

La situación energética mundial (con números)

Bruce Hoeneisen

Universidad San Francisco de Quito
14 de Noviembre 2006

1 Introducción

El siglo XXI es el período de transición que divide en dos la historia de la humanidad. Por un lado tenemos el crecimiento de población y consumo sin sentir los límites del planeta Tierra. Por el otro lado saturamos la capacidad de sustentación del planeta.

En esta charla describo la situación energética mundial. Primero presento los datos, y luego mis conclusiones personales. Ustedes podrán llegar a conclusiones diferentes a las mías, siempre y cuando se sujeten a los datos numéricos.

Di por primera vez esta conferencia en 1978 en la Escuela Politécnica Nacional. Revisando los datos que presenté entonces, encuentro que no necesitan revisión alguna. La incertidumbre en algunos de los datos no se debe a nuestro desconocimiento de los recursos del planeta, sino a nuestro desconocimiento de las opciones que escoja la humanidad.

2 Datos

El consumo de energía por persona depende de su “estilo” de vida como se indica en la Tabla 1.¹ Notamos que en sociedades tecnológicas, cada persona consume 100 veces la energía que necesita como alimento.

¹Mediremos la energía en las siguientes unidades: $1 \text{ Q} \equiv 10^{18} \text{ Btu} = 3.3 \times 10^{10} \text{ KW} \times \text{año} = 3 \times 10^{14} \text{ kWh} = 1000 \text{ Quads}$. Esta es energía térmica. Energía térmica puede convertirse a energía eléctrica con un rendimiento de aproximadamente 30%. Mediremos el consumo de potencia en Q/año, o en $W = 21 \text{ kcal/día}$. Para referencia, el consumo mundial en 1998 fue de 0.38 Q/año. El alimento que necesita una persona es de $2500 \text{ kcal/día} = 121 \text{ W}$. Las plantas terrestres capturan, mediante fotosíntesis, aproximadamente 1 Q de energía solar al año.

Período	A	HC	IA	T	Total	Total *
Primitivo	2				2	0.026
Caza	3	2			5	0.064
Agrícola primitivo	4	4	4		12	0.154
Agrícola avanzado	6	12	7	1	26	0.334
Industrial	7	32	24	14	77	0.99
Tecnológico	10	66	91	63	230	2.95

Table 1: Consumo histórico de energía por persona (en 1000 kcal/día = 48 W). A Alimento, HC Hogar y Comercio, IA Industria y Agricultura, T Transporte. * Q/año para 9×10^9 habitantes. Como referencia, el consumo mundial en 1998 fue de 0.38 Q/año.

Fuente	%
Petróleo	40.0
Carbón	23.3
Gas	22.5
Hidroeléctrico	7.0
Biomasa y viento	0.7
Fisión nuclear	6.5

Table 2: Distribución del consumo en 1998. [2]

Como se observa en la Tabla 2, las principales fuentes de energía son petróleo, gas y carbón, con contribuciones de generación hidroeléctrica, biomasa y nuclear.

Las reservas energéticas recuperables no renovables, y el potencial de fuentes renovables se indican en la Tabla 3. Este cuadro supone que el recurso se utiliza unicamente como fuente de energía. Por ejemplo, el petróleo se utiliza para la fabricación de plásticos, fertilizantes y muchos otros productos petroquímicos. La fusión nuclear aun no se ha demostrado. La energía nuclear de fisión, especialmente de uranio no enriquecido (o “breeder reactor”), tiene gravísimos problemas de desechos radioactivos, accidentes nucleares, y proliferación de plutonio que se utiliza para construir bombas. La producción de 0.015 Q/año de biomasa corresponde a destinar aproximadamente 1/7 de toda la tierra arable a la producción de energía. Cualquier producción adicional de bio-energía se ha incluido en el rubro mas incierto de “energía” solar. La energía hidroeléctrica en 1977 fue de 0.012 Q. La energía proveniente de todos los recursos renovables que se indican en la Tabla

No renovable		Renovable	
Fosil		Biomasa	0.015 Q/a
petróleo,	4.2 Q	Hidroeléctrico	0.06 Q/a
carbón,	14.3 Q	Viento	0.03 Q/a
gas,	2.4 Q	Solar ?	0.075 Q/a
arenas bituminosas ?	19.1 Q		
Fisión nuclear		Fusión nuclear	?
enriquecido	12 Q		
no enriquecido ?	840 Q		
Geotérmico ?	56 Q		

Table 3: Fuentes de energía. [3] Algunos recursos son inciertos.

3 es aproximadamente igual a $1/5$ de la energía solar fijada por la fotosíntesis de las plantas terrestres. El potencial de energía solar indicado en la Tabla 3 (que incluye calentamiento solar, celdas solares y bio-tecnología avanzada) es difícilmente alcanzable en la práctica debido a la elevada inversión que requiere.

En la Tabla 4 se consideran varias alternativas de población y consumo. La alternativa *A* corresponde al consumo por persona promedio mundial pre-industrial (1850). La alternativa *B* corresponde al consumo por persona promedio mundial en 1977. Las alternativas *C*, *D* y *E* corresponden al consumo por persona promedio de USA en 1977, o sea a la sociedad tecnológica de la Tabla 1. Notamos que el consumo por persona en Ecuador es de 0.8 KW térmicos. Una vez más notamos que el consumo mundial en 1998 fue de 0.38 Q/año, lo que se sitúa entre las alternativas *B* y *C*.

En la última línea de la Tabla 4 se indica el tiempo hasta agotar todos los combustibles fósiles recuperables como única fuente de energía, incluyendo petróleo, gas, carbón y arenas bituminosas. Supone, en forma optimista, 48 Q de energía, o sea 20% de reservas nuevas. En la Tabla 4 observamos que no es posible que todos los habitantes actuales del planeta Tierra lleguen al nivel de consumo de energía de los países “desarrollados”.

En la Figura 1 se presenta la población, y los límites alimenticio y de energía renovable del planeta Tierra. [4] Observamos que la población fue de 6 mil millones en el año 2000, que crecerá hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 9 mil millones en el año 2050 (cerca del límite alimenticio del planeta), y que luego decrecerá. La distribución de población por edades se indica en la Figura 2. Notamos que los países ricos tienen una población estacionaria, que corresponde a una distribución de población independiente de la edad. En cambio, los países pobres tienen una población en que pre-

Alternativa	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Población (10^9)	4	4	4	8	12
C. por persona, MWh/año	2.9	17.6	97.5	97.5	97.5
Consumo por persona, KW	0.33	2	11	11	11
Consumo global, Q/año	0.04	0.24	1.33	2.66	4.0
Años hasta agotar	1200	200	36	18	12

Table 4: Alternativas de población y consumo de energía. También se indica el tiempo hasta agotar el petróleo, gas, carbón y arenas bituminosas usadas como única fuente de energía. [3] Como referencia, el consumo mundial en 1998 fue de 0.38 Q/año.

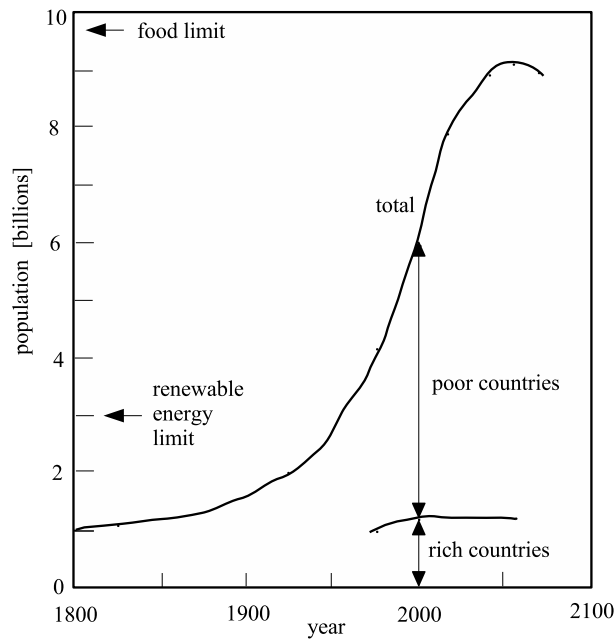


Figure 1: Población, y límites alimenticio y de energía renovable del planeta Tierra. Este límite energético supone un consumo de 2 KW térmicos por persona. [4]

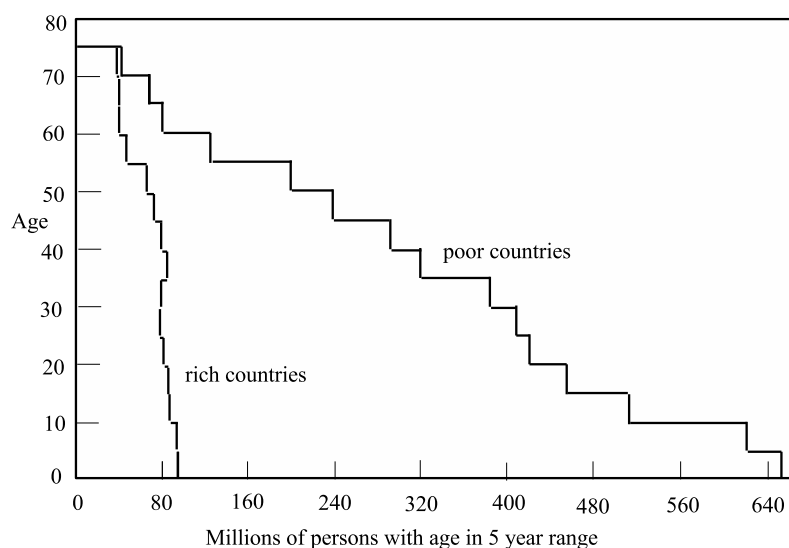


Figure 2: Distribución de población por edades en países ricos y pobres (extrapolado al año 2000).

dominan los jóvenes que entrarán a la edad fértil. Por lo tanto, la población de países pobres continuará creciendo como se indica en la Figura 1. La fertilidad (número de hijos por mujer) en países pobres ha descendido de 6.7 hasta 1965, a 2.8 en 1998. La Figure 1 supone que la fertilidad disminuirá a 1.8 en el año 2015.

La producción de petróleo, proyectada por M. King Hubbert en los años 1970, se indica en la Figura 3. Esta predicción es todavía válida hoy. Para quién no cree que se están agotando las reservas mundiales recuperables de petróleo basta dar estos datos: el número de barriles de petróleo obtenidos por pie de pozo perforado ha caído de 200 en 1920, a 20 en 1950, a 5 en 1977, y prácticamente a cero desde entonces, a pesar del avance de la tecnología.

Notamos en la Figure 3 que la oferta de petróleo comenzará a descender aproximadamente en el año 2010, y nunca más podrá satisfacer la demanda. Esto producirá, necesariamente y a corto plazo, un profundo cambio de estilo de vida de la humanidad.

Es importante entender las siguientes citas de M. King Hubbert: “So long as oil is used as a source of energy, when the energy cost of recovering a barrel of oil becomes greater than the energy content of the oil, production will cease no matter what the monetary price may be.” “Our ignorance is not so vast as our failure to use what we know.”

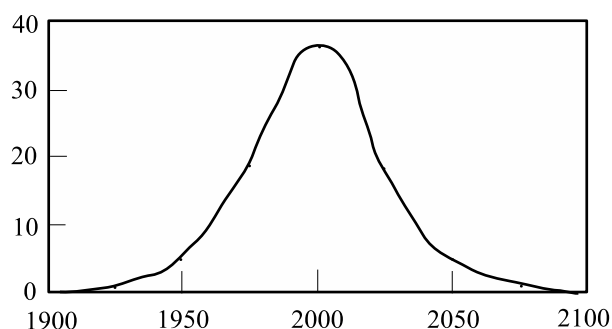


Figure 3: Producción de petróleo, proyectada por M. King Hubbert en los años 1970.

Alternativa	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Uranio 235	300	50	9	4.5	3
Uranio 238	21000	3500	630	315	210

Table 5: Tiempo hasta agotar uranio como única fuente de energía (años).

El tiempo para agotar el uranio y la energía geotérmica se indican en las Tablas 5 y 6.

En la Tabla 7 se indica la población sostenible con energía renovable. Notamos que en la alternativa *B* (o sea, al nivel de consumo de energía por persona promedio mundial de 2 KW) solo se puede sostener a una población de 3 mil millones (como se indica en la Figura 1). Notamos que al nivel de consumo del “primer mundo” todas las fuentes renovables (excluyendo la fusión nuclear) solo podrían sostener a una población de 540 millones.

La Tabla 8 ilustra lo difícil y caro que es cubrir las necesidades de energía con celdas solares. La insolación por metro cuadrado de panel solar fijo, promediado sobre 24 horas del día, latitud y clima, es 200 W. Suponemos un rendimiento total del panel mas fuente de poder de 10%. El precio al por mayor de un metro cuadrado de panel es de aproximadamente \$500. Notemos

Alternativa	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Años	1400	233	42	21	14

Table 6: Tiempo hasta agotar fuentes geotérmicas como única fuente de energía (años). [3]

Alternativa	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C, D, E</i>
Hidráulica	6.0	1.0	0.18
Biomasa	1.5	0.25	0.045
Viento	3.0	0.5	0.09
Solar ?	7.5	1.25	0.23
Total	18	3	0.54

Table 7: Población sostenible con energía renovable (en miles de millones). [3]

Alternativa	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C, D, E</i>
Consumo por persona (MWh/año)	2.9	17.6	97.5
Consumo por persona (KW)	0.33	2.0	11
Celdas solares por persona (m ²)	17	100	550

Table 8: Superficie de celdas solares fijas requerida por persona.

también que la energía necesaria para fabricar la celda se recupera en 5 a 10 años.

Algunas alternativas de población y consumo de la humanidad, después de agotar los combustibles fósiles a mediados del siglo XXII, se presentan en la Tabla 9. En su opinión, cual alternativa es mas probable? Cual es ideal? Como lograrlo?

Mencionemos algunos datos de la situación energética del Ecuador. [5] La población crecerá hasta un máximo de aproximadamente 22 millones en el 2060. El límite alimenticio es de aproximadamente 30 millones. El potencial hidroeléctrico es de aproximadamente 25500 MW pico y 8400 MW medio. Este potencial corresponde a un promedio de 380 W para cada una de las 22 millones de personas. La inversión requerida para alcanzar este potencial es de aproximadamente 38000 millones (utópico a corto plazo). Se requieren leyes para hacer atractiva la inversión del sector privado.

El potencial del recurso forestal del Ecuador es de 3 millones de hectáreas. Destinando la mitad de la producción de estas 3 millones de hectáreas a bio-energía, se obtendrían aproximadamente 140 W térmicos para cada una de las 22 millones de personas. La inversión correspondiente es de aproximadamente \$1050 millones (suponiendo un costo de plantación de bosque de \$700/hectárea \times 1.5 M hectáreas). Notamos que la plantación de bosques tiene un costo modesto, y resolvería en forma productiva el desempleo en Ecuador. El mecanismo práctico para reforestar el Ecuador a corto plazo es

Alternativa	Población	Consumo /habitante	Energía renovable	Energía nuclear
<i>a</i>	6	2 KW	0.18 Q/año	0.18 Q/año
<i>b</i>	3	2 KW	0.18 Q/año	0
<i>c</i>	9	1 KW	0.18 Q/año	0.09 Q/año
<i>d</i> *	4	11 KW	0.18 Q/año	1.15 Q/año
<i>e</i>	3	1 KW	0.09 Q/año	0
<i>f</i>	9	0.5 KW	0.09 Q/año	0.045 Q/año

Table 9: Alternativas después de agotar las fuentes no renovables de energía (a mediados del siglo XXII). * La alternativa *d* es absolutamente insostenible. Las alternativas *a* a *d* son poco realistas debido a la elevada inversión que requieren. Las alternativas *e* y *f* son mas realistas.

mediante la ley Planfor. [5]

3 Conclusiones

- El primer límite natural del planeta Tierra es la energía solar capturada por plantas, agua y viento.
- Ya hemos sobrepasado el límite natural sostenible (debido al uso transitorio de petróleo, gas y carbón).
- La oferta de petróleo nunca mas podrá satisfacer la demanda.
- En dos décadas la principal fuente de energía será el carbón.
- A corto plazo veremos un profundo cambio de estilo de vida de la humanidad.
- Se requiere un nuevo marco de convivencia entre naciones para sobrevivir en un planeta limitado. [6]
- Las sociedades de consumo *C*, *D* y *E* están en vías de extinción, salvo se generalize el uso de fisión nuclear tipo “breeder”, o se desarrolle la fusión nuclear.
- En ese caso es toda la humanidad que está en vías de extinción.
- Es un error (en mi opinión) “resolver” el “problema” energético (con fusión nuclear o con reactores de fisión tipo “breeder”) pues permitiría

a la humanidad crecer en población y consumo hasta alcanzar límites mas dolorosos del planeta Tierra.

- Debemos desarrollarnos en educación, no en población y consumo. Debemos aprender a vivir en armonía con nuestro planeta. Las tres R's son: Reusar, Reducir, Reciclar. Un mundo sabio tendría 3 mil millones de habitantes, ciudades pequeñas, una vida mas austera, sin vehículos privados o aire acondicionado, con calefacción limitada a habitaciones pequeñas, con huertos familiares, o sea más próximos a la madre tierra.
- Este es el ciclo vital: ...la tierra alimenta a las plantas, las plantas alimentan a los animales, los animales y las bacterias convierten este alimento en abono, el abono alimenta la tierra, la tierra alimenta a las plantas... La energía del sol mueve este ciclo vital. La especie humana, que forma parte del ciclo vital, puede facilmente desequilibrarlo. La regla para que una sociedad sea sostenible es esta: devolver a la tierra todo lo que de ella tomamos. Los recursos fósiles de petróleo, gas y carbón nos han permitido romper el equilibrio del ciclo vital, y crecer en población y consumo mas allá de los límites de sustentabilidad del planeta Tierra. Afortunadamente estos recursos se agotarán pronto. Si aprendemos esta lección tomaremos la decisión de no “resolver” el “problema” energético y volveremos a vivir en armonía con la madre tierra.
- Los indígenas ecuatorianos nos dan una lección de sabiduría: viven en forma sustentable, en armonía con la tierra.
- Es hora de abrir los ojos. Como especie, tenemos una gran oportunidad.

References

- [1] Esta charla. <http://www.usfq.edu.ec> → profesores → profesores a tiempo completo → Hoeneisen
- [2] EIA, Reporte energético internacional anual de 1998.
- [3] Richard C. Neville, “Solar cells, 1978, Elsevier.
- [4] B. Hoeneisen, “Trying to understand the Universe: From the Big Bang to the Brain”, <http://www.lulu.com>, 2005.
- [5] Gabriela Aguilar et al, “El Ecuador que yo quisiera en el año 2050”, editor B. Hoeneisen, Gutenberg & Aldus impresores, 1999.

- [6] B. Hoeneisen, “Propuesta de una Constitución de la Humanidad”,
<http://www.usfq.edu.ec> → profesores → profesores a tiempo completo →
Hoeneisen