

Barros, Vicente. (2010). *Cambio climático y aceleración tecnológica*. En: Encrucijadas, no. 50. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <http://repositorioubasib.uba.ar>

## CALENTAMIENTO GLOBAL

### CAMBIO CLIMÁTICO Y ACELERACIÓN TECNOLÓGICA

#### Por Vicente Barros

Centro de investigaciones del Mar y la Atmósfera, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UBA

*El cambio climático y la conciencia social acerca de la urgencia de la puesta en marcha de políticas activas a nivel global progresa lentamente y con algunos altibajos. Sin embargo, aún no está lo suficientemente arraigada como para modificar masivamente los comportamientos individuales de consumo y probablemente tampoco ocurra en unas pocas décadas. La ciencia ya apunta a la innovación tecnológica como un recurso fundamental para la búsqueda de soluciones a través del desarrollo de energías alternativas a los combustibles fósiles, y a mejorar la eficiencia energética.*

El calentamiento global es un emergente -quizás el primero y más complejo-, de un proceso más amplio: la creciente presión humana sobre el ambiente que amenaza la sustentabilidad de los niveles de vida de la sociedad global.

El problema de base que enfrentamos es que la demanda mundial de recursos naturales está creciendo más rápido que la creación de nuevas y mejores formas de utilizarlos. Las razones detrás de esta demanda son y han sido por mucho tiempo el aumento de la población y del consumo per cápita.

En los últimos 30 años se ha sumado una nueva característica del desarrollo económico global que, auspiciosa desde el punto de vista social y de la equidad, ha dado nuevo impulso a la demanda por los recursos naturales, el clima entre ellos.

Se trata del crecimiento acelerado del conjunto de los países en desarrollo a tasas mayores que las de los países desarrollados, un fenómeno que tiene su epicentro en la industrialización de Asia, y particularmente aunque no solamente, en China.

A través de la demanda de recursos que genera este crecimiento se propaga a América Latina y África. Ello ha llevado a que, en las últimas décadas, la brecha entre el agregado de las economías desarrolladas y el de las economías en desarrollo se haya comenzado a cerrar, de modo que sus productos brutos reales (medidos como poder de compra) son aproximadamente iguales.

Con todo, debido a que la población del mundo desarrollado es apenas el 20 % del total del planeta, su ingreso real per cápita es cuatro veces mayor que la del mundo en desarrollo, persistiendo una gran inequidad.

El crecimiento económico tiene diferentes efectos sobre los recursos naturales según el grado de desarrollo de la sociedad. Aunque pueden presentarse excepciones, en general las economías más desarrolladas crecen con mayor rapidez en los sectores de servicios, algunos con escasa demanda de recursos naturales como la educación, las finanzas, la salud, la

informática y las comunicaciones, a lo que se suma la miniaturización de muchos objetos materiales.

El resultado es lo que se ha dado en llamar la desmaterialización de la economía. Aunque parte de este proceso también alcanza a las economías menos desarrolladas, en estas predomina un sesgo hacia el crecimiento de la demanda de bienes que requieren de recursos naturales. Ello es inevitable ya que en gran medida se trata de poblaciones con deficiente alimentación y privadas de los elementales servicios de una sociedad moderna. La India, por ejemplo, tiene aún 500 millones de personas que no disponen de electricidad, con todas las limitaciones que ello implica en su calidad de vida.

La salida de este estado general de pobreza se incrementó. Sólo en China, 350 millones de personas han abandonado la pobreza en los últimos 30 años, con estándares de alimentación, vivienda y servicios adecuados. Y, cada año, 40 millones de hindúes se están incorporando a los niveles de consumo de la clase media.

Otra característica del desarrollo global que acelera la demanda de recursos naturales es el crecimiento de la población urbana. Se aproxima al 50 % a nivel global, en general mucho más demandante que la población rural en bienes, servicios, y energía particularmente. El proceso de urbanización es mayor en Asia y África, siendo un elemento asociado a la transformación productiva.

Por el lado de la oferta, la tecnología ha hecho posible un uso más eficiente de los recursos naturales. Por ejemplo, los rindes del maíz por hectárea se cuadruplicaron desde la década del 60 en Argentina debido a diversos factores, entre otros, una mejor gestión, pero principalmente se debió a la genética. Además, la tecnología también propició una mayor demanda de recursos al incorporar nuevos productos y 'necesidades' favoreciendo el aumento de la producción mundial de bienes que requieren en última instancia de estos recursos, y haciendo un uso más eficiente de los mismos.

El balance entre la demanda de recursos motorizada por varios factores y la oferta tecnológica para su uso más eficiente se inclina, por ahora, a favor de la primera. Las resultantes más urgentes son el agotamiento de los recursos naturales no renovables, en especial del petróleo, y el cambio climático. Pero también preocupa la generación de residuos y la utilización de los recursos renovables a un ritmo más rápido que su reposición por procesos naturales. Además, los seres humanos han contaminado, reducido, y, en muchos casos, destruido los hábitats naturales, disminuyendo la diversidad biológica a tal punto que ya se habla de la extinción del Antropoceno.

El término "Antropoceno" fue introducido por P. Crutzen (2002) para caracterizar la época que se inicia con la revolución industrial, cuando la humanidad se convirtió en una fuerza global geofísica que se compara o hasta supera a los factores naturales de la evolución de la Tierra.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el crecimiento de la actividad humana se aceleró notablemente por lo que algunos autores se refieren a este período como la Gran Aceleración.

La población se duplicó en sólo 50 años; el PIB global real aumentó 15 veces y el número de vehículos de motor, cerca de 20 veces (Steffen et al 2007). Desde 1950, el consumo per cápita de petróleo se triplicó y se cuadruplicaron las emisiones fósiles de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La energía barata, primero del carbón y más tarde con el agregado del petróleo y del gas natural, fue un recurso clave para la Gran Aceleración y para el todo el Antropoceno. En los últimos dos siglos, la economía mundial creció alrededor de 50 veces y el aumento del consumo de energía, cerca de 40 (McNeill, 2001).

Los combustibles fósiles baratos han hecho posible una serie de nuevos productos. No sólo la producción actual de energía es muy dependiente del petróleo y del gas barato, casi todo lo que se usa depende directa o indirectamente de ellos: los plásticos, fertilizantes, fibras artificiales, pinturas e incluso algunos productos farmacéuticos. Como señala Steffen (2007), la energía barata permitió la síntesis comercial de amoníaco del nitrógeno atmosférico para hacer fertilizantes, fundamental para poder triplicar la población humana entre 1920 y 2000.

Por otra parte, hay muchos signos de que la era del petróleo barato está llegando a su fin. Esto no implica su agotamiento total en las próximas décadas ya que, antes, al tornarse más escaso, será cada vez más costoso y progresivamente reemplazado por otras fuentes de energía primaria.

El verdadero problema con el petróleo es la posible brecha entre producción y demanda. Aunque el World Energy Outlook 2009 (Agencia Internacional de Energía, 2009) no prevé un pico en la producción de petróleo antes de 2030, sólo estima un incremento a un ritmo muy inferior al de los últimos 60 años o incluso al de la modesta tasa de los últimos 20. El moderado crecimiento proyectado incluye al petróleo no convencional, de dudoso incremento debido a razones ambientales y económicas, y sin el cual la proyección es la de un estancamiento en la producción.

Este estancamiento contrasta con la expectativa de una demanda creciente, especialmente, debido a la rápida expansión en los sectores primarios y secundarios de la economía del mundo en desarrollo. Así, la brecha creciente entre la probable producción mundial de petróleo y la demanda mundial deberá ser ocupada por las energías alternativas u otros hidrocarburos a precios competitivos.

Por desgracia para la paz, en un mundo sin petróleo barato y abundante, la tensión actual, resultado de la dependencia de las economías desarrolladas y de los gigantes en desarrollo del petróleo extranjero, en su mayoría producido en regiones desgarradas por conflictos seculares, tendería a aumentar. Con la economía mundial en crecimiento, es posible que la oferta de otros recursos, además del petróleo y el clima, esté por debajo de la demanda, como podría ser el caso de algunos minerales o del agua en ciertas regiones.

### **El cambio climático: necesidad de enfrentarlo y dificultades**

El conocimiento científico de los impactos del cambio climático sintetizado en 2007 por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en su cuarto informe de evaluación dejó en claro que ya se están produciendo consecuencias en los recursos hídricos, los sistemas ecológicos, el ascenso del nivel del mar, la producción regional de alimentos y la extensión geográfica de las enfermedades tropicales.

Todos estos impactos se tornarían más críticos si el calentamiento sobrepasa los 2° C por encima de la temperatura media global del período preindustrial. En particular, habría pérdidas irreversibles en la diversidad biológica y aumentaría el riesgo del desencadenamiento de rápidos

procesos de cambio como, por ejemplo, aumentos de varios metros del nivel del mar. Para evitar un calentamiento por encima del mencionado nivel de 2° C se debería sin tardanza revertir el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), fundamentalmente las de CO<sub>2</sub> producto del uso de combustibles fósiles y reducir las mismas hasta llegar a un 50 % con respecto al nivel de 1990 en el año 2050.

Lograr semejantes reducciones presenta enormes dificultades objetivas. La primera quizás es que la producción de electricidad de los EE.UU., China e India se basa principalmente en el carbón del cual esos países cuentan con enormes reservas. Es difícil imaginar que sacrifiquen esa forma de energía barata, particularmente los dos gigantes asiáticos cuyo crecimiento implica que, en pocas décadas, habrán multiplicado por cuatro su ingreso per cápita, triplicado el consumo total de energía, y, sin cambios tecnológicos, duplicado sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **El posible resultado**

A nivel global se ha abierto paso el concepto de que es necesario un tipo de desarrollo ambientalmente sustentable para asegurar el desarrollo económico. Esta idea está ganando fuerza en la población educada y en los líderes políticos de todo el mundo.

Sin embargo, los cambios necesarios confrontarán con una poderosa dinámica de largo plazo de un sistema socioeconómico basado en la demanda cada vez mayor de recursos naturales, con los intereses más visiblemente asociados. Por eso, es probable que la transformación sea lenta, aunque es de desear que, aún así, sea capaz de evitar daños irreversibles.

En el caso del cambio climático, la necesidad de las grandes economías de reducir su dependencia del petróleo proveniente de regiones inestables y la expansión de las energías alternativas aumentan la necesidad de la búsqueda de una solución.

Así, el G-8 en su reunión de Aquila, Italia, en 2009 aprobó una declaración con un texto sobre el cambio climático que anticipaba la mayor parte del Acuerdo de Copenhague. El informe ratifica la importancia de la ciencia del cambio climático y de su evaluación y síntesis por parte del IPCC, y “reconoce el punto de vista científico de que el aumento de la temperatura media global por encima de los niveles preindustriales no debe exceder los 2 ° C”. Además, manifiesta la voluntad de reducir al menos al 50% las emisiones mundiales de GEI hacia 2050: el pico se alcanzará mucho antes y deberán disminuirse lo antes posible.

Más importante aún, apoyan un objetivo para los países desarrollados (básicamente para ellos mismos) de reducir sus emisiones agregadas de GEI en un 80% o más en el 2050. El texto señala también la necesidad de que las principales economías emergentes reduzcan significativamente sus emisiones, por debajo de su tendencia actual.

El Acuerdo de Copenhague (diciembre 2009), que tuvo la adhesión de 111 países, reconoce “el punto de vista científico de que el aumento de la temperatura mundial debería estar por debajo de 2 ° C”, y asume básicamente los mismos objetivos que el G-8 en Aquila.

Como resultado, las naciones desarrolladas asumieron compromisos voluntarios de reducción de emisiones cuantificadas para 2020, y las grandes naciones emergentes anunciaron el propósito de reducir su intensidad de emisiones (cociente entre emisiones y PBI) para la misma

fecha, y aún antes en el caso de Brasil.

Aunque el Acuerdo de Copenhague no es jurídicamente vinculante, es un gran paso hacia la sustentabilidad del medio ambiente mundial. Incorpora a los EE.UU. -aunque con una meta mucho menos ambiciosa que la de Europa-, y a los países emergentes más importantes que hasta ahora no tenían ningún compromiso. Sin embargo, desde una perspectiva económica y de su real implementación, la implícita reducción del 80% para las naciones desarrolladas en cuatro décadas es una meta muy ambiciosa que requerirá de políticas activas muy agresivas.

La mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero se puede lograr a través de tres planos de acción relacionados: las políticas públicas, los avances tecnológicos y los cambios culturales en los valores sociales e individuales, y los consiguientes comportamientos individuales. La tecnología puede ofrecer soluciones inesperadas, pero es más probable que provengan de políticas de impulso a la investigación y promoción económica específicamente orientadas.

Aunque la valoración social sobre la necesidad de afrontar el cambio climático progresa con algunos altibajos, ya marca una diferencia a favor de políticas activas a nivel global. Sin embargo, aún no está tan arraigada como para modificar masivamente los comportamientos individuales de consumo y probablemente tampoco ocurra en unas pocas décadas.

Lo que parece más factible es lograr una sensible reducción de la tasa de crecimiento de la población mundial, como ya está ocurriendo. De todos modos, el núcleo de la reducción de las emisiones de GEI en las próximas décadas deberá provenir de las políticas públicas y de la tecnología, y más probablemente, de la tecnología promovida por las políticas públicas.

En realidad, la innovación tecnológica parece ser la piedra angular de muchos países desarrollados para hacer frente al problema del cambio climático. Por ejemplo, el programa de la administración Obama sobre el cambio climático otorga un papel destacado a la promoción de tecnologías de energía limpia como un instrumento para obtener además otros objetivos importantes: reducir la dependencia energética del petróleo extranjero y recuperar el liderazgo en ámbitos de la tecnología con la consiguiente generación de empleo altamente calificado. De esta forma, problemas globales que son manifestación de una misma causa tendrían también una misma estrategia de solución: la aceleración de la innovación tecnológica para un nuevo y mejor uso de los recursos del planeta.

### **¿Puede la innovación tecnológica ser la solución?**

Las opciones para la mitigación de emisiones de GHG por la geo-ingeniería (modificación intencional del clima) abundan en la reciente literatura científica. Sin embargo, excepto en algunos casos de secuestro de carbono, por el momento son ámbito de la investigación y de especulación debido a las dudas y los peligros que la manipulación del sistema ambiental global implica. En consecuencia, la innovación tecnológica se orientaría fundamentalmente a las energías alternativas a los combustibles fósiles y a mejorar la eficiencia energética.

Las tendencias mundiales de las últimas décadas indican que la tecnología es un factor importante en la prevención del aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, que ya son alarmantes, puede ser vistas como el producto matemático de cuatro factores: la

población (PPP); la renta per cápita expresada en PBI / PPP; la intensidad de energía (E), es decir,  $E / \text{PBI}$ ; y la intensidad de carbono por unidad de energía  $\text{CO}_2 / E$ .

Las tendencias de estos cuatro factores desde 1970 hasta 2004 fueron las siguientes: población, +69%; renta per cápita, +77%; intensidad energética, -33%; e intensidad de carbono, -15%, resultando en un crecimiento de las emisiones de  $\text{CO}_2$  de 70% (Resumen Técnico. IPCC WG III, 4AR 2007). Los dos factores con tasas negativas están relacionados con la tecnología. Claramente, en el caso de la intensidad de carbono, y en menor medida, en el caso de la intensidad energética que podría resultar también de una mayor eficiencia no sólo relacionada con la tecnología.

Steffen et al (2007) afirman que existen amplias perspectivas para el avance tecnológico en el ámbito de la energía, y apoyan su argumento con cifras reveladoras. Recuerdan que el uso mundial de energía humana es sólo un 0,05% de la radiación solar que llega a los continentes, y que sólo el 0,4% de esta radiación solar entrante se convierte en energía química mediante la fotosíntesis, y de esta fracción convertida en producción primaria, los seres humanos sólo utilizan un 10%. Ya hay avanzados estudios para emplazar gigantescas instalaciones de captura de energía solar en el norte de África para proveer el grueso de la demanda adicional de energía eléctrica de Europa.

Algunas tecnologías emergentes ya son técnicamente viables pero requieren de una mayor innovación para ser competitivas. Un ejemplo son los biocombustibles líquidos de segunda generación a partir de celulosa, el material biológico más abundante sobre los continentes. La generación de etanol desde la celulosa en forma comercialmente viable tendría un impacto considerable en el proceso de mitigación del cambio climático.

La mayoría de los estudios indican que el ciclo completo de combustible a partir de cultivos perennes o residuos agrícolas y leñosos tendría emisiones de GEI considerablemente más bajas que las de los combustibles fósiles (FAO 2008). Un número de especies ofrecen perspectivas prometedoras como fuente de celulosa para las tecnologías de segunda generación, ya que producen más biomasa convertible en combustible que las actuales plantas utilizadas para tal fin. Dado que estas especies crecen sobre una gran variedad de suelos y condiciones climáticas, es concebible que los biocombustibles de segunda generación resulten mucho menos competitivos con la producción de alimentos que los biocombustibles actuales.

El conocimiento científico actual indica que existe potencial para una considerable contribución de la tecnología en el manejo de al menos una parte importante de la crisis ambiental en general y del cambio climático en particular. Otra cuestión es si el sistema global de investigación es el adecuado para este desafío.

Una vez más, podemos sacar lecciones del pasado reciente. Steffen et al (2007) atribuyen parte de la prosperidad y el crecimiento de la Gran Aceleración a la cooperación y las alianzas entre los gobiernos, la industria y las universidades, lo que proporcionó una financiación sin precedentes para la ciencia y la tecnología, que a su vez produjo grandes resultados.

Efectivamente, como se menciona en el documento *Rising above the Gathering Storm* de la Committee on Prospering in the Global Economy of the 21st Century (2006), algunos economistas estiman que cerca de la mitad de crecimiento económico estadounidense desde la Segunda Guerra Mundial fue el resultado de la innovación tecnológica.

En consecuencia, la humanidad tendría básicamente el sistema y las herramientas institucionales para producir la aceleración tecnológica necesaria, que requiere de políticas enérgicas con promociones orientadas a la solución de los problemas ambientales y de recursos naturales de las próximas décadas. Los acuerdos internacionales y las políticas internas de los grandes países de la Tierra parecen orientados en esa dirección. No menos importante es que la economía de mercado predomina en todo el mundo, dado que este sistema económico ha probado ser un promotor de la continua innovación tecnológica.

### **Aceleración tecnológica y consecuencias**

Es muy posible que la promoción de la innovación tecnológica desempeñe un papel decisivo en la reducción de las emisiones de GEI para mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C como se convino en el Acuerdo de Copenhague. El apoyo a la investigación para acelerar el uso más eficiente y las fuentes alternativas de energía pueden dar mayor impulso al proceso hacia una sociedad del conocimiento que ya está en curso. No se puede descartar que, como ya sucedió en el pasado, los avances tecnológicos durante la Segunda Guerra Mundial y la conquista del espacio, las nuevas innovaciones se extiendan a otras actividades.

También, es posible que los impactos económicos derivados de esta aceleración tecnológica se sientan, probablemente antes -incluso con mayor intensidad-, que los mayores impactos directos del cambio climático.

Sin embargo, es difícil estimar con precisión los impactos específicos de la aceleración tecnológica en una determinada actividad o país. Hay análisis prospectivos sobre los futuros avances de las más importantes innovaciones tecnológicas que en muchos casos incluyen la estimación de la fecha aproximada en que serían comercialmente competitivas.

No obstante, estos estudios son altamente especulativos porque los resultados de la investigación y el desarrollo no son siempre predecibles y no permiten despejar las incertidumbres acerca de cuáles de las innovaciones serán competitivas, y desde cuándo y por cuánto tiempo van a prevalecer. Por lo tanto, la aceleración tecnológica, probablemente el instrumento decisivo para la mitigación del cambio climático, agrega una nueva fuente de incertidumbre para la planificación a largo plazo.

Un par de ejemplos ilustran la amplitud e importancia de esta incertidumbre. Muchos países de América Latina son importantes exportadores de alimentos, y la agricultura ha sido un sector clave de sus economías. Estos países fueron beneficiarios directos del proceso de industrialización y crecimiento económico de los países asiáticos que han ampliado la demanda mundial de alimentos y recursos naturales. El futuro crecimiento de esta demanda, parece asegurado, tanto por el crecimiento del mundo en desarrollo como por la necesidad de cerrar la brecha entre la producción y el consumo de petróleo con el auxilio de biocombustibles.

Sin embargo, estas condiciones favorables y aún mejores perspectivas para el futuro podrían ser parcialmente neutralizadas o incluso desaparecer en las próximas décadas, si la biotecnología mejorara el rendimiento de los cultivos hasta un nivel en el que Asia pudiera acercarse a su autosuficiencia. Este no es un escenario improbable al considerar el avance en la productividad de la agricultura y los asombrosos logros de la biotecnología.

La energía eólica en la Patagonia argentina asciende a 600,000 Mwatts, aunque la mayor parte

de este potencial no es aún competitivo. Esto es alrededor de 8 veces el consumo total de energía (energía eléctrica, más combustibles) del país (Barros, 1985). Este enorme potencial será cada vez más accesible comercialmente, en la medida en que como es muy posible, los precios de la energía sigan en alza y mejore la tecnología eólica. Pero aún siendo comercialmente competitiva, sólo una pequeña fracción puede ser utilizada para el suministro de la red eléctrica debido a limitaciones técnicas. Sin embargo, estas limitaciones no incluyen a la producción de hidrógeno mediante energía eólica y, por lo tanto, el desarrollo de la tecnología de la producción y uso del hidrógeno a niveles competitivos abriría la posibilidad de satisfacer el mercado interno de combustibles y de generar enormes exportaciones.

Ante un escenario de incerteza futura sobre sectores claves de la economía, la mejor apuesta de largo plazo es aumentar la resiliencia de la sociedad para que tenga mayor capacidad de adaptación a los cambios, especialmente cuando son inesperados o inciertos. Esta capacidad requiere de fortaleza institucional, mecanismos democráticos, un alto nivel educativo y de desarrollo científico que permita asimilar la acelerada innovación tecnológica que se avecina maximizando sus oportunidades y minimizando sus impactos negativos.

## Referencias

Barker T., et al, 2007: Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Barros, V. 1985. Energía Eólica. Boletín Techin 237. 1-23

Committee on Prospering in the Global Economy of the 21st Century: An Agenda for American Science and Technology, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, 2006. Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future. US. 504 pp.

Crutzen, P. J. 2002. Geology of mankind: the anthropocene. *Nature* 415:23.

FAO, 2008. The State of Food and Agriculture, Biofuels 2008. Rome 2008.

International Energy Agency, 2009. World Energy Outlook 2009

McNeill, J. R. 2001. Something New Under the Sun. W.W. Norton. New York, London. 416 pp.

Steffen, W., P. J. Crutzen, J. R. McNeill, 2007. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *Ambio* 36(8):614-621.