



**Ródney Peñafiel**

Director Académico Maestría en Desarrollo Energético  
Sustentable Universidad San Francisco de Quito –  
Universidad de Calgary (Canadá)

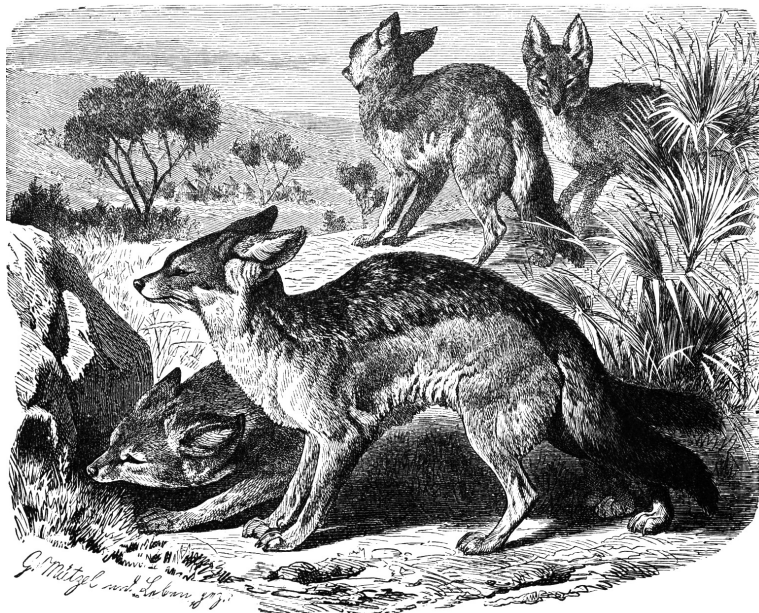
rpeñafiel@usfq.edu.ec

# Es el Desarrollo Sustentable una Utopía

## CONSIDERACIONES DE LOS LÍMITES ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES AL CRECIMIENTO

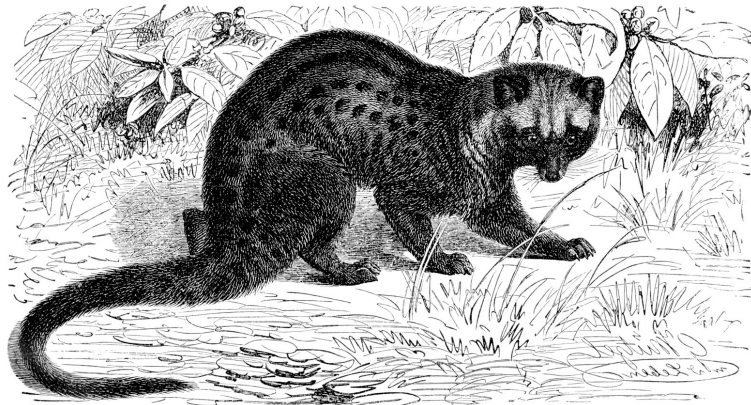
El presente artículo discute el concepto del Desarrollo Energético Sustentable en términos de limitaciones energéticas y ambientales al crecimiento de la población humana. Inicialmente se presenta un análisis de la influencia del acceso a recursos energéticos en el crecimiento poblacional. A continuación se describen las restricciones a la disponibilidad de energía y su efecto sobre la sostenibilidad\*. Finalmente se trata sobre la problemática ambiental, en particular en términos de contaminación generada en la producción de energía y los límites ambientales al crecimiento.

\* Para este documento los términos sostenible y sustentable se consideran idénticos.



## El crecimiento de la población mundial: la explosión demográfica

Ya en 1968 Garrett Hardin en su artículo *The Tragedy of the Commons* para la revista *Science* discutió sobre las limitaciones del crecimiento poblacional en un planeta de recursos finitos, destacando que este no es un problema con soluciones tecnológicas (o no únicamente) sino que conlleva implicaciones de tipo moral (conciencia ambiental). Según la División de Población de las Naciones Unidas, la población mundial se mantuvo prácticamente invariable entre el año 0 y el año 1000 en una cifra alrededor de 300 millones de habitantes, entre el año 1000 y 1600 la población mundial aumentó a aproximadamente a 600 millones. Se requirieron otros 250 años más para llegar a una cifra cercana a 1200 millones en el año 1850. El tiempo de duplicación de la población disminuyó a 100 años hacia 1950 con cerca de 2400 millones de habitantes, luego a alrededor de 34 años con 4800 millones de habitantes en 1984. En 1999 se superó la cifra de 6000 millones de habitantes y hacia el año 2010 la población mundial se acercaría a los 6800 millones. Se espera una considerable desaceleración del crecimiento poblacional, llegando sin embargo a los cerca de 9000 millones para el año 2050 y una estabilización en cerca de 10 000 millones hacia el año 2150.



## El consumo de energía del mundo: los combustibles fósiles

Según la Agencia Internacional de Energía<sup>1</sup>, el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) en el año 1980 fue de 85% del consumo mundial de energía primaria, sorprendentemente treinta años después este patrón de consumo no ha variado sustancialmente, así pues durante el 2010 los fósiles corresponden al 81% del total de la energía primaria consumida globalmente. Sin embargo el consumo total de energía primaria aumentó en un 66% durante el mismo período correspondiendo a un incremento de 12% en el consumo de energía primaria por habitante.

La energía como recurso cumple tres funciones principales para el ser humano<sup>2</sup>: 1) La necesidad biológica (requerimiento metabólico) que en una persona adulta es de aproximadamente 2500 a 3000 kilocalorías diarias; 2) La utilización de energía para tener acceso a las fuentes de recursos y para poder cambiar nuestro entorno (recursos culturales); 3) Uso de recursos energéticos con fines culturales, científicos, de recreación y esparcimiento.

---

<sup>1</sup> Energy Information Agency, World Energy Outlook 2009.

<sup>2</sup> Información adaptada de Ian G. Simmons (1993): *Ressourcen und Umweltmanagement. Eine Einführung für Geo- Umwelt und Wirtschaftswissenschaftler*; Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg.

Fanchi (2004) relaciona el índice de Desarrollo Humano (HDI) con el consumo de energía anual per capita, y se puede observar que el HDI aumenta linealmente con el consumo energético hasta cerca de 50 GJ/año. Por otro lado se observa que a valores superiores a 200 GJ/año el HDI no aumenta perceptiblemente, evidenciando el hecho que los recursos energéticos pueden ser desperdiciados sin contribuir al desarrollo.

#### LA ENERGÍA CUMPLE TRES FUNCIONES:

- \* biológica
- \* para acceder a fuentes de recursos y cambiar el entorno
- \* fines culturales, científicos o de esparcimiento

Fanchi (2004)<sup>3</sup> relaciona el Índice de Desarrollo Humano (HDI)<sup>4</sup> con el consumo de energía anual per capita, y se puede observar que el HDI aumenta linealmente con el consumo energético hasta cerca de 50 GJ/año. Es claro de eso que el consumo energético viabiliza el desarrollo humano y puede explicar el explosivo crecimiento demográfico durante los últimos 200 años como una consecuencia de la disponibilidad a una gran cantidad de energía proveniente de los combustibles fósiles. Por otro lado se observa que a valores superiores a 200 GJ/año el HDI no aumenta perceptiblemente, evidenciando el hecho que los recursos energéticos pueden ser desperdiciados sin contribuir al desarrollo.

#### Hacia una sociedad sin gasolina: El Peak Oil

En 1956 el Dr. M. Hubbert predijo que la máxima producción de petróleo en EE.UU. ocurriría en 1970, lo cual efectivamente aconteció. Esto dio una gran relevancia al término del *Peak Oil*, que se refiere al hecho físico que el petróleo es un recurso natural finito, que su consumo genera agotamiento y a que para cada pozo existe una tasa de producción máxima después de la cual esta siempre disminuirá. La discusión del *Peak Oil* va más allá de considerar pozos individuales y se extrapola a nivel global, siendo la tasa de producción global máxima una que estaría por ocurrir en un futuro cercano. Collin Campbell, fundador de la Asociación para el Estudio del *Peak Oil y Gas* ASPO<sup>5</sup>, menciona que si bien existen varios pronósticos para la fecha cuando ocurrirá el *Peak Oil* lo realmente fundamental es el hecho que durante el presente siglo el petróleo se agotará y que el ser humano deberá enfrentar el inmenso reto de reemplazar la principal fuente de energía que viabilizó el desarrollo de la actual sociedad.

<sup>3</sup> Fanchi (2004), *Energy: Technology and Directions for the Future*, Elsevier Academic Press.

<sup>4</sup> El HDI es un índice desarrollado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y que indica la calidad de vida humana de las naciones como una función de la expectativa de vida, el grado de educación y el producto interno bruto per cápita.

<sup>5</sup> Ver [www.peakoil.net](http://www.peakoil.net).



La salvación, las energías renovables: ¿es realmente suficiente?

Los combustibles fósiles se originaron a partir de materia orgánica acumulada hace cientos de millones de años<sup>6</sup>, representa energía almacenada por el planeta tierra durante un período muy extenso y concentrada en un material intensamente energético. De allí que su uso como recurso energético ha sido sumamente exitoso, viabilizando el desarrollo de la tecnología, la agricultura intensiva, la construcción de ciudades, es decir viabilizó a la sociedad humana en su estado actual de modernidad.

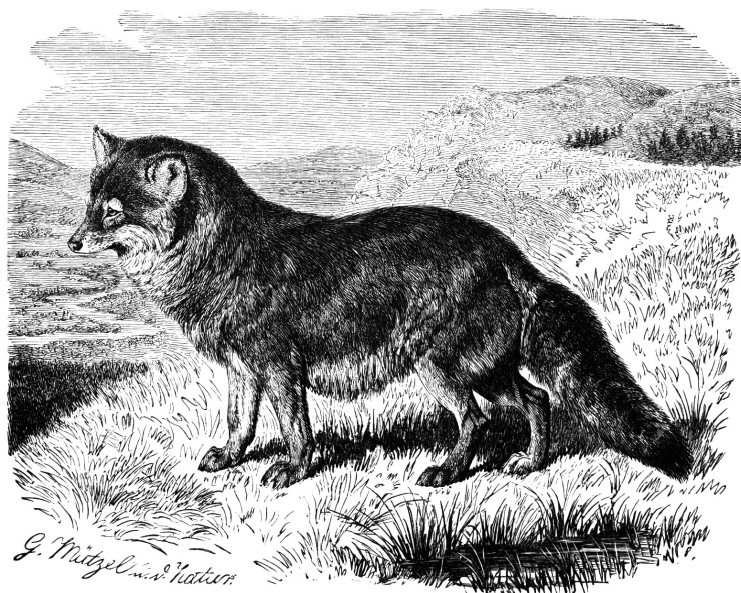
A pesar que las energías renovables son el evidente reemplazo de los combustibles fósiles, las diferentes fuentes de recursos renovables se han desarrollado lentamente en comparación con el dominio actual de los recursos fósiles. Según la Agencia Internacional de Energía de EE.UU. en los últimos 24 años el porcentaje del consumo global de energía primaria correspondiente a energías renovables es apenas del 13% y prácticamente no ha variado durante este período a pesar de la cada vez mayor conciencia ambiental y certeza del agotamiento de los recursos fósiles.

Esto puede entenderse por un lado al hecho de la gran concentración de energía en los combustibles fósiles y su gran versatilidad de uso. La gran mayoría de recursos energéticos renovables se derivan de la energía solar. La potencia que se puede recuperar de sistemas energéticos en base de energía solar está limitada por la energía irradiada por el sol, por ejemplo para el caso de un país como el Ecuador puede ser alrededor de  $213 \text{ W/m}^2$  (promedio diario)<sup>7</sup>, si se considera la eficiencia de sistemas fotovoltaicos actuales de alrededor del 15%, esto generaría una potencia de alrededor de  $32 \text{ W/m}^2$ , si comparamos la potencia generada por un motor de un vehículo particular de unos 100 kW, se obtiene que para generar una potencia equivalente a partir de sistemas fotovoltaicos se requeriría un área sobre los  $3000 \text{ m}^2$ .

Por otro lado, se debe considerar la cantidad de energía recuperada por cada unidad de energía invertida en el sistema energético. Así pues para el petróleo, I.G. Simmons<sup>8</sup> indica que la ganancia de energía es de 23,0 mientras que para la obtención de etanol a partir de residuos vegetales se obtiene una ganancia de apenas 2,6.

Estos ejemplos evidencian el hecho de que las energías renovables se encuentran por lo general diluidas en el medio ambiente, y que se requiere de un considerable gasto energético para recuperarlas, concentrarlas y almacenarlas

La potencia que se puede recuperar de sistemas energéticos en base de energía solar está limitada por la energía irradiada por el sol. También hay que considerar la cantidad de energía recuperada por cada unidad de energía invertida en el sistema energético. Así pues para el petróleo, I.G. Simmons indica que la ganancia de energía es de 23,0 mientras que para la obtención de etanol a partir de residuos vegetales se obtiene una ganancia de apenas 2,6. Todo esto evidencia el hecho de que las energías renovables se encuentran por lo general diluidas en el medio ambiente, y que se requiere de un considerable gasto energético para recuperarlas, concentrarlas y almacenarlas con el fin de un uso equivalente al de combustibles fósiles.



6 Spiro Th., Stigliani W. (2003): Chemistry of the environment, Prentice Hall Inc., 2da Ed.

7 Henry y Heinke (1999): Ingeniería Ambiental; PEARSON Prentice Hall

8 Ian G. Simmons (1993): Ressourcen und Umweltmanagement, Eine Einführung für Geo- Umwelt und Wirtschaftswissenschaftler; Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg

Un análisis de la evaluación de la huella ecológica para el planeta Tierra elaborada por Global Footprint Network indica que en el año 1986 la demanda de recursos sobrepasó la biocapacidad del planeta Tierra, evidenciando que el manejo de recursos naturales es de forma global altamente insostenible. Esto significa que el actual estado de bienestar de la sociedad humana se fundamenta en la explotación y agotamiento de recursos naturales, en especial recursos energéticos no renovables.

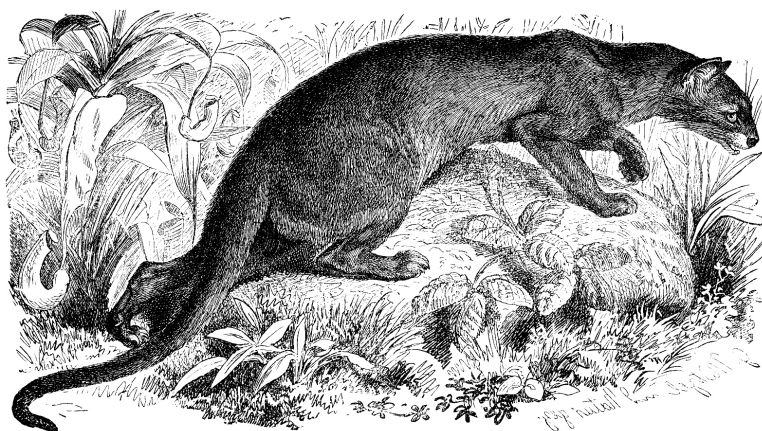
con el fin de un uso equivalente al de combustibles fósiles. En principio el origen último de los combustibles fósiles es también solar (energía solar almacenada en forma de biomasa) sin embargo este proceso ocurrió hace cientos de millones de años, mientras que en el caso de las energías renovables la energía se consume al mismo tiempo que se recolecta, no existe proceso geológico de almacenamiento de energía. El reemplazo de los combustibles fósiles por energías renovables está limitado por la habilidad tecnológica de la sociedad humana para coleccionar, almacenar, transportar energía renovable primaria (principalmente energía solar) de una manera eficiente, de tal manera que la ganancia de energía sea la máxima posible. Cabe sin embargo anotar que la cantidad de energía renovable disponible para ser usada en sistemas humanos es limitada y por lo tanto no puede de ninguna manera sostener un crecimiento poblacional ilimitado. Mientras más rápido se establezca la población mundial, mejores oportunidades se generarán para ajustar los sistemas energéticos para la transición hacia las renovables.

## Contaminación Ambiental del Desarrollo Energético: el impacto de los fósiles

Con la utilización de combustibles fósiles obtuvo la sociedad un gran excedente en energía la cual aumentó considerablemente su capacidad de influir sobre el ambiente. Los inmensos excesos de energía provenientes de la explotación del carbón, petróleo y gas natural facilitó la obtención de gran cantidad de recursos antes inaccesibles, con lo cual la influencia de la sociedad sobre la naturaleza se amplió sustancialmente<sup>9</sup>.

Una de las principales preocupaciones ambientales respecto a la generación de energía a partir de combustibles fósiles, en particular durante la extracción de petróleo, constituyen los derrames y fugas que pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas así como agua del mar<sup>10</sup>. Resulta emblemático el reciente desastre ambiental generado por el inmenso derrame de petróleo ocurrido en el Golfo de México. Otro problema es el inmenso impacto ambiental consecuencia de la construcción de oleoductos, construcción de vías, deforestación, colonización de las zonas aledañas y sus correspondientes conflictos sociales<sup>11</sup>.

La refinación de petróleo también puede contaminar el ambiente, especialmente el aire (debido a la emisión de compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas, cenizas, compuestos orgánicos volátiles, etc.) y el



<sup>9</sup> Ian G. Simmons (1993): Ressourcen und Umweltmanagement, Eine Einführung für Geo- Umwelt und Wirtschaftswissenschaftler; Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg

<sup>10</sup> Rebhan E., (2002): *Energiehandbuch*, Springer

<sup>11</sup> John Reis (1996): Environmental Control in Petroleum Industry, Gulf Publishing Company

agua residual de una refinería puede contener contaminantes como hidrocarburos, amoníaco, fenoles, etc.<sup>12</sup> Se debe por otro lado considerar que muchas regiones de extracción y transporte de petróleo son asimismo lugares de gran biodiversidad y de delicados ecosistemas (región amazónica, costas, etc.). Medidas extremas de cuidado ambiental, prevención de la contaminación y remediación deben ser tomadas en cuenta para la explotación petrolera en estos lugares.

Con la quema de combustibles fósiles para la generación de energía se liberan un sinnúmero de contaminantes, la mayoría de los cuales son emitidos a la atmósfera. Los más importantes son: CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos volátiles, metales y partículas sólidas (como humo y cenizas)<sup>13</sup>. La cantidad particular de contaminantes que se emiten al medio ambiente depende del tipo de combustible, de la temperatura de quemado, del proceso de quemado en sí y de todos los dispositivos de prevención de contaminación. Por ejemplo, el gas natural tiene en comparación con el resto de combustibles, un contenido relativamente bajo de azufre, mientras que el petróleo y el carbón tienen un contenido de azufre de hasta el 4%.

El destino de estos contaminantes en la atmósfera es variado. El CO se transforma en CO<sub>2</sub>, mientras que los SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y compuestos orgánicos volátiles son transportados a grandes distancias de su lugar de origen. Esto hace que el problema de la contaminación atmosférica adquiera un carácter global. Estas sustancias se pueden combinar con el agua de la atmósfera produciendo así la denominada lluvia ácida<sup>14</sup>.

Por otro lado las reacciones de los óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, con compuestos orgánicos generan bajo la acción de la luz solar el llamado smog fotoquímico. Este contiene entre otros contaminantes el ozono (O<sub>3</sub>) y oxidantes fotoquímicos. Como efecto del smog fotoquímico se forma una nube opaca sobre la ciudad, que puede disminuir la intensidad de la luz solar hasta un 10% de su valor original<sup>15</sup>. El smog fotoquímico se puede esparcir varios cientos de kilómetros de la ciudad de donde se originan. Así pues sus efectos, enfermedades bronquiales y respiratorias pueden ser regionales. Los efectos sobre bosques son asimismo graves, y los componentes del smog fotoquímico pueden dañar las hojas de los árboles y hacerlos más sensibles al ataque de enfermedades.

## La huella ecológica: los límites del planeta Tierra

La huella ecológica es una medida de la cantidad de Tierra y agua natural que se requiere para suministrar suficientes recursos energéticos, alimenticios, naturales, de agua y capacidad de asimilación de residuos de una manera sostenible, de tal manera que los sistemas naturales no se vean sensiblemente afectados y se puedan mantener con el tiempo<sup>16</sup>. Un análisis de la evaluación de la huella ecológica para el planeta Tierra elaborada por *Global Footprint Network* indica que en el año 1986 la demanda de recursos sobrepasó la biocapacidad del planeta Tierra, evidenciando que el manejo de recursos naturales es de forma global altamente insostenible. Esto significa que el actual estado de bienestar de la sociedad humana se fundamenta en la explotación y agotamiento de recursos naturales, en especial recursos energéticos no renovables. Según este análisis se puede concluir de los límites ambientales del planeta Tierra para mantener una sociedad humana de una manera sostenible se han sobrepasado y que aún en la población actual es muy grande para poder ser mantenida con los recursos naturales del planeta sosteniblemente.

## Conclusiones finales: encaminándonos hacia la utopía

1. Reconocer que el primer límite del planeta Tierra es el límite energético: sin energía no hay desarrollo
2. Usar los recursos no renovables (escasos) a un paso razonable tal que permita reemplazarlos más adelante por recursos renovables
3. Usar recursos renovables de tal manera que estos logren regenerarse en la naturaleza: no abusar del ambiente
4. No emitir contaminantes al ambiente más rápidamente de lo que este los pueda asimilar
5. La sostenibilidad energética y sus impactos ambientales son y serán temas de fundamental importancia para las presentes y futuras generaciones.

12 Wong y Hung (2006): Treatment of Oil Field and Refinery Wastes, in Waste Treatment in Process Industries Chp. 6., CRC Press

13 Spiro Th., Stigliani W. (2003): Chemistry of the environment, Prentice Hall Inc., 2da Ed.

14 Henry y Heinke (1999): Ingeniería Ambiental; PEARSON Prentice Hall

15 Wark K. y Warner C., Davis W. (1997): Air Pollution: Its Origin and Control, Prentice Hall

16 Ver: [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org)