

Implicaciones para el agua de los escenarios energéticos mundiales

Pedro Linares*

15 de Junio de 2008

Resumen

Una preocupación creciente en el sector energético es cómo hacer frente a la creciente demanda de agua del sector, en un entorno en que el agua cada vez se va a convertir en un bien más escaso. Efectivamente, el aumento de la demanda de energía a nivel global requerirá más agua para refrigeración de las centrales térmicas, para cultivo de biocarburantes, o para la extracción y refino de combustibles fósiles. Por otra parte, el uso intensivo de los combustibles fósiles contribuye significativamente a un cambio climático que reducirá en algunos países el aporte de agua, y que en todos posiblemente lo hará más irregular. Los objetivos de este trabajo son analizar el uso de agua bajo los escenarios energéticos futuros (a partir de las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía), y evaluar los cambios en la demanda de agua para usos energéticos en relación al suministro hídrico previsto en el futuro para las distintas regiones geográficas. Los resultados darán indicaciones valiosas sobre hasta qué punto el agua puede ser un factor condicionante de los escenarios energéticos previstos, y de las medidas que se pueden adoptar frente a las limitaciones que puedan aparecer.

1 Los escenarios energéticos futuros

La Agencia Internacional de la Energía prepara todos los años una serie de escenarios energéticos, en los que se detalla la demanda y la producción de energía por áreas geográficas, para las distintas fuentes energéticas. Para este estudio utilizaremos el informe de 2007 (IEA, 2007), del que a continuación se muestra el total agregado para tres escenarios: el más reciente al año de publicación, 2005, un escenario de referencia para 2030, en el que básicamente se asume la continuación de las políticas energéticas actuales, sin cambios, y un escenario llamado “alternativo”, en el cual se simula el efecto de políticas de reducción del consumo energético y de lucha contra el cambio climático.

* Instituto de Investigación Tecnológica y Cátedra BP de Desarrollo Sostenible, U. Pontificia Comillas, Alberto Aguilera 23, 28015 Madrid; CBG, Harvard Kennedy School.; y FEDEA. E-mail: pedro.linares@upcomillas.es

Los resultados de cada uno de estos tres escenarios se muestran en las tablas 1 y 2, en las que se recogen la demanda de energía primaria y la producción de electricidad, respectivamente.

Tabla 1. Demanda de energía primaria (Mtep)

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
Carbón	2892	4994	3700
Petróleo	4000	5585	4911
Gas	2354	3948	3447
Nuclear	721	854	1080
Hidráulica	251	416	465
Biomasa y residuos	1149	1615	1738
Otras renovables	61	308	444
TOTAL	11429	17721	15783

Fuente: IEA (2007)

Tabla 2. Producción de energía eléctrica (TWh)

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
Carbón	7334	15796	10716
Petróleo	1186	929	844
Gas	3585	8068	6602
Nuclear	2771	3275	4144
Hidráulica	2922	4842	5403
Biomasa y residuos	231	840	1166
Eólica	111	1287	1800
Geotérmica	52	173	190
Solar	3	161	352
Mareomotriz	1	12	24
TOTAL	18197	35384	31240

Fuente: IEA (2007)

Como ya se ha mencionado, el informe de la IEA presenta también estas cifras desagregadas por áreas geográficas, y de hecho el análisis recogido en

este estudio se ha realizado de esta forma. Sin embargo, y por razones de espacio, no incluiremos aquí estas cifras, remitiéndose al lector al informe original.

2 Demanda de agua para energía

Cuando se habla de la demanda de agua para energía, deben distinguirse dos posibles interpretaciones: la demanda de uso, y la demanda de consumo. Por la primera se entiende la simple circulación del agua, que luego es devuelta al cauce o medio original, mientras que la segunda es el agua realmente “gastada”, y que por tanto no es susceptible de otros usos posteriores, bien porque se ha evaporado, o porque ha sido contaminada, o porque ha sido incorporada a otros productos (como los cultivos).

Evidentemente, cuando se considera una escala de tiempo lo suficientemente larga, no hay ningún consumo neto de agua, ya que el agua “gastada” se reincorporará de una manera u otra al ciclo hidrológico. Sin embargo, en este trabajo consideraremos escalas de tiempo menores, ya que uno de los objetivos es comparar el consumo de agua para usos energéticos con la disponibilidad de este recurso en el mundo, que habitualmente se mide no como agua total, sino como agua disponible en un momento dado.

La demanda de agua para energía puede tener distintos fines, según la actividad realizada. Además, esta demanda puede tener efectos sobre la cantidad de agua, pero también sobre la calidad (lo que evidentemente también afecta a la cantidad disponible para otros usos).

En el cuadro siguiente se resumen los efectos de la producción y uso de la energía sobre el agua, según el Departamento de Energía de EEUU (US DOE, 2006):

Fase del ciclo energético	Cantidad de agua	Calidad del agua
Extracción y producción		
Exploración de gas y petróleo	Agua para perforar, fracturar y completar	Impacto en la calidad del agua subterránea
Extracción de gas y petróleo	Grandes volúmenes de agua producida, contaminada	El agua producida puede contaminar las aguas subterráneas y de superficie
Minería del carbón y el uranio	La minería puede generar grandes cantidades de agua contaminada	Los residuos y drenajes pueden contaminar el agua subterránea y de superficie
Generación eléctrica		
Termoeléctrica (fósil, nuclear, biomasa, solar, geotérmica)	Agua de refrigeración y limpieza	Contaminación de aguas por vía atmosférica y térmica
Hidroeléctrica	Pérdidas por evaporación	Impactos sobre la temperatura, calidad y ecología del agua
Fotovoltaica y eólica	Pequeños impactos durante la construcción	

Fase del ciclo energético	Cantidad de agua	Calidad del agua
Refino y procesado		
Refino de petróleo y gas	Agua para el refino	Posibles problemas de contaminación
Biocarburantes	Agua para cultivo y refino	Aguas residuales en el refino y el cultivo
Hidrógeno y combustibles sintéticos	Agua para síntesis o reformado	Aguas residuales
Transporte y almacenamiento		
Gas- y oleoductos	Agua para pruebas hidrostáticas	Aguas residuales
Residuos de carbón	Agua para el transporte	Aguas residuales
Transporte en barco		Accidentes
Almacenamientos subterráneos de gas y petróleo	Agua para la preparación del almacenamiento	Lodos

En lo que respecta al impacto sobre la cantidad de agua disponible, la mayor parte del agua asociada al consumo energético se debe a cuatro grandes partidas: el agua de refrigeración para las centrales térmicas de generación eléctrica, el agua evaporada en los grandes embalses, el agua para regadío de biocombustibles, y el agua empleada en la extracción y refino de combustibles fósiles.

En cuanto a los biocarburantes, debe señalarse que el consumo de agua puede ser muy variable. Así, si bien por ejemplo en EEUU el etanol se produce a partir de maíz cultivado en regadío, y con unas muy altas demandas hídricas, otros biocarburantes pueden producirse a partir de otro tipo de cultivos que no necesiten regadío y cuya demanda de agua sea muy inferior (p.ej., el *Cynara cardunculus*). Otro aspecto a considerar es si el cultivo en cuestión está sustituyendo o no a cultivos previos, en cuyo caso la demanda de agua de los biocarburantes debería calcularse como la diferencia entre la situación anterior y la actual. Así, se podría dar incluso la situación de que la sustitución de cultivos alimentarios por cultivos para biocarburantes redujera la demanda de agua. Como se ve, es una cuestión complicada que requiere considerar numerosos parámetros y supuestos. Por esta razón, y también debido a que no hay disponibles escenarios fiables de demanda de biocarburantes a nivel global (lo recogido bajo el epígrafe de biomasa en las estadísticas de la IEA está constituido en su mayor parte por biomasa forestal, utilizada para leñas), no se han considerado estos en el análisis.

Así pues, los consumos de agua considerados han sido los asociados con la extracción y refino de combustibles fósiles, y con la generación eléctrica. Los consumos específicos se recogen en las tablas 3 y 4. En ambos casos se recogen valores mínimos y máximos, ya que existe una variabilidad significativa según el proceso utilizado.

Tabla 3. Consumo específico de agua para la extracción y refino de combustibles fósiles (miles de m³ por Mtep)

	Mínimo	Máximo
Minería del uranio	1667	1667
Minería del carbón	6042	8333
Extracción de petróleo	125	29167
Refino de petróleo	1042	5000
Extracción de arenas bituminosas	7500	7500
Procesado del gas	250	250

Fuente: Gleick (1994)

En el caso de la extracción y refino se considera que toda el agua utilizada es consumida, generalmente por el nivel de contaminación que alcanza, que hace imposible su vuelta al cauce o medio original.

Tabla 4. Uso y consumo específico de agua para la generación de electricidad (m³ por GWh)

	Uso		Consumo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Térmica ciclo abierto	75700	190000	1100	1100
Térmica ciclo cerrado	1100	2300	1100	1800
Nuclear ciclo abierto	94600	227100	1500	1500
Nuclear ciclo cerrado	1900	4100	1500	2700
Ciclo combinado ciclo abierto	28400	75700	380	380
Ciclo combinado ciclo cerrado	870	870	680	680
Geotérmica	7400	7400	5180	5180
Solar térmica	2775	3404	2775	3404
Hidráulica			5400	26000

Fuente: EPRI (2002)

En este caso como se puede ver sí se distingue entre uso y consumo. Así se observa cómo la refrigeración de las centrales térmicas en ciclo abierto requiere un elevado volumen de agua, aunque esta agua es posteriormente devuelta al cauce o medio original, generalmente sólo con una cierta modificación de su temperatura. En el caso de la energía hidráulica, el agua turbinada ni siquiera llega a salir del cauce generalmente (salvo en el caso

de algunas centrales), y tampoco sufre modificaciones significativas de su temperatura (aunque sí en ocasiones en su ecología), por lo que no se ha recogido aquí. En cambio, sí aparece un consumo significativo, asociado a la evaporación del agua que tiene lugar en los embalses generalmente asociados a la energía hidráulica (las cifras que se recogen aquí son medias, y por tanto en aquellas regiones en las que la energía hidráulica se genere mediante centrales de agua fluyente, las cifras resultantes serán posiblemente una sobreestimación).

3 Repercusión de la producción de energía en el consumo de agua

3.1 El uso de agua para energía frente al uso actual total

Con el fin de poner en perspectiva los consumos de agua asociados a la producción energética, vamos a comparar estos consumos con la utilización actual de agua. En la tabla 5 se presenta el volumen de recursos hídricos renovables anuales, el uso de agua dulce anual, y la fracción de ésta utilizada en la industria.

Tabla 5. Uso actual de agua en el mundo (miles de millones de m³)

	Recursos hídricos renovables al año	Uso de agua dulce anual	Uso de agua dulce en la industria
OCDE- Norteamérica	6826,2	599,9	254,6
OCDE-Europa	2499,0	252,2	125,5
OCDE-Pacífico	1294,7	133,2	21,5
China	2829,6	549,8	141,3
India	1907,8	645,8	35,2
Resto de Asia	9980,3	620,0	31,7
Oriente Medio	295,2	168,6	4,7
América Latina	17934,2	187,1	23,2
Economías en transición	5872,3	306,7	87,3
África	5723,5	213,238	9,1379763
TOTAL	55162,9	3676,5	734,0

Fuente: Pacific Institute (2008)

Finalmente, a partir de los datos regionales de consumos energéticos, y de los consumos específicos de agua para la producción de energía ya presentados en la sección anterior, podemos realizar una estimación de la repercusión de esta última en el balance hídrico global.

En primer lugar analizamos el volumen de uso no consuntivo de agua para energía con respecto al aporte total de recurso hídrico renovable, que se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Demanda de uso no consuntivo de agua para energía con respecto al suministro total

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
OCDE- Norteamérica	0% - 5%	0% - 8%	0% - 7%
OCDE-Europa	0% - 11%	0% - 15%	0% - 13%
OCDE-Pacífico	0% - 20%	0% - 19%	0% - 15%
China	0% - 22%	0% - 29%	0% - 26%
India	0% - 14%	0% - 47%	0% - 37%
Resto de Asia	0% - 6%	0% - 22%	0% - 16%
Oriente Medio	0% - 1%	0% - 3%	0% - 2%
América Latina	0% - 26%	0% - 54%	0% - 46%
Economías en transición	0% - 0%	0% - 0%	0% - 0%
África	0% - 3%	0% - 4%	0% - 4%
TOTAL	0% - 1%	0% - 2%	0% - 2%

Fuente: Elaboración propia

Vemos cómo en general el uso no consuntivo del agua no supone un volumen muy significativo, aunque esto cambia cuando se analizan zonas específicas. Así, vemos cómo en la India, América Latina o China, los escenarios futuros podrán suponer una importante demanda de usos no consuntivos con respecto a los recursos disponibles. Esta situación podría llegar a ser crítica si se tiene en cuenta el factor estacional del aporte hídrico, por lo que en algunas regiones puede comprometerse la producción energética si no se tiene en cuenta de manera adecuada la disponibilidad de agua al escoger las tecnologías de producción o los diseños de dichas tecnologías (especialmente en lo que tiene que ver con la refrigeración de centrales eléctricas).

Ahora bien, es cierto que esto es más un problema generalmente temporal de disponibilidad de agua para energía, más que el tema central del análisis, que es hasta qué punto la producción energética puede afectar a la disponibilidad de agua para otros usos. A este respecto, parece más interesante analizar únicamente el agua realmente consumida por los procesos de producción energética, ya que el agua usada y no consumida puede ser reutilizada posteriormente para otros fines.

En la tabla 7 se muestra la participación de la demanda de agua asociada a la producción energética con respecto al suministro total de recursos hídricos, por regiones geográficas.

Hay que hacer notar una cuestión importante, y es que en el escenario alternativo, el World Energy Outlook no facilita estadísticas regionalizadas sobre producción de combustibles, por lo que en algunas situaciones puede no ser posible comparar los resultados para el escenario de referencia y el escenario alternativo.

Tabla 7. Demanda de agua para energía respecto al suministro total

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
OCDE- Norteamérica	0% - 1%	0% - 1%	0% - 0%
OCDE-Europa	0% - 1%	0% - 1%	0% - 1%
OCDE-Pacífico	0% - 1%	0% - 1%	0% - 1%
China	0% - 1%	1% - 2%	0% - 2%
India	0% - 0%	0% - 1%	0% - 1%
Resto de Asia	0% - 0%	0% - 0%	0% - 0%
Oriente Medio	1% - 15%	1% - 27%	0% - 1%
América Latina	0% - 0%	0% - 0%	0% - 0%
Economías en transición	0% - 1%	0% - 1%	0% - 0%
África	0% - 0%	0% - 1%	0% - 0%
TOTAL	0% - 0%	0% - 1%	0% - 1%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, las demandas de agua para energía no son muy significativas con respecto al aporte total, salvo en el caso de Oriente Medio, donde, fundamentalmente debido a la escasez del aporte anual, el incremento de la demanda de energía previsto para 2030 en el escenario de referencia puede comprometer la satisfacción de otras demandas. La comparación con el escenario alternativo no tiene sentido como ya se ha comentado, ya que la bajada de demanda de agua se debe únicamente a la no contabilización en este escenario de la producción de petróleo a nivel regional.

Estas cifras como decimos parecen no ser importantes, pero hay que señalar que, si bien en algunos casos los aportes de agua pueden ser significativos, lo realmente relevante es el consumo de agua, ya que será con éste con quien compitan realmente las demandas de agua para la producción energética. De hecho, en ocasiones puede ser muy difícil elevar el consumo si los aportes anuales son difíciles de captar y gestionar.

Tabla 8. Demanda de agua para energía respecto al consumo actual

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
OCDE- Norteamérica	2% - 9%	3% - 9%	2% - 5%
OCDE-Europa	3% - 11%	3% - 11%	2% - 9%
OCDE-Pacífico	3% - 7%	4% - 9%	2% - 6%
China	2% - 5%	5% - 12%	2% - 8%
India	0% - 1%	1% - 2%	1% - 2%
Resto de Asia	0% - 2%	1% - 3%	0% - 2%
Oriente Medio	1% - 26%	2% - 47%	1% - 1%
América Latina	2% - 16%	4% - 26%	3% - 15%

Economías en transición	2% - 11%	2% - 15%	1% - 5%
África	1% - 10%	2% - 14%	1% - 4%
TOTAL	1% - 7%	3% - 11%	2% - 9%

Fuente: Elaboración propia

En este caso vemos que la demanda de agua para energía comienza a ser más relevante. Así en muchas regiones tendrá una participación entre el 10 y el 20% del consumo total, lo cual puede comenzar a plantear problemas de competencia con otros suministros, en especial el regadío y por tanto, el suministro de alimentos. Como en el caso anterior, observamos que los casos de Oriente Medio y América Latina pueden empezar a ser preocupantes, y por tanto será especialmente importante utilizar en ellos tecnologías energéticas que permitan situarse más cerca de los valores mínimos estimados. A nivel mundial, el porcentaje de participación no se incrementa mucho, y de hecho puede amortiguarse bastante bajo el escenario alternativo.

Finalmente, analicemos la demanda de agua para energía con respecto a otros usos industriales, con el fin de formarnos una idea acerca de la competencia que puede presentar la producción energética con otros usos industriales en cuanto a la demanda de agua.

Tabla 9. Demanda de agua para energía respecto al consumo actual en la industria

	2005	2030 Referencia	2030 Alternativo
OCDE- Norteamérica	5% - 20%	7% - 22%	4% - 11%
OCDE-Europa	6% - 22%	6% - 22%	5% - 17%
OCDE-Pacífico	17% - 41%	24% - 54%	15% - 38%
China	8% - 21%	20% - 45%	9% - 31%
India	7% - 18%	19% - 44%	11% - 36%
Resto de Asia	8% - 33%	17% - 57%	9% - 33%
Oriente Medio	44% - 932%	84% - 1693%	22% - 53%
América Latina	19% - 126%	34% - 213%	27% - 125%
Economías en transición	6% - 37%	8% - 51%	4% - 16%
África	26% - 223%	45% - 336%	25% - 95%
TOTAL	7% - 36%	13% - 54%	11% - 48%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla observamos cómo empiezan a aparecer casos relevantes, aparte de los de Oriente Medio y América Latina ya comentados. Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que el aumento de la participación de la energía con respecto al resto de la demanda industrial puede deberse a dos causas, al aumento de la producción energética en sí misma, y a la demanda actual de agua para la industria.

Así, podemos distinguir la situación en China, las economías en transición y OCDE-Pacífico, donde la industria ya demanda cantidades elevadas de agua, y donde parece por tanto que puede haber problemas serios de

competencia por el agua. Esto es especialmente relevante en el caso de China, de la que se espera un desarrollo industrial muy elevado en el futuro.

Los casos de India, resto de Asia, y especialmente África, se deben sobre todo a la poca participación actual de la industria en el consumo de agua. Ahora bien, parece necesario en estos casos, y ante el importante aumento de esta demanda para usos energéticos, disponer de las infraestructuras adecuadas para ello.

3.2 Influencia del uso energético en la disponibilidad de agua

Todos los escenarios se han analizado con respecto a la disponibilidad y consumo de agua actual. Sin embargo, y principalmente por el aumento de la producción energética con combustibles fósiles y su consecuente impacto sobre el clima global, es de esperar en los próximos años una variación en la disponibilidad de agua, variación que será mucho más acusada a nivel regional, según las estimaciones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007).

Ello podría acentuar algunos de los problemas detectados, sobre todo en regiones como Asia, África y Oriente Medio, en las que la disponibilidad de agua para consumo puede disminuir. En otras regiones más amplias posiblemente se den variaciones significativas interregionales, que sin embargo no pueden ser capturadas dada la resolución geográfica de este estudio. Estos problemas se irán probablemente acentuando con el tiempo, ya que los impactos del cambio climático sobre las precipitaciones serán mayores, y también el consumo energético global.

En general, las predicciones apuntan además no sólo a una disminución del aporte hídrico en unas zonas y aumentos en otras, sino también en un cambio de los patrones de dichos aportes, posiblemente con una mayor concentración de las lluvias. Ello puede repercutir en distintos aspectos: una menor disponibilidad de agua para consumo, una menor capacidad de producción de las centrales hidráulicas, y finalmente quizá en una mayor necesidad de regulación de los aportes. En cualquier caso, un análisis riguroso de esta cuestión demandaría datos más desagregados a nivel regional, tanto del posible impacto del cambio climático, como del efecto sobre la producción energética.

4 Conclusiones

En primer lugar, es necesario decir que existen numerosas salvedades a realizar acerca de la precisión de los resultados presentados, debidas al elevado grado de agregación de los datos, y a la dificultad de estimar con precisión algunas de las demandas de agua asociadas a la producción

energética (en especial las asociadas al cultivo de los biocombustibles y a la evaporación en embalses). Sin embargo, sí parece ser posible extraer algunas ideas generales acerca de la repercusión del uso actual y futuro de la energía sobre los recursos hídricos.

En general, se puede decir que la demanda de agua para energía no va a incrementarse excesivamente a nivel global para los escenarios considerados, especialmente si se realiza el llamado escenario alternativo. Por tanto, y en una primera aproximación, no parece que la energía vaya a ser un factor crítico respecto a la demanda de recursos hídricos a nivel global. Aunque evidentemente esto depende también de cómo evolucionen los usos alternativos, parece claro que hay otros usos del agua con una mayor participación en el consumo, y por tanto, con un mayor potencial para crear problemas (y también para generar ahorros).

Ahora bien, esto no quiere decir que no puede haber zonas geográficas con problemas: los casos de Oriente Medio y América Latina ya parecen preocupantes, por su elevada demanda de agua para energía en relación con el consumo actual. También otras zonas como China, las economías en transición, o el Pacífico pueden aparecer problemas de competencia por el agua de uso industrial, lo que es especialmente relevante en las regiones como China en las que se espera un desarrollo industrial significativo en el futuro. Otro tema también a vigilar es el posible desacople temporal entre aporte hídrico y demanda de uso (no de consumo) que se puede presentar en algunas regiones como la India, América Latina o China si no se seleccionan de forma adecuada las tecnologías de generación eléctrica.

Parece necesario en estos casos (aunque también con carácter general), y a la vista de la gran variabilidad de la demanda de agua para energía en función de la tecnología utilizada, tratar de priorizar de alguna forma la utilización de tecnologías poco intensivas en agua, para evitar en lo posible la aparición de estos problemas.

Esta necesidad de priorización aumenta si tenemos en cuenta que, en gran parte debido al consumo energético a partir de fuentes fósiles, el previsible cambio climático modificará la disponibilidad de recursos hídricos, fundamentalmente disminuyendo los existentes en zonas ya poco favorecidas, y en general afectando a la regularidad de los aportes. Esto evidentemente acentuará los problemas detectados, y potencialmente podrá crear otros problemas no identificados en el estudio. En este sentido, hay que decir que, por la disponibilidad de los datos, este análisis se detiene en el 2030, año en el que los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos debidos al cambio climático todavía no serán muy relevantes. A más largo plazo, el aumento de la importancia de estos cambios, junto con el previsible crecimiento de la demanda energética, seguramente refuerce las tendencias identificadas. Ello hace más necesario aún el esfuerzo por utilizar tecnologías energéticas no intensivas en consumo de agua, y a la vez el de

tratar de reducir la participación de las energías fósiles en la producción energética.

5 Referencias

EPRI (2002). *Water and sustainability (Volume 3): U.S. Water consumption for power production – The next half century*. EPRI Topical Report, March 2002.

Gleick, P.H. (1994). Water and Energy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 19: 267-299.

IEA (2007). *World Energy Outlook*. International Energy Agency, Paris.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 2007

Pacific Institute (2008). The World's Water 2006-2007. <http://www.worldwater.org/data.htm>, visitado en Julio 2008.

US DOE (2006). *Energy Demands on Water Resources. Report to Congress on the Interdependency of Energy and Water*. U.S. Department of Energy, December 2006.