

La gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos en escenarios de crisis energética y cambio climático

Dr. Carles Ibáñez. Director de la Unidad de Ecosistemas Acuáticos (UEA-IRTA). Carretera Poble Nou s/n, 43540 Sant Carles de la Ràpita, Cataluña, España, carles.ibanez@irta.es

Resumen

Se analizan las consecuencias y los impactos de un escenario de crisis energética y cambio climático, centrado en el caso de los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos. El escenario de crisis energética se deriva de la previsión de que la producción mundial de petróleo y gas natural llegará a su máximo en menos de una década y después entrará en declive hasta su agotamiento definitivo a lo largo del presente siglo. Ello comportará una disminución de la cantidad de energía per cápita (acentuada por la tendencia al crecimiento de la población mundial) y un encarecimiento progresivo de los precios de los combustibles, materias primas y productos manufacturados. Las consecuencias económicas, sociales y ambientales de este fenómeno serán de gran magnitud, y en la presente comunicación se realiza un análisis centrado en la gestión del agua y los ecosistemas acuáticos. El análisis incorpora diversos escenarios de cambio climático, combinados con diversos escenarios de crisis energética. El análisis de los impactos sobre los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos se centra en los siguientes aspectos: impactos en el regadío y la producción agrícola, impactos en los recursos hídricos regulados y en la producción de energía hidroeléctrica y nuclear, impactos en los sistemas costeros y deltaicos. Se concluye que los efectos combinados del cambio climático y la escasez de energía conducen a un escenario insostenible de presión creciente sobre los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos, así con una disminución de la producción de alimentos y de la producción de energía per cápita, que amenaza el bienestar humano y la supervivencia de la población en muchas regiones del planeta.

Introducción

El objetivo del presente artículo es realizar un análisis cualitativo de las consecuencias y los impactos de un escenario combinado de crisis energética (escasez de petróleo y gas natural) y cambio climático sobre los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos, y especialmente aquellos impactos en los que se puede producir una retroalimentación positiva en sus efectos negativos. Existen ya muchos estudios que analizan los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos (Döll 2002, Guo et al. 2002, Middelkoop et al. 2001, Shiklomanov et al. 2001, Gleick y Adams 2000, Australian Greenhouse Office 1998), pero no hay estudios específicos que aborden los impactos de la crisis energética sobre este aspecto, solamente trabajos de carácter más general (Hirsch et al. 2005). Posiblemente este es el primer trabajo que analiza los impactos combinados de la crisis energética y cambio climático sobre los recursos hídricos.

La crisis del modelo energético y sus efectos

El modelo energético mundial está basado en el uso masivo de combustibles fósiles, esencialmente petróleo, gas natural y carbón, que se han acumulado en el subsuelo durante millones de años a partir de la materia orgánica producida por los ecosistemas (esencialmente restos de plantas y plancton marino). Los combustibles fósiles representan actualmente el 80 % del consumo mundial de energía, y se utilizan masivamente para el transporte, la producción industrial (plásticos, pinturas, etc.), la producción agrícola (plaguicidas, fertilizantes, maquinaria, etc.) y la generación de electricidad, entre otras muchas utilidades. Se puede afirmar que el funcionamiento de la sociedad de consumo depende totalmente de la disponibilidad y el precio de los combustibles fósiles, de manera que su escasez, en forma de elevados precios y de problemas de suministro, comportará graves impactos económicos, sociales y ambientales: dificultades en el transporte de personas y suministro de bienes y alimentos a las poblaciones, disminución de la producción industrial y de alimentos, dificultades en el suministro eléctrico, etc. (Hall et al. 2003).

Un número creciente de expertos en recursos energéticos (sobre todo ingenieros del petróleo) sostienen que la producción mundial de petróleo llegará a su máximo en el período 2005-2010 (y la de gas natural unos años más tarde), para después declinar progresivamente hasta su agotamiento como fuente relevante de energía (Campbell y Laherrère 1998). El momento de máxima producción es conocido como “pico del petróleo” o “cenit del petróleo” (“peak oil” en inglés). También es conocido como “pico de Hubbert”, en alusión al primer experto (el geofísico M. King Hubbert) que en 1949 describió este fenómeno (Hubbert 1949) y poco después pronosticó una fecha aproximada de su ocurrencia (Hubbert 1956). Los datos más precisos y fiables sobre la evolución futura de la producción de petróleo y gas natural son los generados por la Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO, www.peakoil.net), que pronostican un máximo antes del 2010, y una reducción a la mitad hacia el 2050. Sin embargo, en función del método de estimación de las reservas y de la información disponible (poco fiable en el caso de muchos países productores), la predicción del cenit del petróleo oscila entre el 2004 y el 2037 (Hallock et al. 2004).

Actualmente existe ya un consenso científico de que el uso masivo de combustibles fósiles, a través de la emisión de gases invernadero, es la principal causa del cambio climático que sufre el planeta. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1,4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Para el período 1990-2100 se estima un aumento de entre 1,4 y 5,8 °C de la temperatura media del planeta, con una consiguiente subida del nivel del mar entre 9 y 88 cm (IPCC 2001). También está prevista una disminución sensible de los glaciares, cambios importantes en los patrones de precipitación y evapotranspiración, aumento de las sequías e inundaciones y cambios en la distribución de las especies biológicas, entre muchos otros efectos.

Por otra parte, existe ya un amplio consenso en los siguientes impactos en la Península Ibérica (Ayala-Carcedo e Iglesias 2000):

*Habrà reducción de precipitaciones

*La subida de temperaturas será especialmente fuerte en verano y será mayor en los países mediterráneos

*Habrà aumentos de la variabilidad interanual de la precipitación

Para comprender los impactos de los dos fenómenos (cénit del petróleo y cambio climático), es fundamental tener en cuenta que el aumento de las emisiones de carbono a la atmósfera es la consecuencia del creciente consumo de combustibles fósiles; que este consumo creciente conducirá a su agotamiento en las próximas décadas; que este consumo es el principal responsable del cambio climático; y que la sostenibilidad socioeconómica y ambiental pasa por un cambio profundo en el modelo energético (menor consumo y energías renovables). Se puede afirmar que en las próximas décadas dejaremos de disfrutar de las ventajas del petróleo (alto contenido energético, versatilidad como combustible y materia prima, precios bajos) y sufriremos las consecuencias negativas de su utilización (escasez, altos precios, cambio climático). Pero la relación entre el cenit del petróleo y el cambio climático no sólo se limita a una misma causa (el consumo masivo de combustibles fósiles) sino que en muchos casos también tienen consecuencias similares o sinérgicas, por lo cual resulta muy relevante su análisis conjunto e integrado. En este artículo nos centraremos en los efectos combinados de la escasez de energía y el cambio climático sobre los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos, pero antes haremos algunas consideraciones sobre los efectos globales, que nos ayudaran a entender mejor los posibles efectos sobre la disponibilidad de agua, sus costes, etc.

Impactos combinados del cambio climático y el cenit del petróleo. Consecuencias sobre la gestión del agua y los ecosistemas acuáticos

A consecuencia de la elevada complejidad de los fenómenos analizados, resulta imposible una predicción cuantitativa de sus efectos futuros, e incluso la predicción cualitativa resulta difícil debido a las interacciones de carácter no lineal. Pero puede resultar útil el realizar análisis de escenarios, con el objetivo de identificar los aspectos clave afectados por el cambio climático y la escasez energética, especialmente de aquellos que pueden potenciar mutuamente sus efectos negativos. Vamos a partir de dos escenarios, uno de optimista y uno de pesimista:

- Escenario optimista: cenit del petróleo en más de 10 años, cambio rápido de modelo energético y escenario de cambio climático moderado.
- Escenario pesimista: cenit del petróleo en menos de 5 años, continuación del presente modelo energético y escenario de cambio climático severo.

El escenario optimista implica que se dispone de tiempo suficiente y de voluntad (política y social) para realizar una transición rápida hacia un modelo energético sostenible, basado en el ahorro y en la sustitución de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía (biomasa, eólica, solar, etc.). Pero incluso este escenario plantea retos importantes y difíciles, dada la adición extrema de nuestra sociedad al consumo de combustibles fósiles. Hasta el momento, el desarrollo de las energías renovables ni siquiera ha cubierto la tasa de aumento del consumo energético, así que en lugar de una sustitución se ha producido una diversificación de las fuentes energéticas, y continúa el aumento de consumo de combustibles fósiles en términos absolutos. Especialmente compleja se presenta la sustitución de los combustibles fósiles líquidos (gasolina, gasoil, keroseno, etc.) por fuentes renovables, ya que la producción masiva de biocombustibles a partir de cultivos (y de madera) presenta un balance muy bajo de energía neta (diferencia entre la energía invertida y la obtenida), un consumo

importante de insumos (agua, fertilizantes, plaguicidas, etc.), una disminución importante de la superficie agrícola destinada a la producción de alimentos, y grandes impactos ambientales (contaminación del suelo, deforestación, etc.), entre muchos otros aspectos. Por otra parte, incluso un escenario moderado de cambio climático puede tener efectos bastante negativos en algunas regiones del planeta, sobre la producción de alimento y la disponibilidad de agua, entre otros aspectos fundamentales para el bienestar humano (IPCC 2001).

El escenario pesimista implica que no hay tiempo suficiente ni voluntad para realizar la transición hacia un modelo energético sostenible, y se opta por utilizar los combustibles fósiles (y otras energías no renovables, como la nuclear) hasta sus últimas consecuencias. En este caso, la única alternativa viable a gran escala (aunque parcial a la hora de sustituir el petróleo) es el aumento en el consumo de carbón, el único combustible fósil con un plazo de agotamiento que va más allá del presente siglo. Las consecuencias del aumento en el uso del carbón, que ya se produce en países como China, Estados Unidos e India, pueden ser muy catastróficas, puesto que es el que genera más dióxido de carbono en su combustión. Esto implica una aceleración del cambio climático y de sus efectos negativos que, según diversos expertos, puede conducir el sistema climático planetario a una situación fuera de control, que puede amenazar el bienestar y la supervivencia de la población humana, con efectos tales como temperaturas y sequías extremas, grandes inundaciones, subida importante del nivel del mar, pérdida de cosechas, aumento de enfermedades contagiosas, etc. (Pearce 2006). Este escenario, unido a una escasez de combustibles líquidos, puede acentuar enormemente los efectos negativos del cambio climático, y viceversa.

En cualquier caso, y teniendo en cuenta que la población humana continuará aumentando durante las próximas décadas, parece que todos los escenarios (y de hecho ya está pasando) conducen a una disminución de la disponibilidad de energía per cápita, una disminución de la producción agrícola, un encarecimiento de los combustibles, las materias primas y los alimentos (y de los precios en general), y una mayor presión sobre los recursos naturales (agua, suelo, atmósfera y ecosistemas).

Entre algunos de los efectos sinérgicos del cambio climático y la escasez energética podemos destacar los siguientes:

El aumento de la temperatura está implicando un aumento del consumo de energía para el aire acondicionado, que a su vez implica un aumento de los gases invernadero para la producción energética, que retroalimenta el proceso. La llegada del cenit del petróleo y el aumento de la población implican una disminución de la cantidad de energía per cápita y su encarecimiento, que pueden hacer inviable el uso masivo del aire acondicionado en los países en desarrollo, e incluso en los desarrollados. Esto puede comportar un fuerte impacto sobre la población a medida que las olas de calor se acentúen, como ya se vio con la ola de calor del año 2003 en Europa.

La prolongación y mayor frecuencia de las sequías en algunas regiones del planeta (como la Mediterránea) está comportando un descenso en las cosechas, mientras que el cenit del petróleo conduce a una escasez y encarecimiento de los insumos para la producción agrícola: fertilizantes, plaguicidas y combustibles para la maquinaria, también con un impacto negativo sobre la producción de alimentos. La disminución de las cosechas, unida al aumento de la población, implica una menor cantidad de alimento

per cápita y una tendencia al aumento de la malnutrición y las muertes asociadas a la escasez de alimento. Por otra parte, la necesidad de producir biocombustibles para sustituir el petróleo está comportando una disminución de la superficie agrícola destinada a producir alimentos, tendencia que se acentuará en las próximas décadas.

En el caso de los recursos hídricos, los efectos combinados del cambio climático y la escasez de energía son muy diversos. El análisis de los impactos sobre los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos se centra en los siguientes aspectos:

- Impactos en el regadío y la producción agrícola: por una parte, la disminución de cosechas (en muchas regiones) y el aumento de la población implican la necesidad de aumentar la superficie de cultivo y el consumo de agua de regadío, y por otra parte, el aumento de la temperatura y de la sequía implica una disminución de los recursos hídricos; además la escasez energética puede dificultar el mantenimiento del regadío en aquellas zonas donde las necesidades de bombeo son importantes. Así pues, nos encontramos con un escenario de disminución de los recursos hídricos y una mayor presión para su uso, lo cual implica un proceso acelerado de agotamiento en algunas zonas del planeta, que puede comportar una disminución importante de la producción agrícola y unos impactos crecientes sobre los ecosistemas acuáticos y los acuíferos. Al mismo tiempo, con la llegada del cenit del petróleo se espera un aumento considerable de la superficie de cultivos energéticos (maíz, colza, caña de azúcar, palma, etc.), con el objetivo de producir biocombustibles, lo cual entra en competencia con la producción de alimentos y con el uso del agua de regadío. Este conflicto entre producir combustible para las máquinas o para los hombres ya se está produciendo actualmente, y en el caso de los Estados Unidos ha llevado a un encarecimiento de los alimentos debido al uso creciente del maíz y otros cultivos para su transformación en etanol y otros biocombustibles.
- Impactos en los recursos hídricos regulados y la producción de energía: la disminución de la precipitación, el aumento de la evapotranspiración y la intensificación de las sequías comporta una disminución de los recursos hídricos regulados, lo cual afecta (además del regadío) a la producción de energía hidroeléctrica y, en muchos casos, también a la nuclear. Así pues, la tendencia, ya constatada en la Península Ibérica, es a una disminución de la producción hidroeléctrica. En el verano del 2006 también se ha constatado una disminución de la producción de energía nuclear en España y Francia, ya que la disminución del caudal de los ríos y el aumento de la temperatura del agua han comportado dificultades para la refrigeración de las centrales, precisamente en los momentos de mayor demanda de electricidad debido al uso masivo del aire acondicionado. Con la llegada del cenit del petróleo, esta disminución de la producción de energía eléctrica tendrá un impacto mayor en la escasez energética en momentos de máximo consumo, con riesgos crecientes de fallos en la red eléctrica, costos crecientes de producción de electricidad, y una mayor presión para aumentar la regulación fluvial.
- Impactos en los sistemas costeros: entre los ecosistemas que van a sufrir un mayor impacto por el cambio climático y la escasez energética, además de los ríos, cabe destacar los humedales, deltas y zonas costeras (Day et al. 2005). En estas zonas, además de los efectos mencionados, hay que añadir los impactos de

la subida del nivel del mar, que puede comportar la inundación creciente de espacios naturales, cultivos y poblaciones situadas a escasa elevación respecto al mar. En las zonas deltaicas, la elevación del nivel del mar se suma al hundimiento del terreno (subsistencia), con lo cual existen necesidades crecientes de construcción de defensas costeras y de sistemas de bombeo para evitar su inundación, lo que implica una demanda creciente de energía que puede ser insostenible con la llegada del cenit del petróleo. El caso de la ciudad de Nueva Orleans ilustra muy bien este escenario insostenible por una combinación de factores relacionados con el cambio climático y los costes crecientes de mantener unas defensas costeras que implican un gran consumo de materiales, energía y recursos económicos. En este caso, al aumento del nivel del mar hay que sumar el efecto de los huracanes, que con el cambio climático están aumentando su intensidad y sus efectos catastróficos sobre las infraestructuras y la población humana.

Referencias

Australian Greenhouse Office. (1998). Climate change scenarios and managing the scarce water resources of the Macquarie River. Informe Técnico, Gobierno de Australia.

Ayala-Carcedo, F.J. e Iglesias, A. (2000). Impactos del posible Cambio Climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular. En Balairón edit., *El Cambio Climático*, El Campo de las Ciencias y las Artes, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, 201-222.

Campbell, C.J. y Laherrère, J.H. (1998). The end of cheap oil. *Scientific American*: 78-83 (March).

Day, J.W., Barras J, Clairain E, *et al.* (2005). Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Mississippi delta. *Ecological Engineering* 24: 253-260.

Döll, P. (2002). Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective. *Climatic Change* 54(3): 269-292.

Gleick, P.H. y Adams, D.B. (2000). The Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States. Informe Técnico, US Geological Survey.

Guo, S., J. Wang, L. Xiong, A. Ying y Li, D. (2002). A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China. *Journal of Hydrology* 268(1-4): 1-15.

Hall, C., Tharakan, P., Hallock, J., Cleveland, C. y Jefferson, M. (2003). Hydrocarbons and the evolution of human culture. *Nature* 426: 318-322.

Hallock, J., Tharakan, P., Hall, C., Jefferson, M. Y Wu, W. (2004). Forecasting the limits to the availability and diversity of global conventional oil supply. *Energy* 29: 1673-1696.

Hirsch, R.L., Bezdek, R. y Wendling, R. (2005). Peaking of world oil production: impacts, mitigation and risk management. Informe Técnico, US Department of Energy, 91 pp.

Hubbert, M. K. (1949). Energy from fossil fuels. *Science* 109 (2823): 103-109.

Hubbert, M.K. (1956). Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Meeting of the Southern District Division of Production, American Petroleum Institute, San Antonio, Texas. Publication No. 95. Houston: Shell Development Company, Exploration and Production Research Division.

IPCC. (2001). Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, England, 1000 pp.

Middelkoop, H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J. C. J. Kwadijk, H. Lang, B. W. A. H. Parmet, B. Schädler, J. Schulla and K. Wilke (2001). Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. *Climatic Change* 49(1): 105-128.

Pearce, F. (2006). Climate change: one degree and we're done for. *New Scientist* 2571: 8-9.

Shiklomanov, I. A. and V. Y. Georgiyevsky (2001). Anthropogenic global climate change and water resources. *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Paris, France, UNESCO.