

Cambio de paradigma energético y las nuevas tecnologías

Gian Carlo Delgado Ramos
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias
en Ciencias y Humanidades, UNAM,
México

Recibido 01/11/2009 • Aprobado 22/10/2010

Resumen

Con la agudización del calentamiento global es evidente la necesidad no solo disminuir los patrones de consumo energético, sino también diversificar las fuentes de energía hacia otras sustentables. Ello obliga, por cuestiones de seguridad nacional, a replantear la gestión y usufructo de los recursos fósiles disponibles, puesto que cualquier cambio de paradigma energético forzosamente estará sustentado, al menos en un principio, en ese tipo de energía. Con base en la actual disponibilidad de combustibles fósiles, se debe virar hacia la conformación de un nuevo patrón energético. El presente texto abre una discusión sobre energía, entropía y límites del crecimiento que deriva de la escuela de la economía ecológica. Presenta, con abundante información empírica, el estado de situación del patrón energético actual, en particular, sus aspectos socio-ambientales. Finalmente cierra con una discusión sobre algunas de las características y limitaciones de las principales opciones de energía alternativa disponibles a la vez que subraya la relevancia del tipo de ordenamiento territorial contemporáneo. Concluye con la necesidad intrínseca y creciente de reducir el tipo y ritmo del consumo de energía.

Palabras claves: combustibles fósiles, calentamiento global, crisis ambiental, energías alternativas, ordenamiento territorial.

Abstract

Considering the wide implications of global warming it is evident the need, not only of diminishing the energy consumption patterns, but of diversifying to "sustainable" energy resources. Moreover, within the frame of national security, this requires to re-think the managing and use of available resources, because any change of the energy paradigm will depend, at least at the beginning, on fossil energy. Considering the above, the following paper opens a discussion about energy, entropy and the limits of economic growth, following the premises of the school of ecological economics. It offers several empirical data about the situation of the current energy pattern, mostly about its socio-environmental aspects. The paper ends discussing the characteristics and limitations of the main available alternative

energies; meanwhile it highlights the relevance of contemporary patterns of territorial organization. It concludes pointing out the inherent need of diminishing the type and rhythm of current energy consumption.

Key words: Fossil fuels, global warming, environmental crisis, alternative energies, territorial organization.

Introducción: entropía, retos y límites del crecimiento.

Si bien la energía ni se crea, ni se destruye, las leyes de la termodinámica precisan que inevitablemente ésta se degradará, lo que la hace crecientemente inservible para generar trabajo. Tal aumento de “entropía” es mayor en relación directa con la complejidad y envergadura del sistema en cuestión. De ahí que, por ejemplo, el grado de urbanización sea un buen indicador de la complejidad pero también de la vulnerabilidad ante la escasez de energía.

La sociedad moderna extrae cada vez más energía del medio ambiente para crear un cierto *orden* del desorden y una *complejidad* de la simplicidad (o lo que desde la termodinámica implica mantenerse lejos del punto de equilibrio) todo al tiempo que expelle más y más calor y desechos materiales al ambiente lo que afecta la biocapacidad de los ecosistemas.

La economía de cualquier nación, vista desde la perspectiva de flujos de materiales y energía (o lo que contabiliza la economía ecológica), se sostiene entonces del acceso a esos recursos, donde la energía es lo más importante. Así, la misión central de cualquier sociedad (y más aún la de un imperio) es producir, transportar y dirigir suficiente energía al mantenimiento y expansión del poder económico y político. Garantizar el acceso, gestión, usufructo y, por tanto, *protección* de las reservas energéticas y sus rutas de transporte, es pues el principal trabajo de las fuerzas de seguridad y militares de cualquier hegemonía. En ese sentido, la geopolítica energética, como lo demuestra ampliamente la historia humana, es un asunto estratégico y cuestión de seguridad nacional (Homer-Dixon, 2007).

De lo anterior se puede inferir que la pérdida de orden interno, de coherencia y complejidad de cualquier imperio o nación es en muy buena medida una crisis termodinámica. Es decir, una crisis de acceso a fuentes constantes y crecientes de energía (y, desde luego, de materiales), pero también de un cada vez más inmanejable rango de entropía (como el que se refleja en el fenómeno de calentamiento global).

Para solucionar la primera cuestión (la segunda está en sí ligada a los límites bioquímicos del planeta), las sociedades tienden a buscar fuentes de energía con la mayor tasa de retorno posible por unidad de energía invertida. Lo que es más, cuando las reservas propias comienzan a ser limitadas respecto al proyecto expansivo local, regional o nacional, se llega a un punto en el que es imprescindible amplificar los intereses económico-políticos y militares. Los

conflictos, la ocupación o la supeditación son componentes centrales y permanentes del mantenimiento y, en su caso, ampliación de dichas sociedades o imperios¹.

Tomando nota de lo anterior, es de subrayarse que no fue hasta que la humanidad tuvo acceso a fuentes altamente condensadas de energía, que su expansión y complejidad tuvo lugar, como nunca antes. La escala global de tal fenómeno incluyó lo espacial, lo poblacional y desde luego, lo energético. Mientras más energía se dispuso, más espacio se ocupaba, más avanzaba la ciencia y la tecnología (se dispuso de más recursos, incluyendo horas hombre para dicha actividad), y más se extendía la masa poblacional.

Ésa pasó de 500 millones hasta el siglo XVI, a mil millones a principios del siglo XIX y dos mil millones para la década de 1930. Después el crecimiento fue exponencial al aumentar en un millardo de personas en 1960, 1974, 1987 y 1999 (Homer-Dixon, 2007: 61).

En total, más de 6 mil millones de habitantes con expectativas a alcanzar, en 2050, los 9 mil millones, momento en que se espera, comenzaría una caída poblacional importante. Debe considerarse que de la población total mundial en 2050, 1.200 millones seguirán viviendo en países desarrollados mientras que el aumento se registrará básicamente en países pobres al pasar de los 5.3 millardos de hoy a 7.8 millardos. De esos últimos, 4 mil millones se emplazarán en urbes. Las implicaciones tanto ambientales como de seguridad y paz social son de orden mayor (Íbid, 63-64). Ello se entiende mejor si se recuerda que, tan solo en términos de energía, se pasó de un consumo de unos miles de barriles de crudo al año a mediados del siglo XIX, a más de 65 millones de barriles diarios para fines del siglo XX; monto que se estima que aumentará en 57% para el 2030 (Heinberg, 2003).

Nunca antes, la humanidad ha alcanzado grados de complejidad y tamaño tales que resultados no lineales puedan generarse, pues los cambios o afectaciones son acumulativas. Los efectos multiplicadores o repentinos tanto en términos económicos, sociales y ambientales pueden producir giros inesperados y de elevado costo; más cuando las resistencias al cambio de paradigma energético y las contradicciones sociales son particularmente agudas.

El patrón energético actual y sus aspectos socioambientales

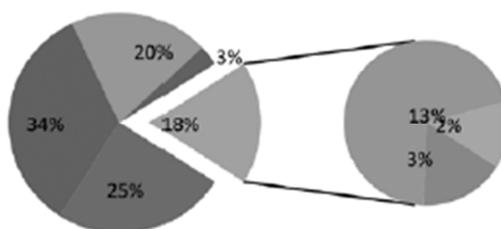
Los combustibles fósiles (Ren21, 2008) constituyen alrededor del 80% de la energía final consumida a nivel mundial (Véase Imagen 1). De este porcentaje, la mayor parte del petróleo se emplea en motores de combustión interna destinados al transporte, el resto en generación de electricidad y en la petroquímica. Un

¹ Léase para el caso de EUA, a Klare, 2001.

50% del carbón se emplea en la generación de energía eléctrica y lo demás, en diversas funciones que van desde la industria hasta el hogar. El gas, se usa crecientemente en la generación de electricidad, seguido de cerca, y prácticamente en montos similares, por la industria, el comercio y usos domésticos. La mayoría de la electricidad, o energía secundaria, se emplea en usos industriales (54%) y doméstico-comerciales (46%). Así el destino general del petróleo, carbón y gas tiene tres grandes rutas: 1) generación de energía calórica; 2) de energía eléctrica; y 3) motores de combustión interna.

IMAGEN 1

Consumo Final Mundial de Energía - 2006



■ Carbón ■ Petróleo ■ Gas ■ Nuclear ■ Hidroelectricidad ■ Biomasa ■ Otros (técnica 1.3, fotovoltaica 0.8)

* Los datos difieren de los de la IEA puesto que éstos consideran el input de combustibles fósiles en las plantas generadoras de electricidad, mientras que asume el output de las energías renovables. En tal sentido, la "energía final" contabiliza el uso final de la energía eléctrica independientemente de su origen.

Fuente: Ren21. Renewables 2007. Global Status Report. Paris, 2008

El más relevante, por sus características, es el petróleo. Ello sobre todo por el relativo fácil manejo de éste (gracias a sus propiedades físicas) y por el alto grado de condensación (química) de energía en poco espacio. Incluso comparado con el gas y el carbón, el petróleo permite ventajas únicas de mayor regulación y monopolización de su producción, distribución y almacenamiento; es decir, como se *precisó, características esenciales en la pelea por la hegemonía regional y ciertamente mundial*².

El asunto medular está en que el consumo energético es cada vez mayor, tanto por el tipo de sistema de producción establecido, como por el estilo de vida que se fomenta. Sin embargo, el consumo energético es desigual. Se calcula que los habitantes de los países con mayores ingresos consumen unas 21 veces per cápita más que los de bajos ingresos. Las cifras a nivel mundial precisan que

² Recuérdese que el gas requiere de energía tanto para su extracción como para su presurización, refrigeración y transporte. El carbón por su parte, tiene un contenido energético menor que el petróleo y, aunque es fácil de transportar, ocupa un espacio comparativamente mayor.

2.400 millones de personas utilizan biomasa tradicional por ejemplo madera, para cocinar, mientras que 1.600 millones no tienen acceso a la electricidad (Bank Information Center et al, 2006).

En plena discrepancia, algunas estimaciones calculan que, en cambio, el conductor estadounidense consume en promedio su peso en petróleo crudo cada semana. En 1969, solo el 5% de las familias estadounidenses contaban con más de 3 automóviles, pero al cierre de 2001, ya sumaban el 23% (Butler y Gilson, 2008). A ello se suma la moda de las camionetas tipo SUV que tienen una baja eficiencia energética y que en EUA son utilizadas por solteros o familias de un solo hijo en un 55% de los casos (Ibíd.). Dicho de otro modo, y generalizado a nivel planetario, significa que los automóviles sobrepasan en peso a la población del orbe en una relación de 4 a 1 y consumen en combustible una cantidad de energía cercana a esa misma proporción que lo que la gente en alimentos (Heinberg, 2003)³.

Los datos anteriores son un botón muestra sobre el hecho de que el grueso del consumo de combustibles fósiles está vinculado a los ingresos y por lo tanto a la variable de clase social puesto que a nivel mundial, según el Banco Mundial, hay alrededor de un millardo de personas sumidas en la pobreza extrema (menos de un dólar al día) y unos 2.500 millones con menos de dos dólares diarios (<http://www.worldbank.org/poverty>). Esto es, la mitad de la población mundial está prácticamente fuera de los supuestos *beneficios de la modernidad*.

Por tanto, cuando se habla de patrones intensivos de consumo energético, en buena medida nos referimos al de una fracción de la población mundial; al de unas clases medias y altas que, carentes en general de conciencia socio-ambiental, presiona y avala en su cotidianidad la permanencia de patrones de consumo insostenibles. De ahí que, según la International Energy Agency, IEA, la demanda global de petróleo para el año 2030 alcanzará un monto de 118 millones de barriles diarios (IEA, 2007).

Se trata de un escenario en el que, por si fuera poco, se está llegando al punto máximo de producción de petróleo convencional "barato", o sea, el de fácil acceso (excluye arenas bituminosas y otras formas de petróleo pesado); un factor que incrementa no solo los costes económicos y ambientales de la producción de energía con base en combustibles fósiles, sino también de aquellos relacionados tanto a garantizar el acceso a las reservas, como a velar por la seguridad de su extracción y transportación (Delgado y Saxe-Fernández, 2007).

Diversos estudios de geólogos petroleros han calculado que la punta de la campana de producción mundial de petróleo convencional se alcanzará entre 2007 y 2020. Conocida como la *campana de Hubbert*, fue calculada por el

³ Actualmente el costo de tener un automóvil se calcula en unos 1,500 dólares anuales, sin embargo, si se suman a éste aquellos aspectos ambientales y sociales, el coste rondaría los 25 mil dólares por automóvil (Ibíd.: 70).

ingeniero Marion King Hubbert, para el caso de Estados Unidos, quien estimó que el punto cumbre se alcanzaría entre 1966 y 1972. El año pico de Estados Unidos fue en 1970 aunque no fue visible hasta 1971. De ahí que a principios del siglo XXI, Estados Unidos produzca un 40% menos que lo que producía en 1970 mientras que su demanda aumentó en un 30% (Homer-Dixon, 2007). Dicho en otras palabras, Estados Unidos extrae y quema entre 5 y 6 barriles de petróleo por cada uno que es descubierto (Heinberg, 2003). Y la relación aumenta.

Hubbert también estimó que el pico mundial se alcanzaría entre 1990 y 2000, sin embargo muchos de los datos de pozos petroleros que empleó no eran del todo precisos, además de que, desde entonces, la tecnología de extracción posibilitó ampliar ligeramente las reservas probadas de crudo.

Colin J. Cambell (1997), otro geólogo petrolero, ha hecho cálculos actualizados y estima que el *pico* mundial se tocará entre el 2008 y el 2010, esto es porque considera que el 80% de los pozos petroleros conocidos fueron descubiertos en 1973, mismos que en su gran mayoría ya están en fase de declinación.

En el mismo sentido, Kenneth Deffeyes (2001) habla de un pico de entre 2003 a 2009, mientras que L. F. Ivanhoe, fundador del *Hubbert Center for Petroleum Supply Studies* en la *Colorado School of Mines*, coincide al señalar que el pico se alcanzará entre el 2000 y el 2010. Otros, como el geólogo Thomas Magoon del *US Geology Survey* (USGS) o el *Oil & Gas Journal*, son relativamente más optimistas y hablan de un rango de años de entre el 2003 y el 2020 (Heinberg, 2003; Departamento de la Defensa, 2004). Pero, como bien advierte Homer-Dixon, la situación podría ser peor que la estimada puesto que los datos de las reservas mundiales (tanto de las petroleras privadas como públicas) usualmente son inexactos e incluso deliberadamente inflados en tanto que permiten estimular la economía nacional, abrir las puertas a más créditos y, en el caso de los países miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), adjudicarse mayores cuotas de producción (Homer-Dixon, 2007).

Aunado a esa limitante en las reservas disponibles, es de advertirse que la relación existente entre la cantidad de energía producida, dígase petróleo, y la energía requerida para dicho proceso, por ejemplo, la extracción de petróleo, ha caído constantemente y en relación directa al alcance del pico de producción de cada pozo puesto que la extracción de la mitad restante se complica crecientemente.

Para el caso del petróleo producido domésticamente en Estados Unidos, esa relación o EROEI (*energy return on energy invested*) ha sido crecientemente negativa al pasar de una correspondencia de 28 a 1 en 1916, a una de 2 a 1 en 1985 cuando comenzó su rumbo hacia números rojos (Heinberg, 2003). La situación se compensa con importaciones de crudo, sin embargo la EROEI de ése también está cayendo al calcularse, el día de hoy, en 8.4 / 11.1 a 1 (dependiendo de su origen); una caída constante al pasar de 100 a 1 antes de 1950; de 40 a 1 entre 1950 y 1970; y de 30 a 1 ya para 1970 (Ibíd.).

Como ya se señaló, se añade el hecho de que conforme la complejidad de las sociedades modernas incrementa el consumo de energía, aumenta en igual medida, la generación de entropía (o aquella energía que ya no puede ser convertida en trabajo) todo, al tiempo que se disminuye la capacidad de carga de los ecosistemas debido a la generación exponencial de residuos. Pero, a diferencia de civilizaciones pasadas, la dimensión y velocidad con que el sistema capitalista de producción depreda los recursos y produce entropía, lo coloca en una situación en la que su propia sobrevivencia es puesta en cuestión (la denominada “segunda contradicción del capitalismo” –O’Connor, 2001).

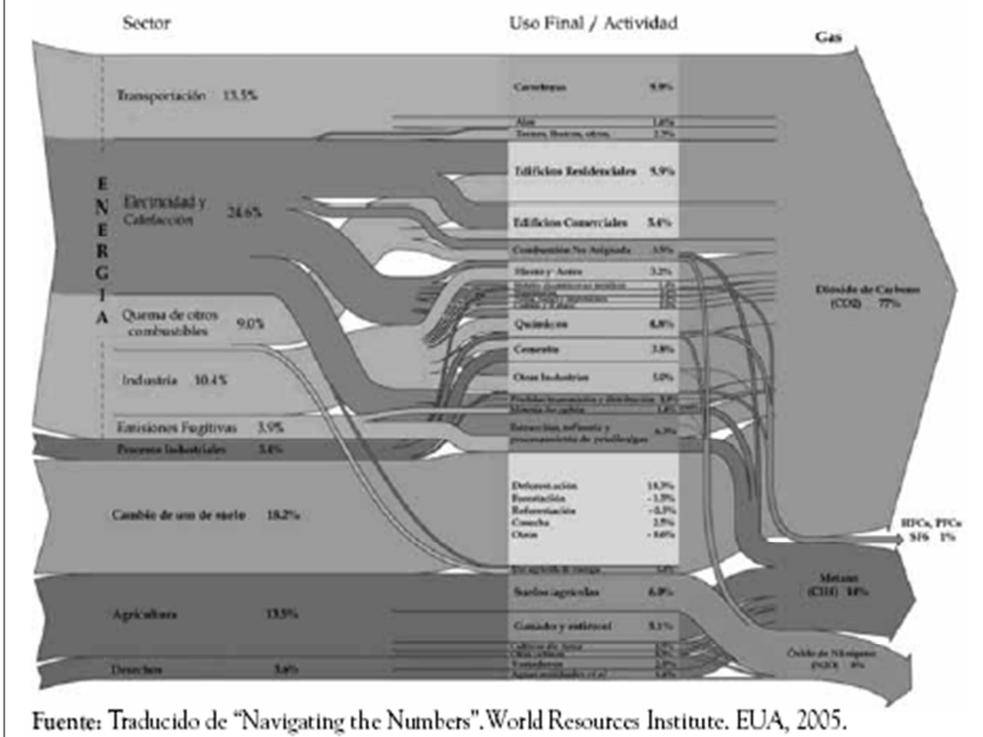
El calentamiento global es un síntoma de entre tantos. Producto, sobre todo, de la quema indiscriminada de combustibles fósiles, la cantidad de carbono en la atmósfera, que se mantuvo constante en los últimos 10 mil años en el rango de las 280 partes por millón (ppm), pasó a 360 ppm en 1998 y a 383 ppm en 2006 (Heinberg, 2003: 32). La polarización en las contribuciones de destrucción del ambiente es nítidamente observable. Me refiero en particular al hecho de que el 20% de la población mundial que habita en países metropolitanos, ha generado el 90% de los gases de efecto invernadero en términos históricos (Godrej, 2001: 95).

Más aún, la huella ecológica mundial, indicador que calcula, con base en el actual modo de vida, el espacio territorial necesario, tanto para producir los recursos y energía empleados, como para asimilar los residuos generados por la humanidad, indica que ya sobrepasa un 25% y un 39% al planeta Tierra, dependiendo de los cálculos⁴.

Necesitamos pues, en el mejor de los casos, un cuarto de planeta adicional para poder mantener los ritmos de consumo, y desecho de principios del siglo XXI; el grueso sobre todo de países desarrollados. Tan solo el índice de emisión de CO₂ ya ronda los 70 millones de toneladas cada 24 horas (véase composición de emisiones mundiales en Imagen 2).

⁴Las estimaciones varían. Para la Global Footprint Network, la humanidad pasó de usar, en términos netos, la mitad de la biocapacidad del planeta en 1961 a 1,25 veces en 2003 (Global Footprint Network, 2004). Según Redefining Progress la biocapacidad del planeta había sido rebasada, para el año 2005, en un 39 por ciento (Venetoulis, 2005).

IMAGEN 2. Flujo de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero



En este contexto, los impactos de corto-mediano plazo de los gases de efecto invernadero, incluyen la contaminación de la vegetación; la filtración de contaminantes a los mantos acuíferos y de ahí al resto de la cadena alimenticia; la lluvia ácida; enfermedades diversas como asma, problemas cardiovasculares, cáncer, irritación y alergias, etcétera (Epstein y Selber, 2002). Los impactos de largo plazo o indirectos, están esencialmente vinculados con las implicaciones del calentamiento global, un fenómeno que ya se corrobora en las últimas tres décadas.

Según los informes de 2007 del *Grupo de Expertos Intragubernamental sobre la Evolución del Clima* (IPCC, por sus siglas en Inglés), de continuar la actual tendencia se calcula un aumento de la temperatura de entre +1,8° C y +4° C para el año 2100 de entre un rango mayor que va del +1,1° C a 6.4° C. De hecho, para el 2006 la NASA confirmaba que, en efecto, la Tierra había alcanzado su temperatura más alta en 12 mil años (AFP, 2006).

Los costes de tal calentamiento se reflejarán, advierte el IPCC, en el incremento del número e intensidad de los fenómenos climáticos (tormentas, ciclones, inundaciones, sequías, etcétera); el desplazamiento y alteración de las reservas de agua dulce; la proliferación de enfermedades provocadas por vectores

infecciosos; la pérdida de biodiversidad marina y terrestre; el derretimiento acelerado de los casquetes polares y el consecuente incremento del nivel de los mares y océanos; la alteración de las corrientes marinas (frías y calientes); entre otros (IPCC, 2007). En lo que refiere al último punto, vale mencionar que en 2007 se registró un récord en el derretimiento de la capa de hielo del Océano Ártico al alcanzar, según los cálculos del *National Snow and Ice Data Center* (Colorado, EUA), un mínimo de 4.2 millones de km² (Revkin, 2007). Se trata de un fenómeno que permitió por semanas el despeje de hielo en el *Pasaje Noroeste* a lo largo de las islas del norte de Canadá (Ibíd.).

El cambio de paradigma energético: energías alternativas y sus limitantes

Energías alternativas en el contexto mundial

Las energías renovables (hidro, solar, eólica, geotérmica y agrocombustibles, principalmente) contribuyen, según los cálculos más optimistas, un 18% del total del consumo final mundial de energía. (Véase cuadro 1).

CUADRO 1									
Capacidad eléctrica generada con energías renovables GW a 2006.									
Tecnología	Total Mundial	Países Periféricos	Unión Europea (25)	China	Alemania	EUA	España	India	Japón
Eólica	74	10,1	48,5	2,6	20,6	11,6	11,6	6,3	1,6
Pequeñas hidroeléctricas	73	51	12	47	1,7	3,0	1,8	1,9	3,5
Biomasa	45	22	10	2,0	2,3	7,6	0,5	1,5	>0,1
Geotérmica	9,5	4,7	0,88	~0	0	2,8	0	0	0,5
Fotovoltaica	5,1	~0	3,2	~0	2,8	0,3	0,1	~0	1,5
Solar térmica	0,4	0	~0	0	0	<0,4	0,1	0	0
Energía de mareas	0,3	0	0,3	0	0	0	0	0	0
Total Renovables	207	88	75	52	27	26	14	10	7
PARA PROPOSITOS COMPARATIVOS:									
Grandes hidroeléctricas	770	355	115	100	7	95	17	35	45
Capacidad eléctrica total	4,300	1,650	720	620	130	1,100	79	140	290
Fuente: Ren21. Renewables 2007. Global Status Report. (Paris, 2008: 38).									

La energía eólica ha sido la de mayor crecimiento en cuanto a capacidad instalada con tasas del 28% en 2007, 30% en 2006 y 42% en 2005 (Revkin, 2007; Merrill Lynch, 2007). Si bien hay parques eólicos en unos 70 países, dos terceras partes están en Estados Unidos (2.5 GW), Alemania (2,2GW), India (1.8 GW), España (1.6 GW) y China (1.4 GW) (Merrill Lynch, 2007: 10). Además, 65% de la capacidad mundial instalada está en Europa, zona que ha contribuido con 15

mmdd de los 19,7 mmdd que se han gastado en la compra de turbinas y equipo asociado de entre el 2001 y el 2006 (Merrill Lynch, 2007). Alemania y España concentran el 50% de la capacidad regional (Merrill Lynch, 2007).

En lo que respecta a el mayor crecimiento tecnológico, claramente la *energía fotovoltaica* es la de mayor peso con un aumento promedio anual de casi el 50% desde el 2002 (Sullivan, 2006). Hoy en día hay unos 7.7 GW instalados (Ren21, 2008: 6), siendo los principales productores de fotoceldas empresas de Japón, China, Alemania, Taiwán y Estados Unidos.

La energía solar térmica (concentradores de calor) aumentó 19% en 2006 al alcanzar los 105 GW-térmicos (Ibíd.). A nivel mundial, China concentra el 64,5% de la energía térmica generada a nivel mundial, la Unión Europea el 12.8%, Turquía el 6,3%, Japón el 4,5%, Israel el 3,6%, Brasil el 2,1%, Estados Unidos el 1,7%, Australia el 1.2%, India el 1,1% y 2,1% otros países (Ibíd.). Entre las principales empresas que desarrollan tecnología solar-térmica están Abengoa Solar (España), Acciona (España), Iberdrola (España), Solar Millenium (Alemania) y Stirling Energy Systems (Estados Unidos).

La energía geotérmica provee unos 10 GW a nivel mundial y mantiene un crecimiento anual de entre el 2 y 3 por ciento. Está concentrada sobre todo en Italia, Indonesia, Japón, México, Nueva Zelanda, Filipinas y Estados Unidos, aunque hay unos 2 millones de sitios extractivos (véase imagen 4) de calor a nivel mundial en 76 países (Ibíd.).

Se suman otras iniciativas como la de biocombustibles, energía generada por el oleaje o corrientes marinas y, desde luego, la añeja bien conocida hidroelectricidad que aportó en 2006 unos 840 GW. Esto es el 17,2 % de la electricidad generada a nivel mundial, de la cual, solo 1,7% proveniente de pequeñas y medianas represas.

Hidroelectricidad, grandes represas e implicaciones

Las pequeñas plantas generan menos de 10 mw. y las catalogadas como micro-hidroeléctricas unos 100 kw. Las grandes represas tienen como mínimo una altura superior a 15 metros, un embalse de más de 1hm³ de agua y una capacidad de aliviadero superior a 2000 m³/s. De las más de 45 mil grandes represas del mundo, en Latinoamérica, según datos de la *Comisión Mundial de Represas (CMR)* hay 1.553, de las cuales 537 están en México, 37 en Centroamérica y 979 en Sudamérica.

A pesar de numerosos estudios acerca de las implicaciones sociales y ambientales de los grandes proyectos hidroeléctricos, éstos irónicamente siguen presentándose como de *producción de energía limpia*, e incluso, y de modo perdidamente erróneo, como proyectos que ahorran emisiones de gases de efecto invernadero.

Hay que recordar, sin embargo, que los embalses contribuyen al calentamiento global ya que la vegetación y demás materia orgánica inundada se descompone generando grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), entre otros procesos como la concentración de metil-mercurio, una toxina que afecta el sistema central nervioso⁵.

Mientras más grande es el área inundada, mayor afectación.

En general el trasvase de agua constituye la pérdida del líquido por evaporación (hasta 2 metros por año), lo cual evidentemente llega a ser aparatoso en zonas de clima caliente. A nivel mundial se considera que cerca de 170 km³ de agua se ha perdido por evaporación (aunque vuelve al ciclo del agua), es decir, alrededor de 10% del agua dulce que la humanidad consume cada año. El remanente son grandes cantidades de sal que afecta los ecosistemas de las diversas cuencas hídricas apresadas.

Según el informe de la Comisión Mundial de Represas, las grandes represas han ocasionado la pérdida de bosques y de hábitat naturales, de poblaciones de especies y la degradación de las cuencas río arriba debido a la inundación de la zona de los embalses; la pérdida de la biodiversidad acuática río arriba y abajo, y de los servicios brindados por las planicies de inundación río abajo, por los humedales, y por los ecosistemas de las riberas, y estuarios adyacentes; impactos acumulativos en la calidad del agua, en las inundaciones naturales y en la composición de las especies, cuando en el mismo río se construyen varios embalses; entre otros impactos (McCully, 1998).

En términos sociales las represas tienen un impacto importante, tanto negativo como positivo, que difiere según las diferencias en clases, tamaños y ubicaciones de las represas. Por un lado se benefician los contratistas (nacionales e internacionales) para la planeación, diseño y construcción de la represa; las multinacionales de materiales de construcción y de la industria de generadores y

⁵ El proceso de descomposición, explica Mc- Cully, es particularmente drástico durante los primeros años en que el embalse es llenado y los niveles de oxígeno cae dramáticamente. La materia orgánica en descomposición, "... genera enormes cantidades de gases de efecto invernadero como metano y dióxido de carbono." (McCully, 1998: 38). Tal estado puede durar alrededor de una década, pero, "...en los trópicos puede mantenerse por varias o incluso siglos." A la generación de CO₂ se suman los cambios químicos, térmicos y físicos que, por la descomposición de materia orgánica en combinación con el tiempo de retención del agua, modifica la calidad del agua, al punto de "...ser letal para el grueso de la vida existente en el embalse y hasta 10 km río abajo." (Ibíd.: 36-37). Asimismo, puntualiza el autor, "... la concentración de mercurio – presente de forma natural y no dañina en la composición de muchos tipos de suelos- es otro factor que se produce en las aguas embalsadas cuando bacterias que se alimentan de la material en descomposición transforman dicho mercurio en metil-mercurio, una toxina que afecta el sistema nervioso central. El metilmercurio es absorbido por el plancton y otras criaturas en la base de la cadena alimenticia acuática. Conforme el metilmercurio pasa a lo largo de la cadena alimenticia, éste se va concentrando en los tejidos de los seres vivos por lo que las concentraciones en peces de gran tamaño puede ser aún mucho mayor." (Ibíd.: 39)

turbinas; la industria –incluida la del turismo- y agroindustria que recibe tanto electricidad y agua de la nueva represa (muchas de las veces a precios subsidiados); los asentamientos urbanos y su población - que pueda pagar- tanto por el agua como por la electricidad; la población local al llevar nuevos servicios e infraestructura como carreteras, electricidad o agua potable; etcétera.

Por el otro lado, los aspectos sociales negativos van desde repercusiones a la salud humana al estimular condiciones propicias para la propagación de vectores infecciosos como la malaria, sobre todo en los trópicos, hasta un variado espectro de impactos directos e indirectos que afectan a los pobladores locales y aledaños, por ejemplo, desplazamiento, reducción de condiciones de subsistencia, entre otros.

Talvez uno de los aspectos más desgarradores de la construcción de grandes represas son los desplazamientos y reubicación de la población. Según la CMR, las grandes represas que han sido financiadas por el BM son responsables del 63% de los desplazamientos (CMR, 2000). El verdadero impacto se visualiza al revisar las características demográficas y socioculturales de dicha población que en general es pobre y mantiene una alta dependencia con los recursos naturales que la rodea.

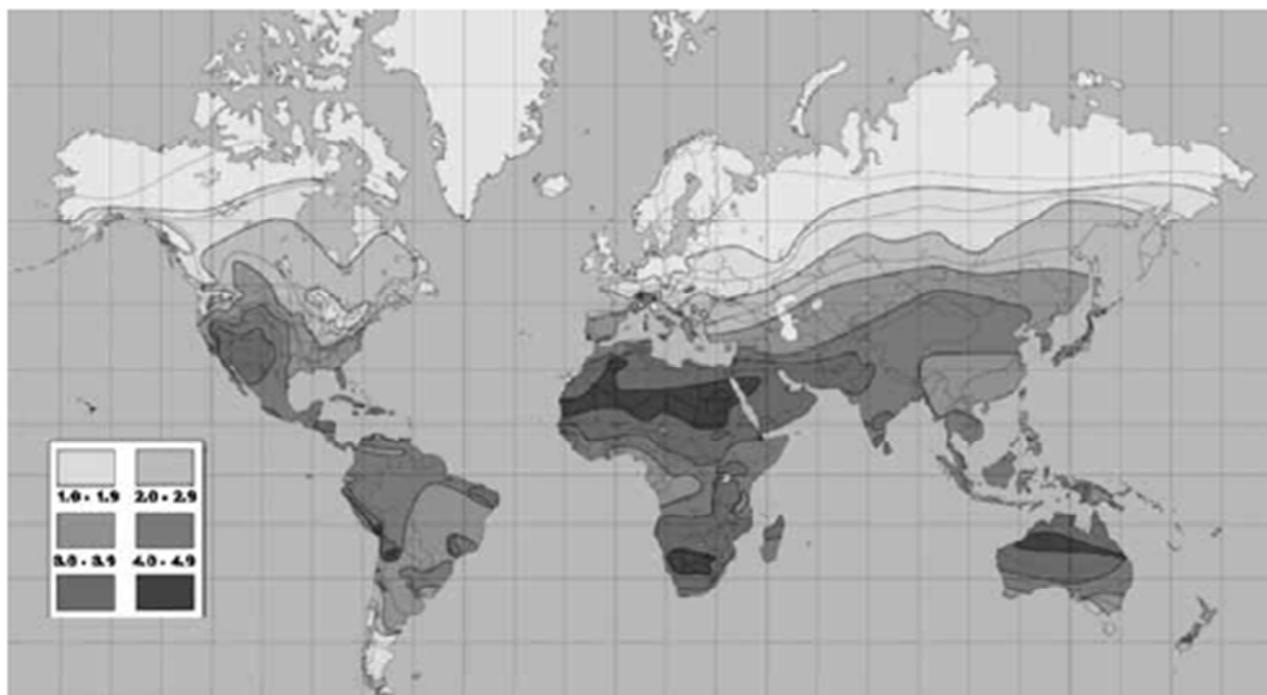
Cifras de la CMR estiman que el rango de desplazados podría situarse entre los 40 y 80 millones; esto sin considerar los afectados aguas abajo y aquellos perjudicados por otras infraestructuras como caminos, subestaciones eléctricas, etcétera (CMR, 2000). Las compensaciones por su desalojo y supuesta reubicación no siempre se concretizan y cuando sucede son insignificantes y en ocasiones se hace por medio de pagos diferidos; ello sin olvidar que los campesinos e indígenas generalmente no cuentan con escrituras de propiedad de sus tierras, por lo que no pueden reclamar legalmente alguna compensación (Ibíd.: 107). En caso de reubicación, los lugares de reasentamiento son con frecuencia áreas sin recursos y ambientalmente deterioradas alrededor del embalse.

Energía solar y sus restricciones

Con sus distintas variantes, las tecnologías solares son dependientes de la disponibilidad de radiación directa, aunque algunas funcionen con radiación difusa en un grado de eficiencia bajo.

Su viabilidad está pues constreñida dado que no todas las zonas son aptas para su uso extensivo. Las zonas óptimas son las cercanas al ecuador, pero hay otras que también son funcionales (véase Imagen 3).

IMAGEN 3. Insolación solar diaria promedio kWh/m²



Fuente: www.oksolar.com/abctech/images/world_solar_radiation_large.gif

más adelante), tienden a modificar la temperatura y la humedad de su área inmediata en proporción directa a sus dimensiones y capacidad. Esto es un aspecto que puede afectar, en un grado u otro, los ecosistemas inmediatos a tales instalaciones y que podría ser evitado, aunque sea parcialmente, si se opta por el uso descentralizado de soluciones solares.

Si bien las expectativas de este tipo de energía son considerables hay que señalar que, el principal problema de la concentración de soluciones solares es que las centrales ocupan una gran cantidad de espacio. Por ejemplo, datos de los Laboratorios Nacionales Sandia (Estados Unidos) precisan que en promedio una planta solar-termal requiere de 40m² por MW generado, es decir, poco menos que el equivalente a un proyecto hidroeléctrico, y casi el mismo espacio que una central de carbón si se consideran las actividades de minería asociadas. Estimaciones que se desprenden de la experiencia de la plataforma Solucar (Sevilla), propiedad de la española Abengoa Solar, sugieren un área de 260 hectáreas para una instalación mixta de 300 MW (una torre de 115m de altura y 600 helióstatos con capacidad de 50 MW, colectores parabólicos de 250 MW) (<http://www.solucar.es>).

Otro ejercicio, el de EnvironMission (Australia) y Solar Mission (Estados Unidos), supone un espacio de 38 km² para una torre solar termal de 200 MW.

Para sustituir una central termoeléctrica de 2 mil Mw., con lo que “ahorraría” 14 millones de toneladas de CO₂, sería necesario 10 torres de 200 Mw cada una y un área de 380 km² o dos terceras partes de la isla Ibiza aproximadamente.

La cuestión se complejiza aún más si se toma nota de que los campos colectores de energía solar (y que incluyen las “granjas” fotovoltaicas; véase más adelante), tiende a modificar la temperatura y la humedad de su área inmediata en proporción directa a sus dimensiones y capacidad. Esto es un aspecto que puede afectar, en un grado u otro, los ecosistemas inmediatos a tales instalaciones y que podría ser evitado, aunque sea parcialmente, si se opta por el uso descentralizado de soluciones solares.

Energía eólica

El principal problema de la eólica, directamente relacionado al tipo de turbina y parque, es el desplazamiento de poblaciones en áreas amplias (caso de eólica *on-shore*), afectación a pájaros y otros animales, generación de ruido, entre otros factores (caso de eólica *on-shore* y *off-shore*). La dimensión de las turbinas llegó en 2005 a los 126 metros de diámetro y se tiene proyectado que en el futuro próximo alcancen los 160 metros. Con tales dimensiones, la alteración del espacio territorial es evidente.

Además, el costo energético de la producción de molinos y su instalación es elevado pues, por ejemplo el acero representa alrededor del 80% del costo en materia prima en el caso de lo primero (Merrill Lynch, 2007), mientras que el concreto lo es en el segundo caso. Al respecto, considérese que un sistema o “granja” eólica de tecnología típica que genera 1 MWe (1 millón de watts) operando a una velocidad de viento promedio de 6.5 metros por segundo, requiere de unas 460 toneladas métricas de acero unas 870 toneladas de concreto.

El costo de la producción pero también para el reciclamiento de tales insumos, a los que se suma la elaboración de polímeros para las aspas, rotores, transmisiones o cableado (subterráneo), es como se precisó considerable y debe restarse a los aspectos positivos de este tipo de energía alternativa.

Biocombustibles: limitaciones y controversias

La producción de agrocombustibles-etanol (de maíz, caña de azúcar o celulosa) o biodiesel (de palma aceitera, soya, etc)- está recibiendo una importante atención de parte de diversos países. Se habla de unas 40 naciones con algún tipo de iniciativa o legislación al respecto. Se suman también programas del Banco Mundial (BM) por 10 mdd, del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por 3 mdd, o acuerdos como el de la Interamerican Ethanol Commission (encabezada

por Jeb Bush; el agroempresario y exministro de agricultura de Brasil, Roberto Rodrigues; y Luis Moreno, presidente del BID)⁶.

Estados Unidos se coloca a la cabeza de la producción de etanol a nivel mundial (sobre todo gracias a la Iniciativa de Energía de 2005 que fijó como meta la producción de unos 28 mil millones de litros al año para 2012), mientras que Brasil lo hace en términos de exportaciones, quedando en segundo lugar en cuanto a producción. En este panorama resulta llamativo el debate sobre la viabilidad ambiental “contable” de los agrocombustibles, en particular en tanto a la cantidad de energía que requiere su producción de cara a la energía que aportan (o su EROEI).

En general, los estudios más aceptados indican que los agrocombustibles producidos a partir de granos, como el maíz, tienen un margen EROEI mínimo de ventaja, mientras que los producidos a partir de celulosa, sugieren un mayor grado de eficiencia (Delgado, 2008). Otros, como los del *Instituto Estadounidense de Ciencias Biológicas*, precisan que en realidad el margen para el caso del etanol de maíz es nulo, e incluso negativo en un 10 por ciento puesto que se trata del grano de mayor uso intensivo de químicos (en monocultivo); rasgo al que se suma el bajo contenido energético pues se estima que un barril de etanol (160 litros) equivale a 106 litros de gasolina porque contiene 80 mil BTU (unidades térmicas británicas) de energía versus 119 mil BTU de la gasolina regular (Ibíd.). Añádase, como señala el *Servicio de Investigación del Congreso* de Estados Unidos (CRS, por sus siglas en Inglés), el hecho de que, “...los beneficios en términos de gases de efecto invernadero son limitados” (Ibid, s/p); un aspecto que se agudiza si se toma en cuenta la posibilidad de instalación creciente de plantas procesadoras de etanol que operan en base a la quema de gas, o peor aún, de carbón, tal y como ya sucede en Estados Unidos como producto de los mencionados subsidios canalizados a esa actividad⁷.

Aún más, súmase un monto importante de generación de gases de efecto invernadero para el transporte tanto de insumos como de agrocombustibles. Por todo lo precisado, para Matthew Wald del New York Times, los agrocombustibles, “...lejos de ser producto del campo, en realidad son un producto de los combustibles fósiles” (s/p).

Más aún, como precisa la Unión Europea, tan solo para alcanzar un 5.75% de uso de agrocombustibles en el sector transporte (primera directiva fijada en 2003), necesitaría de 17 millones de hectáreas o la quinta parte del suelo agrícola europeo (Russi, 2007). Dada su relativa inviabilidad, de entrada por cuestiones de seguridad alimentaria, la UE se ve obligada a comprar la materia prima en el exterior, lo que de paso le permite exportar los impactos negativos de los

⁶ Para una revisión de los lineamientos del BM y el BID respecto a sus iniciativas pro-biocombustibles, véase: Rothkopf, 2006; Kojima y Johnson, 2005.

⁷ Se calcula que el uso de gas para la producción de cada barril de etanol, por ejemplo en etapas de calentamiento de los “insumos”, es de unos 36 mil BTU de cara a los 80 mil BTU que ofrece.

agrocombustibles (socioambientales) hacia los países periféricos, al tiempo que estos últimos exportan, como insumos de los agrocombustibles, fuerza de trabajo barata y agua. De esta manera, para enero de 2007 la UE hacía viable su nueva estrategia energética para el sector transporte cuya meta es el uso de agrocombustibles en un 10 por ciento.

Vale precisar que en este escenario, los incentivos para expandir en la periferia el área de monocultivos para la producción de agrocombustibles, han derivado en la destrucción de zonas boscosas y selváticas, tal es el caso de Malasia donde las plantaciones de palmeras han causado el 87% de la deforestación total de entre 1985 y 2000 (Rusi, 2007). Lo mismo sucede en Indonesia donde el ritmo de expansión de las plantaciones de palma aceitera ha sido, de 1999 a 2004, de unas 400 mil hectáreas promedio al año cubriendo zonas como el Parque Nacional Tanjung Puting y la reserva natural de Danau Sentarum en Borneo (Westerbeek, 2007). Así, en términos mundiales, se estima que en los últimos 20 años se han destruido 300 millones de hectáreas de bosques y selvas para la expansión de los monocultivos de palma aceitera, caucho, soya y azúcar, principalmente⁸. La contradicción en términos ecológicos es evidente.

A modo de reflexión final: puntos de vista desde una perspectiva mexicana

Lo delicado del actual panorama, no solo es que el patrón energético imperante está llegando a sus límites socio-ambientales, lo que urge -temporalmente- la transición energética, sino que además, tal transición requerirá de mucha energía fósil, razón por la cual, advierte Paul Roberts, "...tal vez tengamos solo una oportunidad" (Roberts, 2008: 36).

Para el caso de México, un proceso de transición cuidadoso y responsable es un doble imperativo pues se trata de un país petrolero, socioeconómicamente polarizado y a la par del hegemonía hemisférico y mundial. Esa última variable es de la mayor relevancia, sobre todo porque Estados Unidos es cada vez más dependiente de petróleo foráneo para mantener su orden termodinámico interno y la proyección de su hegemonía. Esto es porque pasó de importar el 28% del petróleo que consume en 1973 a cerca del 55% en 2003. Los cálculos estiman que ese monto seguramente llegará al 70% en 2025.

En un escenario en el que el petróleo se torna crecientemente estratégico, incluso para cualquier intento de cambio de paradigma, México debería de dejar de ser uno de los principales abastecedores de crudo de Estados Unidos (por arriba de Venezuela y tan solo después de Canadá y Arabia Saudita), para pasar a una

⁸ De 1990 a 2002, la superficie sembrada de palma africana aumentó en un 26 por ciento. Véase: Rulli et al, 2007: 16-17, y 27.

explotación de autosuficiencia y la exportación regulada de petrolíferos de mayor valor agregado⁹.

Al mismo tiempo se debería estimular la descentralización de la generación de energía en el sentido de fomentar la expansión del uso de energías alternativas más adecuadas y armónicas para con la diversidad socio-ambiental del vasto espacio territorial nacional. Petróleos Mexicanos, PEMEX, debería entonces abrir una división altamente agresiva de tales fuentes de energía, lo que obligaría el establecimiento de un Instituto Nacional de Energía Alternativa/ Renovable. Las líneas de investigación con mayor financiamiento y enfoque deberían también ser desarrolladas por universidades e institutos de investigación públicos, al tiempo que parte de los impuestos empresariales y ambientales deberían canalizarse a tal objetivo de modo sistemático puesto que se trata de un asunto de seguridad nacional mexicana. El financiamiento provendría además de la mencionada transformación del petróleo en derivados con mayor valor agregado, algo que no significa ni una intensa extracción del combustible, ni mucho menos el continuar con su venta en crudo (tal y como sugiere la iniciativa de reforma que asume que la petroquímica secundaria quede fundamentalmente en manos privadas).

Inclusive, pensando en el futuro negocio de tecnologías de energía alternativa, PEMEX podría y debería ser fundamento de la construcción de una potente plataforma científico-tecnológica para dicho negocio. La UNAM, el Instituto Politécnico Nacional, los institutos de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, entre otras entidades deberían conformar, junto con PEMEX, una red de trabajo nacional en energías alternativas.

Relacionado a lo antes expuesto, se torna central entonces una política de estado (no una política sexenal) que aumente sostenidamente el gasto en investigación y desarrollo de tecnologías endógenas de energía alternativa y de diseños espaciales-territoriales sustentables de carácter endógeno que permitan ajustar la economía nacional a patrones de consumo menos despilfarradores, tanto en el mediano como en el largo plazo.

Por supuesto, lo anterior debe ir acompañado de dos variables centrales. Primero un paquete de medidas para fomentar el ahorro energético (a modo de una nueva cultura energética), no solo por la vía de desarrollo tecnológico. Y es que tal medida es solo una solución parcial pues hay fuertes limitaciones en lo que respecta al aumento de eficiencia energética de máquinas-herramientas, procesos productivos en general, instalaciones eléctricas, electrodomésticos, etcétera. Ello se debe, como advierte Homer- Dixon (2007), al hecho de que los capitalistas solo explotan los medios más fáciles y baratos y, solo hasta el punto en que les resulta redituable o se les obliga legalmente. En efecto, cada incremento de eficiencia es tecnológicamente más difícil y costoso que el anterior.

⁹ Canadá surte el 19% de las importaciones de EUA, Arabia Saudita 15%, México el 14%, Venezuela el 12%, Nigeria el 11%, Angola el 5%, Irak el 5% y Argelia el 4%. AL y Canadá en conjunto suman el 50% de las importaciones de petróleo de EUA (Brasil 2%, Ecuador 2% y Colombia 1%.

Quiere decir que será necesario un marco legal-jurídico *ad hoc* es fundamental para estimular dicho cambio. Por ejemplo mediante legislaciones que incentiven el desarrollo y uso de energías y demás tecnologías alternativas/ahorradores; que obliguen la planeación integral y sustentable del espacio local, regional y nacional (al estilo de comunidades de *ecoaldeas*); que limiten las dimensiones de los asentamientos urbanos; que obliguen la implementación de técnicas de bioconstrucción, que descentralicen las diversas actividades económicas; que incentiven la agricultura urbana de autoconsumo (jardines y pequeños cinturones de producción urbanos de, por ejemplo, hortalizas); que estimulen el emplazamiento de sistemas de transporte públicos de buena calidad, incluyendo ciclovías de barrio; que por lo menos exijan la venta de autos híbridos y por tanto, de alto rendimiento energético; que prohíban la importación de autos chatarra; que limiten el uso del automóvil, comenzando, por ejemplo, con la aplicación de impuestos a la compra y uso privado de automóviles de alto caballaje y de dimensiones cúbicas considerables (puesto que requieren de una asignación mayor de espacio público –calles y carriles más amplios); etcétera.

La segunda variable refiere a la necesidad de re-primarizar la economía y, por tanto, de achicar las escalas de nuestra economía. Es decir, por mera cuestión de seguridad energética, debemos producir el grueso de nuestros principales alimentos (lo que a su vez nos da seguridad alimentaria). Cada vez será más costoso importar (y en consecuencia transportar) alimentos producidos en otras naciones en base a agroquímicos y otros insumos petrolíferos. Dicho achicamiento puede permitir, o no, un mejor reordenamiento territorial nacional que vele por los intereses del pueblo mexicano y sus futuras generaciones. Dicho de otro modo, las opciones están y dependerá de nosotros decidir, o dejar que otros decidan, qué rumbo tomar, qué presente transformar y qué futuro construir y heredar.

Bibliografía

AFP (2006). "Alcanza la Tierra su temperatura más alta en 12 mil años: NASA." *La Jornada*. México, 26 de Septiembre.

Bank Information Center *et al* (2006). *How the World Bank's Energy Framework Sells the Climate and Poor People Short*. EUA, septiembre.

Butler, Kiera y Gilson, Dave (2008). "Attack of the planet-pummeling baby". *Mother Jones*. EUA, mayo-junio.

Cambell, Colin (1997). *The Coming Oil Crisis*. Multi-Science and Petroconsultants. EUA.

Cleveland, Cutler J (2001). "Net energy from the extraction of oil and gas in the United States". *Energy*. Elsevier. EUA, 6 de enero.

- CMR - Comisión Mundial de Represas (2000). *Represas y Desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones*. CMR. EUA.
- Deffeyes, Kenneth S (2001). *Hubbert's Peak: The Impeding World Oil Shortage*. Princeton University Press. EUA.
- Delgado, Gian Carlo y Saxe-Fernández, John (2007). "Engaños Contables de los Monopolios de la Energía: costos, impactos y paradigmas del sector." *DELOS. Revista Electrónica de Desarrollo Local Sostenible*. Vol. 1. No. 0. EumedNet. Universidad de Málaga, España., octubre: 1 – 15.
- Delgado, Gian Carlo (2008). "Sociología del negocio agroindustrial: OGMs y agrocombustibles en América Latina." *International Journal of Human Sciences*. Vol. 5. No. 1. Turquía.
- Departamento de la Defensa (2004). "Strategic Significance of America's Shale Oil Resource". *Assessment of Strategic Issues*. Vol. 1. Office of Deputy Assistant Secretary for Petroleum Reserves. Office of Naval Petroleum and Oil Shale Reserves. EUA, marzo. En: www.fe.doe.gov
- Energy Information Agency (2007). *International Energy Outlook 2007*. Washington: EIA.
- Epstein, Paul R. y Selber, Jesse (eds) (2002). *Oil. A Life Cycle Analysis of its Health and Environmental Impacts. The Center for Health and the Global Environment*. Harvard Medical School. EUA, marzo.
- Godrej, Dinyar (2001). *No-Nonsense Guide to Climate Change*. Reino Unido: Verso.
- Heinberg, Richard (2003). *The Party's Over. Oil, war and the fate of industrial societies*. New Society Publishers. Canada.
- Homer-Dixon, Thomas (2007). *The Upside of Down*. Vintage Canada.
- IPCC (2007). *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Report. Ginebra, Suiza. Abril. Disponible en: www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf
- Klare, Michel (2001). *Resource Wars. The New Landscape of Global Conflict*. Henry Holt and Company. Nueva York, EUA.
- Kojima, Masami y Johnson, Todd (2005). *Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries*. Energy Sector Management Assistance Programme. Banco Mundial. Washington, D.C., EUA. Octubre.
- McCully, Patrick (1988). *Silenced Rivers: the ecology and politics of large dams*. Longman. EUA/ Londres.

- Merrill Lynch (2007). *Wind Turbine Manufacturers; here comes pricing power*. Industry Overview. Reino Unido, 10 de agosto.
- Murray, Tavi (2006). "Greenland's ice in the scales". *Nature*. Vol 443. No. 21. EUA, Septiembre.
- O'Connor, James (2001). *Causas naturales. Ensayos de marxismo ecológico*. Siglo XXI. México.
- Ren21 (2008). *Renewables 2007. Global Status Report*. Paris.
- Revkin, Andrew C (2007). "Scientists observe record melting of Arctic Ocean ice cap". *International Herald Tribune*. 21 de septiembre.
- Roberts, Paul (2008). "The Seven Myths of Energy Independence". *Mother Jones*. EUA, mayo-junio: 36.
- Rothkopf, Garten (2006). *A Blueprint for Green Energy in the Americas. Featuring: The Global Biofuels Outlook 2007*. Banco Interamericano de Desarrollo. EUA.
- Rulli, Javiera, et al (2007). *Repúblicas Unidas de la Soja*. Grupo de Reflexión Rural. Uruguay.
- Russi, Daniela (2007). *Biocarburantes: una estrategia poco aconsejable*. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Sullivan, Ted (2006). *Solar Bubble to Burst in 2009 as Supply Exceeds Demand*. Lux Research. EUA, 26 de marzo.
- Velicogna, Isabella y Wahr, John (2006). "Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004." *Nature*. Vol 443. No. 21. EUA, septiembre: 329.
- Venetoulis, Jason y Talberth, John (2005). *Ecological Footprint of Nations. Update 2005*. Redefining Progress. EUA.
- Westerbeek, Thijs (2007). "Agrocombustibles ¿Bendición o Maldición?" *Ambientalistas en Acción*. No. 61. Bogotá, Colombia. Diciembre