

# Hacia un sistema energético sin emisiones de carbono

Eduardo A. Rincón Mejía<sup>1</sup>

## RESUMEN

El calentamiento atmosférico y oceánico –con sus consecuentes alteraciones climáticas–, el envenenamiento del aire, el agua y el suelo por diversos contaminantes, las guerras por el control del petróleo y el gas natural, los derrames de crudo en los océanos, y las enormes fugas en depósitos y embarcaciones que transportan gas natural (que es esencialmente metano, un gas 25 veces peor que el CO<sub>2</sub> en el efecto invernadero) son consecuencias directas del actual sistema energético basado en combustibles fósiles. El doctor James E. Hansen y otros expertos han hecho notar que el valor seguro para la estabilidad climática es cuando mucho de 350 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Actualmente, la concentración de CO<sub>2</sub> ha rebasado 393 ppm, es decir, estamos en gran riesgo. La masa de la atmósfera es de  $5.1 \times 10^{18}$  kg y cada ppm de CO<sub>2</sub> corresponde, en términos másicos, a casi 7.75 mil millones de toneladas de este gas. ¡Habría que retirar de la atmósfera una cantidad superior a 333 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para que la atmósfera recuperara su estabilidad! Sin embargo, se pretende que las emisiones continúen de manera que, si se toman medidas extraordinarias a nivel planetario, se estabilice el CO<sub>2</sub> atmosférico en no mucho más de 450 ppm. Obviamente, este tipo de *metas* conducen al desastre. La alternativa para salvar la atmósfera es una transición rápida hacia un sistema energético mundial basado en la energía solar y otras fuentes renovables, como el viento, las biomásas y la geotermia, entre otras, y aunado a una deforestación cero con recuperación de bosques y selvas para reducir la concentración de CO<sub>2</sub> a 350 ppm. La energía solar y las demás fuentes renovables de la misma podrían satisfacer cualquier necesidad energética de las presentes y futuras generaciones si se desarrollan, de manera económica, los sistemas para su aprovechamiento. En este artículo se esboza cómo eliminar las emisiones de CO<sub>2</sub> empleando tecnologías energéticas de cero emisiones de este óxido. Muchas de éstas pueden ser desarrolladas en México, en nuestras universidades públicas, para aprovechar de la mejor manera los recursos renovables con las particularidades con que se presentan en nuestro país.

Palabras clave: energías renovables, cero emisiones de carbón, gases de efecto invernadero.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, UAEM, rinconsolar@hotmail.com

## ABSTRACT

The present energy system based on fossil fuels has caused serious environmental problems, among them: the atmospheric and oceanic heating with its consequent climatic alterations; the poisoning of the air, water and soil by diverse polluting agents; wars by the control of petroleum and natural gas; spills of crude in the oceans and enormous leaks in deposits and boats that transport natural gas (which is mainly methane, a gas 25 times worse than CO<sub>2</sub> in the greenhouse effect). Dr. James E. Hansen, of the NASA Goddard Institute, and other experts, have made notice that the safe value for the climatic stability is lesser than 350 parts per million (ppm) of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. At the present time, the CO<sub>2</sub> concentration has exceeded the 393 ppm, that is to say, humankind is in great risk. The mass of the atmosphere is  $5.1 \times 10^{18}$  kg, and each ppm of CO<sub>2</sub> is equivalent to almost 7.75 billions of tons of this gas. It would be necessary to retire of the atmosphere an amount superior to 333 billions of tons of equivalent CO<sub>2</sub>, so that the atmosphere recovered its stability. Instead of this it is tried that the emissions continue until several extraordinary measures at planetary level were adopted in order to stabilize the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> at not much more than 450 ppm. Obviously, this type of *goals* leads to the disaster. The alternative to save the atmosphere is a fast transition towards a world-wide energy system based on solar energy and other renewable sources, like wind, biomasses and geothermic, combined with a deforestation zero with recovery of forests, to reduce the CO<sub>2</sub> concentration to 350 ppm. The solar energy could satisfy any energy necessity of the present and the future generations, if the systems for their economic use are developed on a large scale. In this paper it is outlined how to eliminate the CO<sub>2</sub> emissions using energy technologies of zero carbon emissions. Many of these can be developed in Mexico in public universities to take advantage of the particularities whereupon the renewable resources appear in our country.

Key words: renewable energies, zero carbon emissions, greenhouse effect gases.

## INTRODUCCIÓN

El mundo enfrenta una compleja problemática que involucra inextricablemente aspectos ambientales, energéticos, económicos, de disponibilidad de agua potable y alimentos, de inequidad social, de pobreza extrema en amplias capas poblacionales, de flujos migratorios indeseados, y de violencia en todas las escalas –desde guerras, hasta violencia callejera–. Se plantea que una condición *sine qua non* para resolver esta inaceptable situación es, por sorprendente que parezca, un tránsito hacia un sistema energético mundial basado en las fuentes renovables de energía, que son la radiación solar y sus manifestaciones secundarias como el viento, la hidroenergía, la bioenergía, entre muchas otras. La razón es muy sencilla: el actual sistema mundial está basado en energéticos no renovables (petróleo, gas, carbón, uranio) que son extraídos de muy contados puntos del planeta, desde donde se pretende que se distribuyan a todos los centros mundiales de población. Además, este sistema es ineficiente, ya que del análisis *del pozo a la rueda* para vehículos que consumen gasolina y otros similares para la generación de energía eléctrica, transporte y otros usos, menos de 5% de estas fuentes no renovables es aprovechada (Ruiz, 2009). El restante 95% es desperdicio que agrava el incontrovertible calentamiento global. Es, asimismo, inicuo, ya que la gran mayoría de países se ven obligados a importar estos energéticos;

es terriblemente contaminante y destructor de ecosistemas y, finalmente, incapaz de satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad en el mediano plazo. Por el contrario, el Sol es una fuente energética inagotable en miles de millones de años y da lugar a vientos, lluvias, formación de hidratos de carbono, proteínas y otros nutrientes por la acción fotosintética en las plantas verdes, que además retiran  $\text{CO}_2$  de la atmósfera en estos procesos. Estos vientos, lluvias, biomoléculas y corrientes oceánicas constituyen fuentes energéticas limpias con potenciales suficientes para satisfacer muy sobradamente todas las necesidades energéticas de la presente generación y de las innumerables generaciones por venir, con emisiones netas nulas de gases de efecto invernadero (GEI).

#### GASES DE EFECTO INVERNADERO

La atmósfera terrestre está constituida por alrededor de 99% de nitrógeno y oxígeno diatómicos, que técnicamente son transparentes a la luz solar en todo su espectro. Sin embargo, gases naturales como el  $\text{CO}_2$  (actualmente el más importante de los GEI), el ozono, el metano y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), y algunos gases artificiales como los clorofluorocarbonos y demás freones, son opacos a ciertas porciones del espectro solar, principalmente en el infrarrojo, ya que disminuyen la capacidad emisiva de la Tierra hacia el espacio exterior, con el consecuente calentamiento por efecto de invernadero.

#### ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE $\text{CO}_2$

La respuesta a la pregunta de cuánto  $\text{CO}_2$  se emite anualmente puede buscarse por al menos dos caminos: consultar los datos de las emisiones declaradas por los países, comenzando por los de mayores emisiones, o medir los incrementos en su concentración en la atmósfera; y considerar los sumideros estimados. La primera opción seguramente conducirá a estimaciones que pueden diferir de la realidad en porcentajes inaceptables.

La segunda opción puede realizarse porque:

- a) Se cuentan con mediciones sistemáticas exactas del  $\text{CO}_2$  atmosférico.
- b) Se conoce bien la composición del aire y la masa de la atmósfera.
- c) Se dispone de buena información acerca del consumo mundial de combustibles fósiles y la deforestación, que son las principales fuentes de este gas a la atmósfera.

#### *Mediciones exactas de la concentración del $\text{CO}_2$ atmosférico*

Desde 1958, el programa de  $\text{CO}_2$  del Instituto Scripps de Oceanografía con sede en La Jolla, California, ha venido realizando mediciones sistemáticas ininterrumpidas de la concentración de  $\text{CO}_2$  en el volcán Mauna Loa, ubicado en la isla Kona, la más grande del archipiélago hawaiano, y en otras localizaciones. Estas mediciones fueron iniciadas por el profesor Charles David Keeling, quien hasta su muerte, en 2005, defendió el proyecto de las mediciones y fue autor de numerosas publicaciones (Keeling et al., 1976). La famosísima curva de Keeling (figura 1) en su

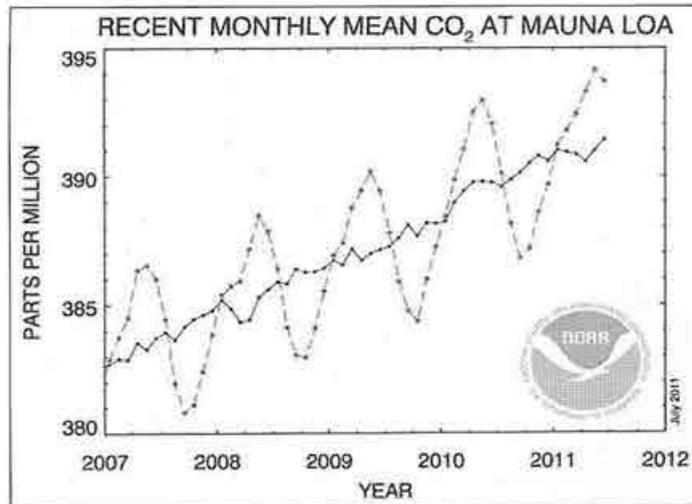
más reciente segmento indica claramente la creciente concentración, con oscilaciones estacionales que presentan picos hacia el inicio de la primavera en el hemisferio boreal (debido a la escasez invernal de hojas de plantas verdes), del  $\text{CO}_2$  atmosférico, registrado en su observatorio a 3000 m de altitud. Nótese que a inicios de mayo de 2010 se registró una concentración de 393.62 ppm. En mayo de 2009 la concentración medida fue de 390.18 ppm, de modo que en un año se tuvo un incremento, sin precedente alguno, de 3.44 ppm (Rincón, en prensa).

### *Masa y composición de la atmósfera terrestre*

Es un buen ejercicio para los estudiantes de Mecánica de fluidos estimar la masa de la atmósfera terrestre conociendo la variación de la temperatura, la presión y la densidad por la altura. Asimismo, pueden consultarse numerosas fuentes para conocer su composición. El resultado, con una incertidumbre menor a 3%, indica que la masa de la atmósfera es de  $5.1 \times 10^{18}$  kg. Unas operaciones muy sencillas permiten conocer que cada parte por millón de  $\text{CO}_2$ , en términos volumétricos, como las indicadas en las ordenadas de la curva de Keeling, equivale a 7.74889 miles de millones de toneladas de este gas. Si la concentración de hoy es de 393 ppm y el valor seguro para que la atmósfera sea térmicamente estable es de no más de 350 ppm como afirman Hansen et al. (2008), entonces se tendrían que eliminar más de 333 mil millones de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera para que ésta recuperase su estabilidad térmica.

*Figura 1*

PARTE DE LA CURVA DE KEELING QUE MUESTRA LAS VARIACIONES ESTACIONALES EN LA CONCENTRACIÓN DEL  $\text{CO}_2$  ATMOSFÉRICO, ASÍ COMO SU CRECIENTE INCREMENTO EN SU VALOR MEDIO EN EL TRANCURSO DE LOS AÑOS (PERIODO 2007-2011)



Fuente: Tans, 2011.

### *Consumo mundial de combustibles fósiles*

Debido a que la economía mundial depende fuertemente de los combustibles fósiles, son bien conocidos la producción y el consumo de éstos. Más de 97% del transporte actual en Estados

Unidos, el país más energívoro, depende del petróleo, así como la producción agrícola e industrial. Se tienen detallados registros acerca de la producción y el consumo del petróleo crudo, el gas natural y el carbón. Hay que hacer notar que desde 1983 el consumo ha sido mayor a los descubrimientos de nuevos yacimientos, de modo que las reservas probadas han descendido desde entonces. También, hay que resaltar el pronóstico de que la producción máxima de todos los hidrocarburos se alcanzará hacia el año 2014. A este valor máximo se le conoce como el *pico de Hubbert*, en reconocimiento al doctor M. King Hubbert, quien en 1956 predijo, con base en un modelo dinámico sencillo, que la producción de petróleo de Estados Unidos llegaría a su máximo a principios de la década de los setenta (Hubbert, 1956), como efectivamente ocurrió. Antes de esto, la mayoría de los *expertos* de la industria petrolera y la academia rechazaron su modelo y sus conclusiones. Varios países productores de petróleo han alcanzado ya su pico en la producción petrolera, entre ellos México, donde la máxima se alcanzó a inicios de 2004 y a partir de entonces comenzó el declive.

Al contar con mediciones precisas de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, que registran incluso variaciones estacionales, y del consumo de combustibles fósiles se encontró que los incrementos en su concentración se correlacionan durante décadas casi perfectamente con el consumo de combustibles fósiles, considerando un factor de 0.57 de las emisiones como lo que se acumula en la atmósfera. En otras palabras, conociendo el consumo mundial de combustibles fósiles y las cantidades de CO<sub>2</sub> que su quemado producían, los incrementos medidos en la atmósfera coincidían con 57% de estas emisiones. El porcentaje restante era absorbido por los océanos, los bosques y otros sumideros.

54

En las últimas dos décadas, la creciente deforestación ha aportado emisiones crecientes que se aproximan a 25% de las provocadas por la quema de combustibles fósiles. Suponiendo que todavía 57% de las emisiones permanecen en la atmósfera, y sabiendo que de marzo de 2009 a marzo de 2010 la concentración de CO<sub>2</sub> creció 2.37 ppm, se puede estimar que las emisiones de CO<sub>2</sub> en el último periodo anual es de  $(2.37 \times 7.7488921) / 0.57 = 32.22$  miles de millones de toneladas métricas. Como referencia, la organización Climate Interactive, que se precia de elaborar –y hacer públicos– modelos muy avanzados para pronosticar las emisiones de GEI y los consecuentes incrementos en la temperatura de la atmósfera, reporta una emisión actual de 34 toneladas métricas. Además, pronostica las concentraciones de CO<sub>2</sub> equivalente hacia el año 2100 para cuatro escenarios: el más de lo mismo (*business as usual*), que conduciría a una concentración cercana a 965 ppm, con un incremento en la temperatura de unos 5° C por encima del valor preindustrial; el escenario correspondiente al que se tendería, de respetarse los paupérrimos acuerdos de Copenhague 2009 (*confirmed proposals*), con una concentración de 770 ppm y un incremento en la temperatura de 4° C; otro escenario que contempla acuerdos de los gobiernos de naciones para Cancún 2010, con un consecuente aumento de 3° C; y finalmente el llamado de *bajas emisiones*, contemplado como meta ideal en el Plan Especial de Cambio Climático del gobierno mexicano y otros similares, que llevarían a 450 ppm, con unos 2° C de incremento en la temperatura. Ninguno de estos escenarios conlleva a una concentración alrededor de las requeridas 350 ppm para recuperar la estabilidad térmica de la atmósfera y, por lo tanto, *son inaceptables*. Se requieren medidas más radicales, que implican esencialmente tres condiciones: un cambio en la forma de vida, un tránsito hacia un sistema energético basado en fuentes renovables, y la adopción de prácticas agrícolas y silvícolas (permacultura, deforestación cero, recuperación de bosques y selvas) que capturen el CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

La transición energética hacia un sistema mundial basado en las fuentes renovables de energía, en el que la eólica será dominante en el corto plazo, y la solar en el mediano y largo plazos, ya se ha iniciado, a pesar del discurso de organismos multinacionales, como la Agencia Internacional de Energía (AIE), ministerios de energía de diversos países, etc., que proclaman que los energéticos no renovables continuarán prevaleciendo durante las próximas décadas. Ese discurso es insostenible por los siguientes hechos, ignorados por muchos:

1. La magnitud del recurso solar. En su órbita alrededor del Sol, la Tierra intercepta una cantidad de energía proveniente de éste, más de 7500 veces mayor que la que se consume a nivel planetario. Es decir, si se aprovechara tan sólo la milésima parte de esa energía interceptada, se dispondría de una cantidad 7.5 veces superior a la que actualmente se consume en todo el mundo. Si adicionalmente se duplica la eficiencia del aprovechamiento energético, lo cual es técnicamente viable, ya que la eficiencia actual es ínfima, se estará hablando de un potencial de 15 mil veces el consumo actual. La energía solar podría satisfacer cualquier necesidad energética de la presente y las futuras generaciones sin impactar al ambiente si se empleasen tecnologías de cero emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Las limitaciones de las fuentes no renovables. Todas las reservas probadas de energéticos no renovables son insignificantes cuando se les compara con la energía solar interceptada en tan sólo un año. Ninguna de las fuentes no renovables podría garantizar el abasto energético mundial a largo plazo, según permite dilucidar el conocimiento científico actual. Hay que observar que cualquier recurso no renovable que se consume, más temprano que tarde, comienza a escasear, sobre todo si se le usa voraz e irracionalmente, como ha sucedido con el petróleo, y que ningún crecimiento en el consumo de recursos no renovables puede sostenerse por siempre. El planeta encara ya el pico en la producción de petróleo predicho por King Hubbert hace algunos lustros; al incrementarse la demanda y disminuir la oferta, su precio se volverá a disparar, a pesar de forzar la extracción en los países productores, de la especulación que se realice, de los despojos y guerras que se hagan, y aún de continuar la recesión económica mundial.
3. El problema ambiental. El actual sistema energético basado en combustibles fósiles ha ocasionado graves trastornos ambientales y sociales, entre ellos el calentamiento atmosférico y las alteraciones climáticas, el envenenamiento del aire, el agua y el suelo por diversos contaminantes, guerras genocidas por el control del petróleo, justificadas por armas de destrucción masiva o cualquier otro pretexto, derrames de crudo en los océanos, fugas enormes –no reportadas– en depósitos y embarcaciones que transportan gas natural (que está compuesto mayoritariamente de metano, un gas 25 veces más efectivo que el CO<sub>2</sub> en el efecto de invernadero) y explosiones en gasoductos. Por ello, que nadie se extrañe de inundaciones catastróficas, huracanes cada vez más intensos, ondas de calor mortíferas –sobre todo para los ancianos y niños– y el retorno de enfermedades que se creían erradicadas.
4. El mito nuclear. Algunas voces invocan a la energía nuclear como parte de la solución al problema energético y ambiental. Sin embargo, las reservas de uranio y torio son muy pequeñas comparadas con las de gas natural o carbón, que, a su vez, son insignificantes comparadas con el recurso solar. Entonces, como recurso energético, es el más pobre de todos. Además, la minería, el procesamiento, el consumo y la disposición del uranio conllevan gravísimos

problemas ambientales no resueltos. Existen cerca de 440 plantas nucleares en operación, con incidentes y accidentes graves, como el de la planta sueca de Forsmark, el 25 de junio de 2006, o el de la planta japonesa Kashiwazaki-Kariwa (la más grande del mundo para generación eléctrica) que, un año después, el 16 de julio de 2007, en un movimiento telúrico dañó el reactor nuclear y liberó al ambiente material radiactivo. La planta tuvo que cerrarse por más de 21 meses. Ni que decir de la catástrofe de Chernobil, cuyas consecuencias afectaron incluso a millones de mexicanos que consumieron leche radiactiva proveniente de zonas afectadas, o la más reciente de Fukushima, de consecuencias funestas para el pueblo japonés y toda la humanidad. La tecnología nuclear es costosísima y no está al alcance de los países en desarrollo. La construcción de plantas nucleares es lenta –no menos de cinco años–; éstas podrían ser el blanco de ataques terroristas y son plantas supercentralizadas cuya energía sólo sirve a megaconsumidores. En resumen, la energía nuclear es carísima, inaceptablemente riesgosa, insuficiente para reducir los niveles de emisión de gases de invernadero y suministrar energía en el largo plazo, y ocasiona absoluta dependencia tecnológica, energética y gastos militares; es, pues, la peor opción energética.

5. La dependencia tecnológica. Además de la capacidad de generación de energía eléctrica y térmica, el desarrollo socioeconómico y el bienestar de la población de un país y su independencia política y económica están correlacionados con su avance tecnológico. Puede verse una clara diferenciación entre *países avanzados*, que son finalmente países que desarrollan tecnología, y los *países subdesarrollados*, que son, cuando bien les va, exportadores de materias primas y agrícolas (petróleo, gas, cobre, plata y plátanos), e importadores de tecnologías desarrolladas. El desarrollo de sistemas para el aprovechamiento de las fuentes energéticas locales constituye una enorme oportunidad para un avance científico y tecnológico, y para salir del atraso y la miseria. No bastará con emplear las fuentes renovables de energía; se requiere además desarrollar tecnología propia para poder hacer un aprovechamiento sustentable de éstas y mejorar la calidad de vida de toda la población, vía empleos permanentes bien remunerados para ingenieros, operarios, trabajadores y una amplísima gama de profesionales y trabajadores.

Esto es así porque existen diferencias muy grandes en la forma en que se presentan los recursos renovables en cada parte del mundo. Por ejemplo, México recibe una irradiación solar (energía solar por metro cuadrado de territorio) dos veces superior que Alemania o Austria, por ejemplo. El territorio austriaco es casi 25 veces más pequeño que el mexicano (1.967.183 km<sup>2</sup> contra 83.858 km<sup>2</sup>), de modo que el recurso solar es casi 50 veces superior en México que en Austria. Sin embargo, Austria tiene instalados por cada habitante 300 watts térmicos en calentadores solares de agua, mientras que México sólo tiene 6 watts térmicos, es decir, 50 veces menos. ¡Con un recurso 50 veces mayor tenemos un índice de aprovechamiento 50 veces menor! A pesar de que las condiciones climáticas permiten desarrollar calentadores solares igual de efectivos aquí en México, pero a una fracción del costo de los calentadores solares austriacos. Hay que revertir esas cifras y las oportunidades son enormes, pero si se opta por importar los sistemas y no por desarrollar tecnología propia, en lugar de beneficiarnos nos volveremos más dependientes y pobres.

En recursos eólicos la situación es más dramática; la potencia que puede proporcionar un aerogenerador dotado de una turbina de un determinado tamaño, es proporcional al cubo de la velocidad del viento. De modo que en una zona como el Istmo de Tehuantepec, en donde la velocidad media del viento es del doble del de una buena zona europea, ¡la potencia que podría obtenerse es ocho veces mayor! Para aprovechar de la mejor manera posible el recurso

eólico de La Ventosa, en Oaxaca, La Rumorosa, en Baja California, La Virgen, en Zacatecas, etc., deberían diseñarse los aerogeneradores para operar ventajosamente a las velocidades de viento de cada sitio. Importar aerogeneradores diseñados para velocidades de viento menores implica, además del riesgo de que no resistan ráfagas intensas, un aprovechamiento menos eficiente y otra oportunidad desperdiciada para desarrollar tecnología propia. Estos argumentos son extensibles a la geotermia y las demás fuentes renovables de energía.

6. La inequidad social. La energía, al igual que el ingreso, está muy mal distribuida. Al tiempo que existe un puñado de multimillonarios y megaconsumidores de energía, dos mil millones de personas están en la miseria alimenticia, energética, educativa y demás. En México, alrededor de seis millones de paisanos no disponen de energía eléctrica por habitar lejos de las grandes líneas de distribución. No es técnica ni económicamente viable el suministrarles el servicio de energía eléctrica por medios convencionales, ya que se requeriría de transformadores, líneas de transmisión, subestaciones y demás aditamentos para comunidades muy dispersas, con costes de decenas de miles de pesos por vivienda. No hay recursos suficientes para esta opción. Sin embargo, el empleo de sistemas basados en fuentes renovables, por ejemplo módulos fotovoltaicos y pequeños aerogeneradores, sí es una opción factible para la electrificación de comunidades alejadas de las líneas de transmisión.

Al no contar con energéticos para vivir y mejorar su calidad de vida y trabajo, millones de habitantes de zonas marginadas migran hacia las ciudades —e incluso a otros países— buscando subsistir, abandonando sus tierras de cultivo, creando en las ciudades cinturones de miseria y agudizando los problemas urbanos. Paradójicamente, en los países ricos, cada vez más personas pudientes van a vivir cómodamente a regiones rurales, proveyéndose de pequeños sistemas basados en energía solar, viento y alguna otra fuente renovable para alimentar con éstos sus computadoras, refrigeradores, televisores, luminarias y demás. Un hipotético *desarrollo sustentable* requiere acabar con la inequidad, la marginación y la miseria.

#### GENERACIÓN DE EMPLEOS APROVECHANDO LAS FUENTES RENOVABLES

La nueva industria de las energías renovables genera muchos más empleos que la obsoleta tecnología del petróleo o la nuclear. En el muy reciente informe intitulado *Energy [r]evolution. A sustainable world energy outlook, 3rd edition 2010 world energy scenario*, elaborado por el Consejo Europeo para las Energías Renovables (EREC, por sus siglas en inglés) y Greenpeace (2010), se señala que el empleo en el sector de energías renovables puede proporcionar 12.5 millones de puestos de trabajo para el año 2015, más otros 6 millones de empleos nuevos para el año 2020. Los sistemas energéticos basados en fuentes renovables conllevan muchos más empleos permanentes y bien remunerados que aquellos basados en combustibles fósiles o nucleares. Este es un punto que no podrá perderse de vista en un mundo con escasez de empleos.

#### NUEVAS INSTALACIONES SOLARES Y EÓLICAS

En tanto la industrias petrolera y nuclear, en vías de obsolescencia y responsables del deterioro mundial, van en declive, la industria eólica ha crecido a tasas cercanas a 30% anual. Al final

del año 2010, en el que se instalaron más de 37 mil MW eléctricos, se tenían poco más de 196 mil MW eléctricos de capacidad instalada en más de 80 países. Aunque ahora apenas genera 2% de la producción mundial de energía eléctrica, la capacidad instalada se ha decuplicado en los últimos ocho años. ¡El crecimiento en la capacidad eoloeleéctrica instalada sí es de tipo exponencial! Ahora se espera tener más de 1500 MW instalados para fines de 2020. Los países con mayor capacidad instalada son China, con 45 mil MW, Estados Unidos, con más de 40 mil MW, Alemania, con más de 27 mil MW, y España, con más de 21 mil MW. Puede pronosticarse que la capacidad eólica alcanzará a la hidroeléctrica alrededor del año 2018, es decir, en esta misma década (Rincón, 2010, marzo-abril).

Si Alemania, con un territorio cinco veces menor que el de México, con sólo 1000 km de costas, contra más de 11 mil de México, sin zonas como La Ventosa, La Rumorosa, y muchas otras, ya ha instalado más de 27 mil MW eoloeleéctricos, México, en menos de 15 años, podría instalar más de 60 mil MW, empleando una gran componente tecnológica nacional, si hubiese la visión y la voluntad política de hacerlo. Esto sería mucho más que la capacidad actual instalada, de unos 56 mil MW, que incluye las termoeléctricas, hidroeléctricas, geotérmicas y nucleoeleéctricas. La industria eólica está llamada a superar a la industria automotriz en el mediano plazo. Por su parte, la industria fotovoltaica duplica su tamaño en periodos menores a dos años. La capacidad instalada fotovoltaica conectada a la red creció 74% durante 2008. Ninguna industria ha crecido tanto en tan poco tiempo, ni la telefonía celular ni los equipos de cómputo ni el resto de la industria electrónica.

Quizás, la tecnología más prometedora sea la generadora de electricidad vía ciclos termodinámicos, que emplea luz solar concentrada con espejos. En junio de 2007 fue concluida la planta solar Nevada Solar One con 184 mil espejos parabólicos, que llega a generar 75 MW con 64 MW de capacidad nominal y cubre una superficie de 121 hectáreas. Esta planta solar está ubicada cerca de Boulder City, Nevada, y evita la emisión de 130 mil toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Asimismo, con 300 MW de potencia, el complejo solar de Sanlúcar, en Andalucía, España, producirá energía eléctrica suficiente para abastecer a 180 mil hogares, tantos como los que existen actualmente en Sevilla. Su primera planta se inauguró el 30 de marzo de 2007. El complejo evitará la emisión de 600 mil toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. Si bien, en 2008, no se puso en operación ninguna nueva planta, tan sólo en España hay más de 50 plantas termosolares en proyecto, en construcción o ya en operación (Greenpeace Internacional, SolarPACES & ESTELA, 2009), por lo que su tasa de crecimiento será espectacular en el corto plazo.

#### OTRAS TECNOLOGÍAS PARA APROVECHAR LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

La transición energética hacia un sistema mundial basado en las fuentes renovables de energía (FRE) requerirá de la aplicación sinérgica de todas las fuentes renovables disponibles en cada región. Con esto se soslayará la principal limitación de la energía solar y eólica, que es su intermitencia, y se garantizará la capacidad firme sin necesidad de grandes sistemas de almacenamiento. Además de la solar y la eólica, la energía geotérmica, incluyendo la microgeotérmica con bombas de calor, que hace del suelo una fuente de calor en el invierno y un sumidero en el verano, es un recurso energético principal para 58 países y 39 de ellos podrían ser 100% energizados. México

está particularmente bien dotado de recursos geotérmicos y cuenta ya con una considerable experiencia en su aprovechamiento, cual debería incrementarse para incluir aplicaciones de baja y mediana temperatura, además de la generación eléctrica.

Por su parte, el potencial mundial de la bioenergía para el año 2050 podría igualarse al consumo mundial de energía actual. Sin embargo, no es sustentable establecer sembradíos energéticos en detrimento de los alimenticios, como se ha hecho con el bioetanol a partir de maíz o el biodiesel a partir de aceite de palma proveniente de grandes plantaciones. La generación de biogás con residuos orgánicos y excremento de animales sigue siendo la opción más sustentable.

#### TECNOLOGÍAS SOLARES DE CERO EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Finalmente, para que una tecnología, solar o no, conlleve cero emisiones de carbono, toda la energía empleada en su manufactura, transporte, instalación, desmantelamiento y reciclado de sus materiales debería provenir de sistemas cuya operación fuese hecha con energía proveniente de fuentes limpias. Actualmente, para fabricar, por ejemplo, un módulo fotovoltaico de silicio monocristalino, se requiere de mucha energía para fundir y extrapurarificar el silicio, formar lingotes, cortarlos, doparlos y demás procesos requeridos antes de que el módulo fotovoltaico comience a convertir la energía radiante en eléctrica. Aunque al final de su vida útil haya generado mucho más energía de la consumida en su desarrollo (del orden de 30 veces más), mientras se continúen fabricando con combustibles fósiles, la energía eléctrica proveniente de los módulos fotovoltaicos no estará exenta de emisiones de GEI. Lo mismo puede decirse de todas las demás tecnologías para aprovechar las fuentes renovables.

#### CONCLUSIONES

1. El mundo está inmerso en una inminente transición energética hacia un sistema mundial basado en las fuentes renovables, en el que la eólica será dominante en el corto plazo y la solar en el mediano y largo plazo, pero para ello se requerirá del aprovechamiento sinérgico de todas las fuentes renovables disponibles.
2. El desarrollo y uso de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía constituye una gran oportunidad para un nuevo desarrollo empresarial y de negocios en nuestro país, además de generar una importante fuente de empleos y de avance tecnológico.
3. Los sistemas para aprovechar las FRE en general, en especial la eólica y la solar, son sumamente rentables, lo que se manifiesta en las enormes tasas de crecimiento anual de sus mercados.
4. El aprovechamiento de las fuentes limpias de energía con las tecnologías actualmente disponibles puede ayudar a satisfacer, en gran medida, la demanda creciente de energía eléctrica y térmica sin impactar negativamente al ambiente.
5. Solamente el uso de las energías renovables puede garantizar un desarrollo sustentable para México, pero es importante el desarrollo de tecnologías más económicas para garantizar su uso masivo y reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Consejo Europeo para las Energías Renovables & Greenpeace. (2010). *Energy [r]evolution. A sustainable world energy outlook* (3a. ed. 2010 world energy scenario). Recuperado el 10 de enero de 2011, de <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2010/fullreport.pdf>
- Greenpeace International, SolarPACES & ESTELA. (2009). *Global concentrating solar power, outlook 09*. Brussels. Recuperado el 11 de mayo de 2011, de [www.greenpeace.org/raw/content/.../concentrating-solar-power-2009.pdf](http://www.greenpeace.org/raw/content/.../concentrating-solar-power-2009.pdf)
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Beerling, D., Masson-Delmotte, V., Pagani, M., et al. (2008). Target atmospheric CO<sub>2</sub>: Where should humanity aim? *The Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217-231. Recuperado el 5 de julio de 2011, de [www.columbia.edu/~jeh1/2008/TargetCO2\\_20080407.pdf](http://www.columbia.edu/~jeh1/2008/TargetCO2_20080407.pdf)
- Hubbert, M. K. (1956). *Nuclear energy and the fossil fuels*. Houston, Texas: Shell Development Company, Exploration and Production Research Division. Recuperado el 4 de marzo de 2011, de <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>
- Keeling, C. D., Bacastow, R. B., Bainbridge, A. E., Ekdahl, C. A., Guenther P. R. & Waterman, L. S. (1976, diciembre). Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Tellus*, 28(6), 538-551.
- Rincón, E. (2010). Combining solar and wind in sustainable energy systems. *Wind energy international 2009/201.*, WWEA, 383-385. Recuperado el 7 de julio de 2011, [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf)
- Rincón, E. (2010, marzo-abril). La inminente transición hacia fuentes renovables. *Energía a Debate*, 37, 42-46.
- Rincón, E. (en prensa). Tecnologías solares de cero emisiones de carbono. *Memoria del Simposio Contaminación Atmosférica y Tecnologías de Cero Emisiones de Carbono*.
- Ruiz, V. (2009). *La electricidad solar térmica, tan lejos, tan cerca*, Sevilla: Junta de Andalucía, Fundación Gas Natural.
- Tans, P. (2011). Recent Mauna Loa CO<sub>2</sub>. NOAA/ESRL. Recuperado el 10 de julio de 2011, de [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)