en una misma columna el consumo eléctrico y el consumo eléctrico equivalente.

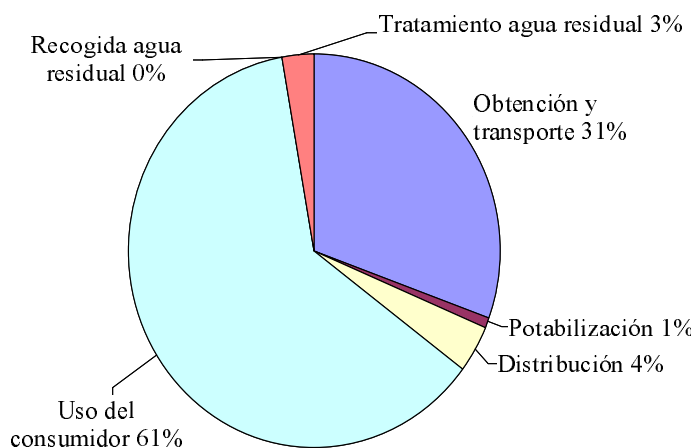
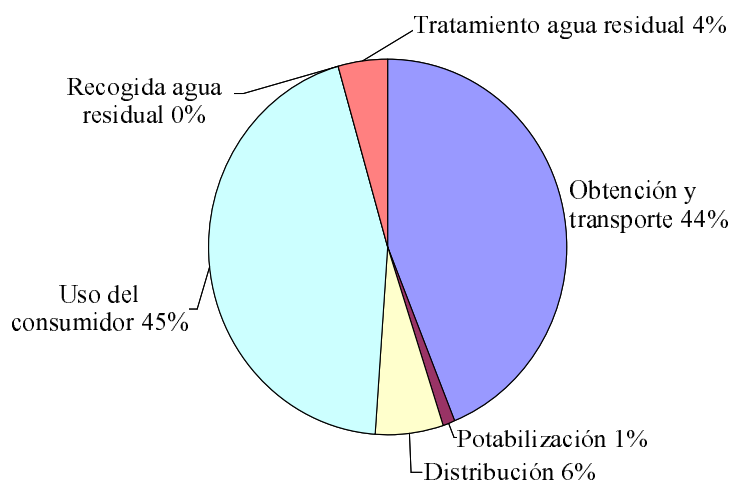


Figura 3. Energía media por m<sup>3</sup> consumido (1.56 Kwh equivalentes/m<sup>3</sup>)



**Figura 4.** Energía eléctrica media por m³ consumido (1.01 KWh/m³)

	Hm³/año	Consumo eléctrico GWh/año	Consumo eléctrico equivalente GWh/año
Agua Subterránea	20992	6856	8434
Agua superficial local	11103	13	13
Reutilización	348	89	89
Agua superficial de trasvase	20937	13356	13356
Desalación	0	0	0
<b>Total</b>	<b>53381</b>	<b>20315</b>	<b>21894</b>

**Tabla 3.** Consumo eléctrico y eléctrico equivalente en las etapas de captación y transporte de agua (año 2000)

	Hm³/año	Energía eléctrica equivalente GWh/año
Central Valley Project based deliveries	2376	385
Central Valley Project project deliveries	5889	956
Potter Valley Project	190	Producción de energía
Other Federal Deliveries	800	645
State Water Project	4572	9190
Colorado. River to MWD and Beyond	1333	2162
Colorado River to IID	3755	Producción de energía
Colorado River to PVID	630	0 (0.4)
Colorado River to Others	451	0 (0.3)
Mokelumne River	259	18
Hetch Hetchy	407	Producción de energía
Los Angeles Aqueduct	247	Producción de energía
Other Surface water Imports	88	Datos no disponibles
<b>Totals</b>	<b>20937</b>	<b>13358</b>

**Tabla 4.** Agua superficial transvasada entre cuencas y energía equivalente de dicha transferencia

### Consumo energético en procesos industriales

La Tabla 6 muestra la energía ligada al agua en diversos procesos industriales. Los autores han estimado estos consumos a partir de los informes del US Manufacturing Energy Consumption Survey (US Department of Energy,

1998 y 2000), resultados que han sido comparados con los usos de California en cada proceso industrial (Gleick y col 2003). La información se ha estructurado en los siete grupos para los que se disponen de datos de consumo eléctrico y de gas natural en los Estados Unidos, así como la demanda de agua en California en cada una de

Uso final	Hm <sup>3</sup> /año	Consumo eléctrico KWh/año	Consumo eléctrico equivalente KWh/año
<b>Residencial</b>			
Lavavajillas	37	814	814
Lavadora	517	1142	4880
Baños y duchas	812	662	4410
Jardines	2825	0	0
Inodoros/Fugas/Grifos	2325	0	0
<b>Comercial, Industrial e Institucional</b>			
Lavavajillas	37	825	825
Agua a presión en fregaderos	22	18	118
Lavanderías	52	115	491
Aguas en procesos industriales	442	4722	20180
Agua de refrigeración de maquinaria	506	5552	5552
Otros tipos de agua caliente	59	48	319
Productores de hielo	38	6645	6645
Zonas verdes	866	0	0
Agua en baños	820	0	0
Fugas/varios	1048	0	0
Bombeos	34993	3	3
Otros usos	183	Datos no disponibles	Datos no disponibles
<b>Total</b>	<b>45.564</b>	<b>20544</b>	<b>44237</b>

**Tabla 5.** Energía eléctrica consumida y equivalente según el uso final del consumidor

Tipo de proceso consumidor de energía	Electricidad	Gas natural
Caldera	100 %	100 %
Calor empleado en procesos industriales	0 %	50 %
Enfriamiento	50 %	0 %
Maquinaria	20 %	20 %
Procesos electroquímicos	10 %	10 %
Otros	10 %	10 %

**Tabla 6.** Porcentaje de energía empleada directamente con el agua según los procesos industriales

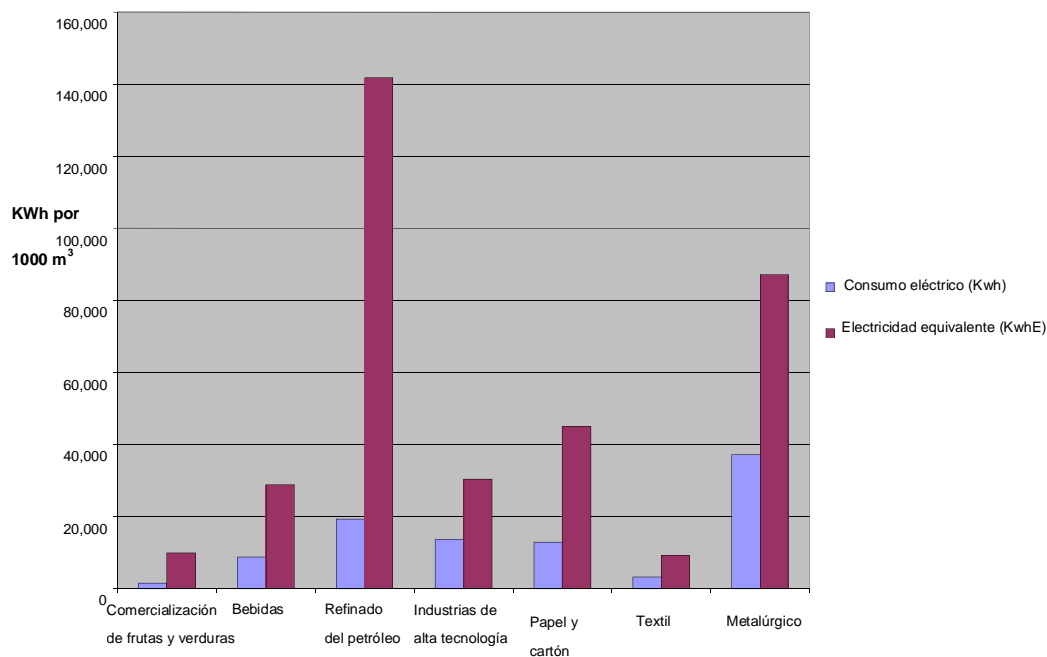
estas actividades. Se estimó el gasto de electricidad y de gas natural en California en cada uno de estos siete grupos, comparando la facturación de cada uno de estos grupos de empresas en California con el total de los Estados Unidos (US Census Bureau, 2003). Adicionalmente, este proceso permitió relacionar el consumo eléctrico con el de agua y, finalmente, determinar el consumo eléctrico y de gas por metro cúbico de agua utilizada para cada una de estas siete categorías.

Con todo nuestro interés se centra en la relación entre el agua y la energía y en alguno de los siete grupos definidos tal relación no está claramente establecida. Por ejemplo, la fuerza motriz es la mayor consumidora de energía de estos grupos pero no toda ella se emplea en trasegar agua. Porque también necesitan energía los motores que alimentan los circuitos oleo hidráulicos o neumáticos y otros accionamientos (como cintas transportadoras) que no están directamente relacionadas con el agua. Los autores han debido estimar la energía relacionada con el agua en cada uno de los grupos apoyándose

en diversas fuentes (US Department of Energy 2004 and 2000); US Environmental Protection Agency (1995). Las hipótesis admitidas se muestran en la Tabla 6.

La Figura 5 muestra, finalmente, la relación agua - energía tanto en Kwh eléctricos como en Kwh equivalentes en estos siete sectores industriales de nuestro análisis, de tal manera que el consumo medio industrial ponderado en California puede estimarse en 44.585 Kwh equivalente por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua. La metodología expuesta supone que el peso medio final, resultado de ponderar los siete grupos seleccionados permite analizar con suficiente precisión el conjunto de la industria de California. En cualquier caso esta es una hipótesis que debe actualizarse a partir de la evolución tecnológica que pueda haber en estos procesos industriales, evolución que puede condicionar el gasto energético y el consumo de agua. Por ello, cuando las circunstancias lo aconsejen, debería ser objeto de estudio en un trabajo futuro.





**Figura 5.** Relación agua - energía (consumo eléctrico y eléctrico equivalente) en distintos procesos industriales en California

## CONCLUSIONES

El consumo energético ligado al manejo del agua es importante. El análisis que este estudio sintetiza, ha seguido el camino “bottom-up” por lo que, toda vez que los resultados obtenidos son similares al análisis “top-down” realizado por la California Energy Commission en 2005 y cuyos resultados han sido ampliamente difundidos, confirma la validez del método seguido. La fiabilidad de estos resultados y las grandes cantidades de energía que el manejo del agua comporta, aconseja a las entidades de gestión del agua tomar decisiones que contemplen no sólo los recursos hídricos que los usos del agua exigen sino también la valoración económica y las emisiones de gases de efecto invernadero ligados a la energía requerida.

Con todo, así se ha evidenciado, existe una gran variación en la demanda de energía por volumen de agua usado. Una variación que depende tanto del tipo como de la ubicación del consumo. Tan amplia es que las diferencias pueden estar marcadas por uno o incluso dos órdenes de magnitud (esto es, un factor de 10 o de 100). Consecuentemente, las compañías encargadas del abastecimiento de agua urbano deben

evaluar su propio consumo energético en relación con el agua y no deben conformarse en adoptar valores medios. Por otra parte, faltan muchos datos como por ejemplo la energía requerida para presurizar el agua requerida en edificios con muchas plantas y hasta por los rascacielos. Para abastecer servicios situados en la quinta planta y superiores se necesita una presurización adicional. También cada día son más frecuentes las estaciones de bombeo en redes de saneamiento. Para estos y otros muchos casos, no se disponen de datos.

Con todo, los orígenes y los largos transportes de agua, así como la energía requerida por los usos finales, son las etapas más consuntivas del ciclo agua - energía en California, unos valores difícilmente modificables dado que, al respecto, hay coincidencia entre este estudio y el realizado por CEC 2005. Por tanto las implicaciones energéticas relativas a los nuevos suministros de agua<sup>3</sup>, y las emisiones de gas a ellas ligadas, probablemente serán superiores a las que comportan tanto la distribución de agua a presión como los estándares de calidad, cada vez más exigentes, en saneamiento<sup>4</sup>. Los decisores deberán tenerlo muy presente.

El consumo eléctrico representa dos tercios del

<sup>3</sup>Incluye el ahorro del agua, una fuente habitualmente no contemplada entre las nuevas fuentes de agua.

<sup>4</sup>Aunque los estándares de calidad en aguas residuales son muy estrictos, la obtención del agua reciclada presenta un menor consumo energético que el agua obtenida por otras fuentes.

total energético empleado en el agua. Para estimarlo, los orígenes de energía alternativos hay que convertirlos en KWh equivalentes. Entre estas fuentes, la más relevante es el gas natural. Por ello, mantener el agua caliente (evitar pérdidas térmicas en circuitos de calefacción) o agua que se calienta y se hace circular (por ejemplo en lavadoras), representan las mayores oportunidades de ahorro, tanto de agua como de energía. De entre los procesos industriales que requieren mucha agua las que más energía demandan son las torres de refrigeración y la producción de hielo. Si no se analiza el problema de manera global, optimizando al mismo tiempo el conjunto del ahorro de agua y de la energía, se pueden adoptar decisiones que no sean, desde la óptica hídrico-energética, las más adecuadas.

Aunque por parte del consumidor no exista una clara concienciación, hay un notable margen de ahorro energético a partir de los ahorros de agua, sobre todo cuando procede de fuentes energéticamente muy consuntivas (como la transvasada, el agua subterránea o la desalada). El agua reciclada y el agua de lluvia directamente almacenada requieren en origen mucha menos energía que el agua transvasada o desalada. El agua reutilizada consume aproximadamente un 10% de la energía empleada para obtener el agua por desalación. Este ahorro puede ayudar a compensar los excesivos recelos del consumidor con respecto al uso del agua reciclada. Por otra parte, en California la desalación no consume mucha más energía que el transporte actualmente activo (State Water Project to Southern California). Por tanto, en ciertos lugares puede ser una alternativa atractiva, ya que reduce los largos transportes de agua, especialmente si se emplea una fuente energética que abastezca a la planta desaladora con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

## REFERENCIAS

- Burton, F., (1996). Water and wastewater industries: characteristics and energy management opportunities. Elect. Power Rese. Inst. Comm. Envir. Center Report, CR-106941.
- Burt, C., y Dan Howes, (2005). Comparison of ag-water energy estimates from the ITRC and the April 8 CEC analysis of utility records. A memorandum to Ricardo Amon and Pramod Kulkarni, California Energy Commission, Sacramento, Abril 28.
- Burt, C., D. Howes y G. Wilson, (2003). California agricultural water electrical energy requirements. ITRC Report No. R03-006, Irrigation Training and Research Center, California Polyt. Univ., San Luis Obispo.
- CEC (2005a). Integrated energy policy report. CEC-100-2005-007-CMF, California Energy Comm., Sacramento, November.
- CEC (2005b). Global climate change. Draft staff paper, CEC-600-2005-007, California Energy Comm., Sacramento.
- CEC (2005c). Water-energy relationship. Staff paper, CEC-700-2005-011-SF, California Energy Comm., Sacramento, November.
- DWR, (2005). California Water Plan. Bulletin 160-05, Dep. of Water Res., Sacramento.
- DWR, (2003). California's Groundwater. Bulletin 118, Update 2003, Department of Water Resources, Sacramento.
- DWR, (2002). Management of the California State Water Project. Bulletin 132-01, Department of Water Resources, Sacramento.
- DWR, (1995). Unpublished survey of industrial water use. California Department of Water Resources: Sacramento
- DWR, (1994). Urban Water Use in California. Bulletin 166-4, California Department of Water Resources, Sacramento.
- EIA, (2001). Residential energy consumption survey: household energy consumption and expenditure tables. Available through: <http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/>
- Gleick, P.H., D. Haasz, C. Henges-Jeck, V. Srinivasan, G. Wolff, K. Kao Cushing y A. Mann, (2003). Waste Not, Want Not: The Potential for Urban Water Conservation in California. Pacific Institute, Oakland.
- Hutson, S.S., N.L. Barber, J.F. Kenney, K.S. Linsey, D.S. Lumia y Molly A. Maupin, (2004). Estimated use of water in the united states in 2000. United States Geologic Survey Circular 1268, US Geologic Survey, Reston Virginia.
- Tipton, E., (2005). Department of Water Resources. Personal communication, excel spreadsheet titled: "DWR balances spreadsheet 2-16-05".
- U.S. Census Bureau, (2003). Annual Survey of Manufactures. Table 2. Statistics for the United States and States by Industry Group; and 2001 and Earlier Years.
- U.S. Department of Energy, (2004). Energy Use, Loss and Opportunities Analysis: U.S.

- Manufacturing & Mining. Prepared by Energetics, Inc. and E3M Inc.
- U.S. Department of Energy, (2002). Manufacturing Energy Consumption Survey. Table 5.3 End Uses of Fuel Consumption, available at: <http://www.eia.doe.gov/emeu/mecs/contents.html>
- U.S. Department of Energy, (2000). Overview of Energy Flow for Industries in Standard Industrial Classifications 20-39. Prepared by Arthur D. Little. Inc.
- U.S. Department of Energy, (1998). Manufacturing Energy Consumption Survey. Table N6.3 End Uses of Fuel Consumption, available at: <http://www.eia.doe.gov/emeu/mecs/contents.html>
- Wolff, G., R. Cohen y B. Nelson, (2004). Energy down the drain: the hidden costs of California's water supply. Natural Resources Defense Council.
- Wolff, G., (2004). User Manual for the Pacific Institute Water to Air Models. Pacific Institute, Oakland.
- Wolff, G. y P.H. Gleick, (2002). The soft path to water in The World's Water 2002-2003. The Biennial Report on Freshwater Resources, Island Press, Washington D.C.