

Energía y Sociedad

Salvador Gil
ECyT – UNSAM 2008

Energía y la Revolución Industrial

Llamamos “revolución industrial” al periodo en la historia que se inicia con el uso intensivo de energía en la sociedad durante el cual ocurrieron grandes cambios en los modos de producción de la sociedad y en su organización. Este proceso histórico coincide con lo que también se conoce como “Era Contemporánea”. Este evento transformó mucha de las economías del mundo, que pasaron de una producción manual local y rural, a otra industrial, urbana y de gran escala y aun sigue vigente.

Las primeras modificaciones ocurrieron en la industria textil británica en el siglo XIX. Hasta entonces, los tejidos se hacían en los hogares, utilizando esencialmente las mismas técnicas e instrumentos que se habían utilizado durante siglos. Las máquinas como todas las herramientas de la época, eran pequeñas, construidas a mano y movidas por músculos, viento o agua corriente. Este cuadro fue modificado radical e irreversiblemente por una serie de inventos para hilar y tejer y para utilizar los recursos energéticos. La maquinaria reemplazó a algunos artesanos; el carbón sustituyó a hombres y animales como fuente de poder para hacer funcionar las máquinas; y el sistema centralizado de fábricas sustituyó al disperso sistema de producción doméstico.



Fig. 1. A la izquierda, maquina a vapor primitiva “Eolípila de Herón” construida por Heron de Alejandría circa el año 70 dC. A la derecha, máquina a vapor desarrollada por J. Watt en 1774.

El motor de la revolución industrial fue la invención y el mejoramiento de la máquina de vapor. Este es un dispositivo para transformar la energía química en trabajo mecánico: se quema combustible y el calor que desprende es utilizado para convertir agua en vapor, el cual es empleado a su vez para impulsar ruedas o palancas. Las máquinas de vapor fueron desarrolladas al principio por inventores en respuesta a la necesidad práctica de bombear agua de las inundaciones en las minas de carbón y minerales. Después de que el inventor escocés James Watt perfeccionó en gran medida la máquina de vapor, se utilizó rápidamente para impulsar máquinas en las fábricas; para mover carbón de las minas y para dar fuerza a las locomotoras, barcos y los primeros automóviles.

La revolución industrial comenzó en la Gran Bretaña por muchas razones: la inclinación británica a aplicar el conocimiento científico a asuntos prácticos; un sistema político que favoreció el desarrollo industrial; la disponibilidad de materias primas, sobre todo provenientes de muchas partes del Imperio británico; y la flota mercante más grande del mundo, la cual permitió el acceso de la Gran Bretaña a materias primas adicionales (como algodón y madera) y grandes mercados para la venta de textiles. Los británicos también habían experimentado la introducción de innovaciones en la agricultura, como arados baratos, que hacían posible que con pocos trabajadores se produjera más comida, dejando libres a otros para trabajar en las nuevas fábricas.

Las consecuencias económicas y sociales fueron profundas. El hecho que las nuevas máquinas de producción eran caras, accesibles principalmente a personas con grandes capitales, dejó fuera a la mayoría de las familias de pequeños artesanos. Los talleres fuera de las casas que atrajeron trabajadores y máquinas al mismo tiempo crecieron y se transformaron en fábricas, primero textiles y después de otras ramas. Trabajadores relativamente inexpertos pudieron manejar las nuevas máquinas, en contraste con los oficios tradicionales que requerían habilidades aprendidas durante mucho tiempo. Así, los excedentes de campesinos y niños podían ser empleados para trabajar por un salario. Así nació el proletariado.

La revolución industrial se extendió por todo el oeste de Europa y cruzó el Atlántico hasta los Estados Unidos de América y más tarde se extendió por el resto del mundo. En consecuencia, el mundo occidental del siglo XIX estuvo caracterizado por el incremento de la productividad y el desarrollo capitalista de la industria. Estos cambios estuvieron acompañados por el crecimiento de grandes ciudades, el desarrollo industrial atrajo mucha gente y la población urbana aumentó rápidamente por el movimiento de personas desde las áreas rurales a las urbanas. Por otro lado, surgió una tensión creciente entre aquellos que controlaban y obtenían ganancias de la producción y los trabajadores que trabajaban por salarios que eran apenas suficientes para mantener sus vidas. En grado considerable, las ideologías políticas principales del siglo XX surgieron de las tensiones económicas surgidas de la revolución industrial.

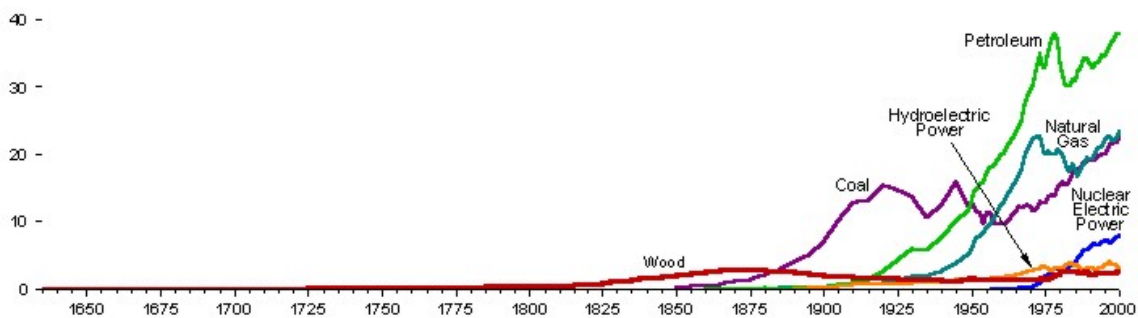


Fig. 2. Evolución del uso de recursos energéticos a lo largo de la historia en los EE.UU. Los recursos tradicionales son la madera (wood), que era el combustible dominante antes de la revolución industrial, cuya primera fase tuvo como combustible el carbón (coal). La segunda etapa de la revolución industrial estuvo dominada por el petróleo. En la etapa que estamos viviendo, el gas se insinúa como el combustible preferido. El gas se usa mayormente para producir electricidad, la energía de las nuevas tecnologías¹.

En sentido estricto, la revolución industrial se refiere a un episodio particular en la historia. Pero viéndola desde una perspectiva más amplia, está lejos de terminar. Desde su comienzo en la Gran Bretaña, la industrialización se extendió en algunas partes del mundo más rápido que en otras, y sólo ahora está alcanzando a algunas naciones menos desarrolladas del mundo. Conforme se extiende a nuevos países, sus efectos económicos, políticos y sociales suelen ser tan drásticos como los que ocurrieron en el siglo XIX en Europa y los Estados Unidos de América, pero con las consecuencias adaptadas a las circunstancias locales y temporales.

Además, la revolución se expandió más allá del poder del vapor y de la industria textil para incorporar una serie de nuevos desarrollos tecnológicos, cada uno de los cuales ha tenido gran repercusión en la forma de vida de las personas. A su vez, las tecnologías eléctrica, electrónica e informática han transformado radicalmente el transporte, las comunicaciones, la manufactura, la salud y otras tecnologías. Han cambiado los patrones de trabajo y recreación y han contribuido a un conocimiento mayor de cómo funciona el mundo. El ritmo de cambio en los países recién industrializados puede ser aún más drástico porque las olas sucesivas de innovación llegan en menores lapsos. A su manera, cada una de estas continuaciones de la revolución industrial ha mostrado la inevitable y creciente interdependencia de la ciencia y la tecnología.

Potencia y Energía

“Hoy en día, desde el punto de vista de la física, no sabemos qué es realmente la energía...lo que sí sabemos es que la energía se manifiesta en multitud de formas que se relacionan entre sí mediante numerosos mecanismos de conversión”

Richard Feynman (Premio Nóbel de Física 1965 “The Feynman Lectures on Physics”)

La energía es la capacidad que tiene un sistema para realizar trabajo. Se realiza un trabajo sobre un cuerpo cuando por aplicación de una fuerza el mismo se desplaza, por ejemplo cuando levantamos un libro del suelo y lo colocamos sobre la mesa. En este caso debemos hacer una fuerza por lo menos igual a su peso y lo desplazamos a la altura de la mesa. A su vez, decimos que el libro sobre la mesa tiene energía potencial que puede ser transformada en otra forma de energía. Por ejemplo si cae al piso, a medida que cae su energía potencial se transforma en energía cinética (asociada a su velocidad). Al llegar al piso esta energía cinética se transforma en calor, deformación del cuerpo, energía sonora, etc. Una característica básica de la energía es que ella se transforma de una forma a otra pero siempre se conserva. Todos los experimentos realizados hasta el presente muestran que en todas sus transformaciones la energía que tenemos antes o después de cualquier

proceso, es siempre la misma. La conservación de la energía es justamente lo que conocemos como el primer principio de la termodinámica.

La energía se mide en Joules (J) o en calorías (cal) o kilowatt hora (KWh) o también en BTU (1 BTU=1055 J= 252 cal= 291 KWh). La potencia es el trabajo que se realiza en la unidad de tiempo, se mide en Watt (W= J/s). Por ejemplo, si una persona de 70 Kg sube 4 pisos (10m), el trabajo realizado será de aproximadamente 7000 J. Una persona bien entrenada puede hacerlo en 30 segundos mientras otra menos entrenada lo hace en 60 segundos. La primera desarrolla una potencia de 233 W y la segunda de 115 W. Una persona bien entrenada puede desarrollar alrededor de unos 250 W sólo por unos pocos minutos. En general la potencia que una persona normal puede desarrollar a lo largo de varias horas es del orden de unos 20 a 40 W. Un caballo puede producir una potencia cercana a 1000 W (KW) en condiciones de régimen. Es interesante comparar estas potencias con las que consumimos en una casa pequeña. Si tenemos 3 lámparas encendidas (300 W), una heladera (200W), un televisor (100W) y una computadora (200W), estaríamos consumiendo unos 800W, es decir la potencia producida por unas 20 personas. Un automóvil compacto, tiene una potencia de unos 150 KW equivalente a la potencia de unos 3750 hombres! Si calculamos el trabajo total que puede hacer una persona trabajando 8 horas diarias por un año, su valor es de unos 80 KWh (o sea 216000000 J). Esta energía equivale al contenido energético de 7 litros de nafta o a 8.3 m³ de gas natural. A los precios de mercado el trabajo mecánico producido por un hombre en un año costaría 14\$ si se lo mide en litros de nafta o a 2.3 \$ si se lo mide en m³ de gas natural.

Otra relación interesante esta asociada a la energía que una persona necesita para vivir. Un hombre adulto debe consumir aproximadamente una 2500 Kcal diarias. Por lo tanto esta es la energía esa persona gasta en realizar trabajo mecánico (caminar, trabajar, bombear sangre, etc.) y mantener su cuerpo a 37°C. Si calculamos la potencia media que una persona genera, dividiendo el consumo diario total de energía por el tiempo (24horas), obtenemos una potencia media de unos 130w. Si suponemos que en promedio gastamos unos 40 W en realizar trabajo mecánico, vemos que una persona debe disipar el resto (90W) en forma de calor. Por esta razón, cuando estamos en un lugar con muchas personas, colectivo o tren, percibimos claramente el calor que producimos. Unas 10 personas emiten aproximadamente tanto calor como una estufa de cuarzo.

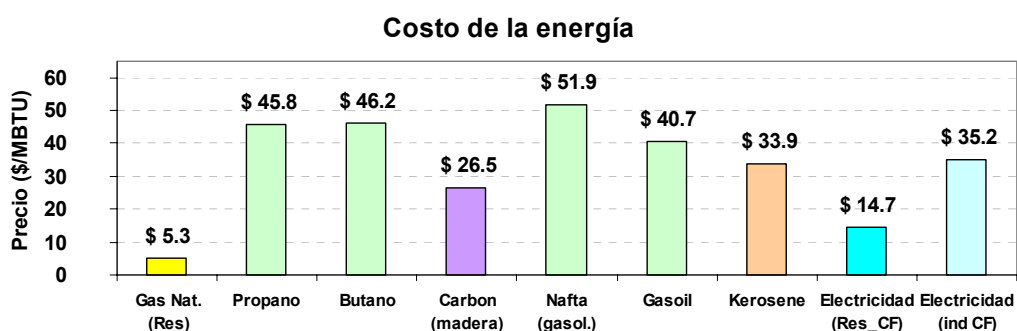


Fig. 3. Comparación del precio del un mega BTU (MBTU) de energía de varios combustibles y electricidad, a valores de mercado en Argentina. Un MBTU equivale a unos 27.1 m³ de gas natural o 26 litros de nafta o 293 KWh. Es claro que en Argentina el gas natural es el combustible más económico.

Energía en el mundo

La energía es fundamental para la vida. Los alimentos son una fuente de energía necesaria para realizar las actividades físicas cotidianas (caminar, movernos, etc.) y para mantener el calor del cuerpo (metabolismo). Esta energía se obtiene por combustión de los alimentos con el oxígeno que respiramos. En la Tabla 1 se indican las energías por unidad de tiempo (potencia) para realizar distintas actividades, consumos típicos y la producida por algunas usinas.

	Potencia consumida o producida
Elevar un mosquito	10^{-7} W
Bombeo del Corazón humano	1.5 W
Hombre fuerte	20 W (máxima 250 W)
Potencia típica de una casa	800 W
Caballo de tiro	1000W=1KW
Automóvil Compacto	100 KW
Boeing 747 (crucero)	250MW= 2.5×10^8 W
Central Eléctrica Atucha I	300 MW
Total de energía eléctrica máxima consumida Argentina (2005)	17.5 GW= 1.75×10^{10} W
Total Potencia eléctrica media producida en el Mundo (2005)	1800 GW= 1.8×10^{12} W

Tabla 1 . Energía consumida o producida por algunos sistemas.

El fuego fue uno de los grandes inventos de nuestra civilización. El fuego posibilitó la cocción de los alimentos y la calefacción necesaria para subsistir en regiones frías. La leña fue el primer combustible usado por el hombre. Las antiguas civilizaciones descubrieron la posibilidad de usar el viento para impulsar sus embarcaciones y mover molinos de viento. Con el advenimiento de la revolución industrial, el uso de combustibles fósiles se incrementó notablemente. Primeramente se usó el carbón mineral, luego el petróleo y más recientemente el gas natural. En la figura 4 se muestra la composición actual de la matriz energética mundial, que no se espera se modifique significativamente en la próxima década.

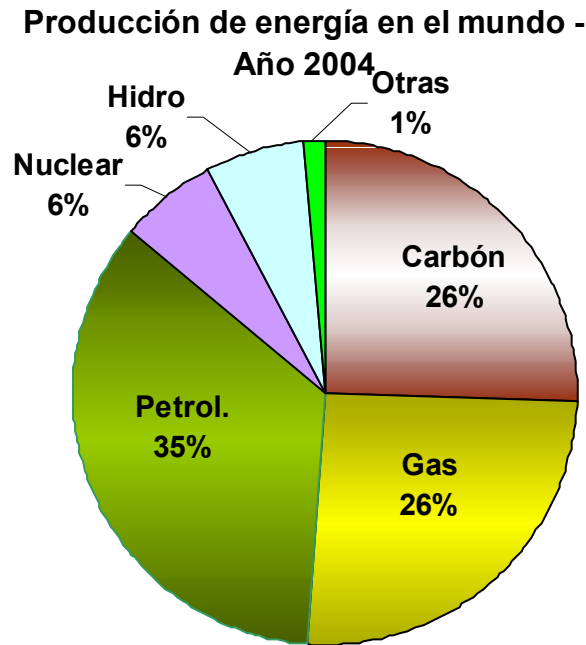


Fig. 4. Producción mundial de energía primaria y su distribución según el tipo de fuente. Basado en datos de EIA- DOE

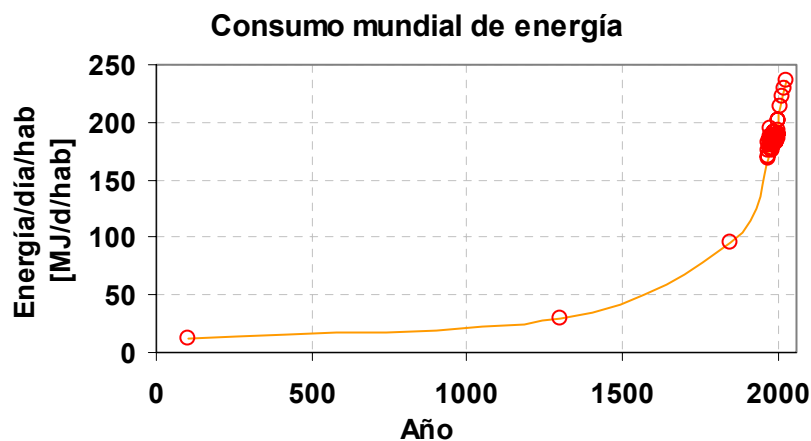


Fig. 5 Variación del consumo promedio per capita a lo largo de la historia. Datos tomados del trabajo “Future of Energy” C. Rubbia.²

En la Figura 5 se muestra la evolución del consumo promedio per capita a lo largo de la historia. Obsérvese que a partir del siglo XX el consumo de energía ha tenido un crecimiento notable.

Anualmente el Departamento de Energía de los EE.UU. (DOE) publica un análisis de la situación energética mundial con proyección de demanda global. Es claro que todas las predicciones tienen un importante grado de incerteza debido a la dificultad de predecir los escenarios políticos y económicos futuros, pero siguiendo las tendencias observadas en las últimas décadas es posible delinear tendencias indicativas. La figura 6 muestra los valores de dichas proyecciones, incluyendo la evolución del PBI global y el número de habitantes en el mundo. Los datos en este gráfico están normalizados, es decir están

expresados en unidades relativas, de modo que al año 2000, las tres variables tienen el valor de 100.

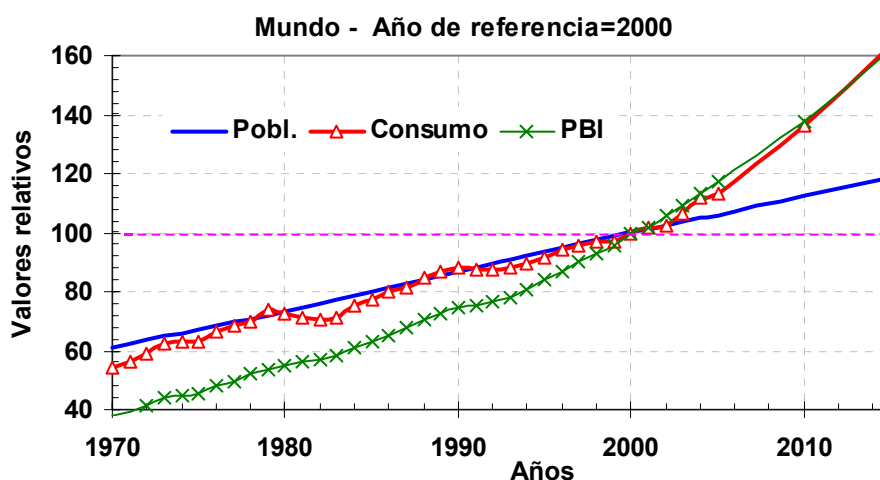


Fig. 6 Variación de la población mundial (línea azul), PBI mundial (línea verde) y consumo de energía en valores relativos, tomando como base el año 2000 en el que se toma el valor de todas estas variables igual a 100. Se observa que tanto el PBI como el consumo de energía total crecen más rápidamente que la población. Basado en datos de EIA- DOE. ¡Error! Marcador no definido.

Se observa que el consumo de energía y el PBI aumentarán en los próximos 20 años a tasas de aproximadamente 2.5%, mayores que la tasa de crecimiento vegetativo (menor al 1%). Estas mismas proyecciones indican que las tasas de crecimiento económico y el consumo de energía serán mayores en los países emergentes que en las economías desarrolladas. Se espera que los precios de la energía se estabilicen a valores inferiores que los alcanzados a fines de 2005. La demanda total de energía crecería en aproximadamente el 70% en los próximos 20 años mientras que en las economías emergentes esta demanda se duplicaría. En ese sentido, para evitar que la mayor demanda de energía agote los excedentes económicos es importante encontrar formas más eficientes de uso de la energía.

Es interesante analizar la intensidad de uso de la energía, que expresa la cantidad de energía necesaria para generar una unidad de PBI. En la figura 7 se presenta la evolución de la intensidad para un grupo de países. Esta figura muestra que varios países han logrado tener crecimientos importantes y sostenidos y al mismo tiempo aumentar la eficiencia de uso de la energía (disminuir la intensidad). Este es el caso de EE.UU., Canadá, Reino Unido, China, India entre otros. Por el contrario, Argentina, Brasil y muchos otros países Latinoamericanos muestran una tendencia creciente de la intensidad energética, reflejando la necesidad de revisar críticamente las políticas energéticas, formas de uso, y la necesidad de más desarrollos e investigaciones en estas áreas que propicien una mejora en el uso eficiente de la energía.

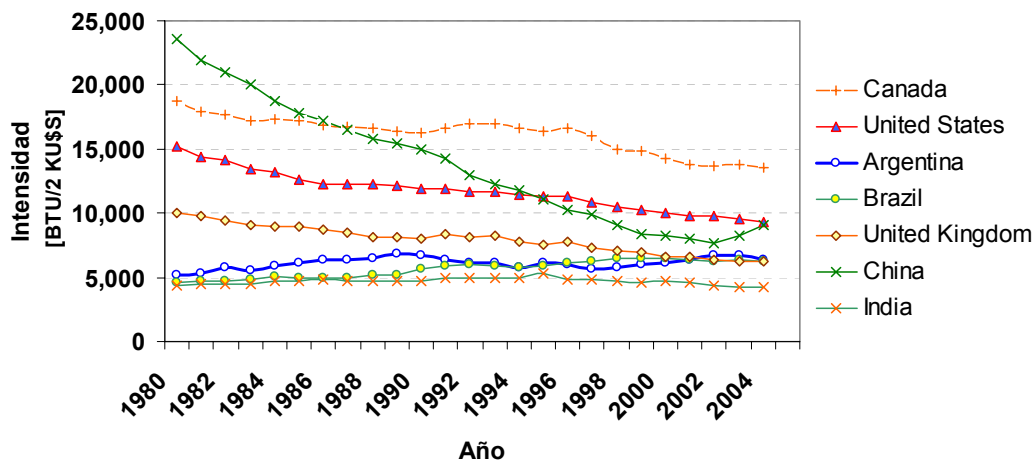


Figura 7 Variación de la intensidad de uso de la energía total como función del tiempo para un grupo de países. Nótese que mientras la mayor parte de los países desarrollados y también China muestran un decrecimiento de esta variable, y por lo tanto un uso más eficiente de la energía, Argentina, Brasil y varios países Latinoamericanos muestran un incremento de esta variable. Basado en datos de EIA- DOE. ¹Error! Marcador no definido.

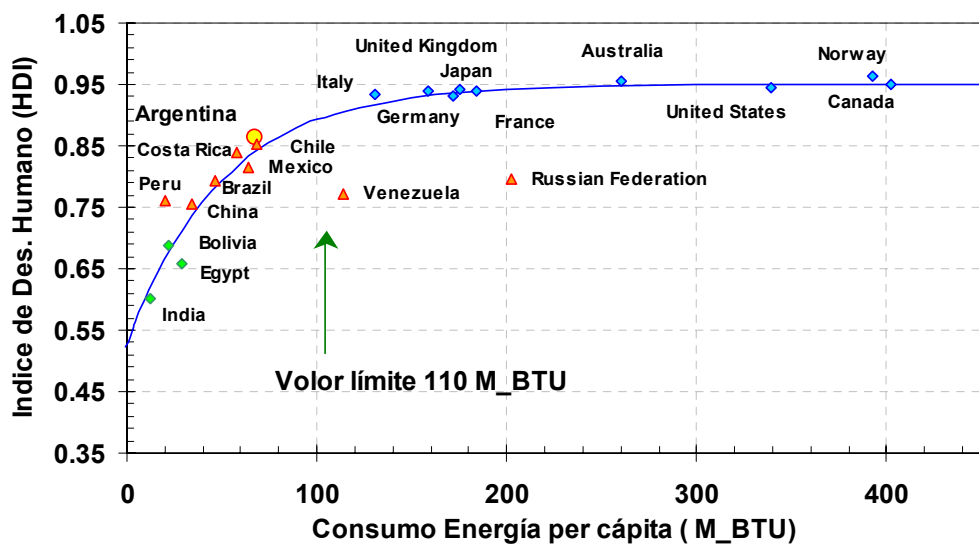


Fig. 8 Índice de desarrollo humano en función del consumo de energía per cápita para distintos países del mundo. La línea continua azul es una modernización de esta dependencia. Basado en datos de las Naciones Unidas³ y la EIA- DOE. ¹Error! Marcador no definido.

Si se analiza como varía el consumo de energía per cápita para distintos países, se observa que aquellos de mayor desarrollo económico tienen un mayor consumo per cápita. Sin embargo esta relación dista de ser lineal. Las Naciones Unidas³ elaboraron un índice para evaluar la calidad de vida en diversos países que denominan IDH (Índice de Desarrollo Humano) que tiene en cuenta la esperanza de vida (longevidad), nivel de educación de la población (índices de alfabetización) y valor del ingreso a paridad constante por habitante. El IDH es habitualmente usado para comparar calidad de vida en las distintas regiones del mundo. Si se grafica el IDH en función del consumo anual de

energía per cápita para distintos países, se obtiene la figura 8. Esta figura indica que con un consumo per cápita de alrededor de 110 M_BTU al año, se alcanza un valor de saturación. Un consumo mayor a este valor no genera una mejora significativa en la calidad de vida. Si bien esta no es una conexión de validez universal, ya que cada país tiene características singulares, lo que si parece ser cierto es que no siempre mayor consumo de energía implica mejor calidad de vida.⁷

Consumo de energía en Argentina

Tradicionalmente, las fuentes de energía se clasifican en primarias y secundarias.⁴ Las fuentes primarias son aquellas que se extraen directamente de la naturaleza (leña, carbón, petróleo, gas, etc.) o bien no se obtienen a partir de otras fuentes, por ejemplo nuclear, hidráulica, solar o eólica. Las fuentes secundarias son productos energéticos que no se extraen directamente de la naturaleza y que en general se obtienen usando fuentes primarias, por ejemplo, electricidad, gasoil, fuel oil, nafta, kerosén, gas licuado, etc. En la figura 9 se ilustra la producción de energía primaria y la distribución según el uso de la energía secundaria para el año 2004 en la República Argentina. Es interesante notar que nuestra matriz energética es fuertemente dependiente de los combustibles fósiles. El petróleo y el gas contabilizan el 90% de la energía que producimos y consumimos.

En la figura 9 se muestra la evolución histórica de la oferta interna de la matriz energética primaria nacional. A partir del año 2002, el gas natural se convierte en el combustible más usado del país. La figura 2 muestra claramente la importancia del gas natural (48%) y del petróleo (42%) en la matriz energética nacional. Este hecho resalta lo delicado de la situación energética del país en vista de lo acotado de las reservas de gas y petróleo¹, 12 y 9 años respectivamente.⁶

Es interesante señalar que aún con las bajas tasas de crecimiento del PBI (Producto Bruto Interno) registradas en Argentina en las últimas 3 décadas, el consumo eléctrico se fue duplicando cada 15 años⁵. En el transcurso de estas tres décadas el PBI sólo creció en un 75%. Por lo tanto los datos indicados en la tabla anterior no son inconsistentes con lo ya acontecido. Similarmente, el consumo de gas natural se duplicó en los 20 años que transcurrieron entre 1985 y 2005.

¹ El concepto de reserva es algo dinámico. No es que hay un stock fijo y definido de modo que cuando esas reservas se acaban se terminó. ¿Por qué es dinámico? La reserva probada es la cantidad de gas o petróleo susceptible de extraerse de un yacimiento que ya ha sido explorado y que está en explotación, con la tecnología y a los precios presentes. Eso significa que puede haber un pozo cuyo costo de extracción sea demasiado elevado en este momento haciendo que su contenido no forme parte de las reservas. Con un nuevo precio se puede volver redituable e incorporarse a la reserva. Asimismo nuevas tecnologías que abaraten la explotación o la extracción tendrían un efecto similar. Es interesante ver que las reservas, desde los años setenta, han sido de 20 años, aproximadamente. Con esa lógica podría pensarse que se hubieran acabado en los noventa, pero se fueron incorporando nuevos pozos.

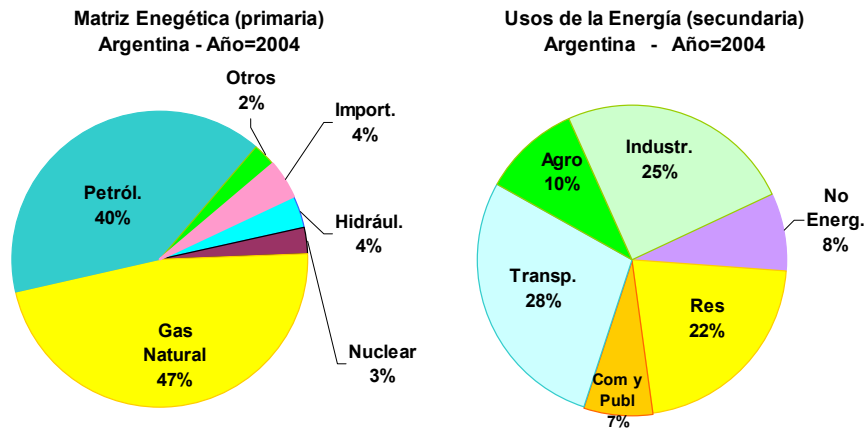
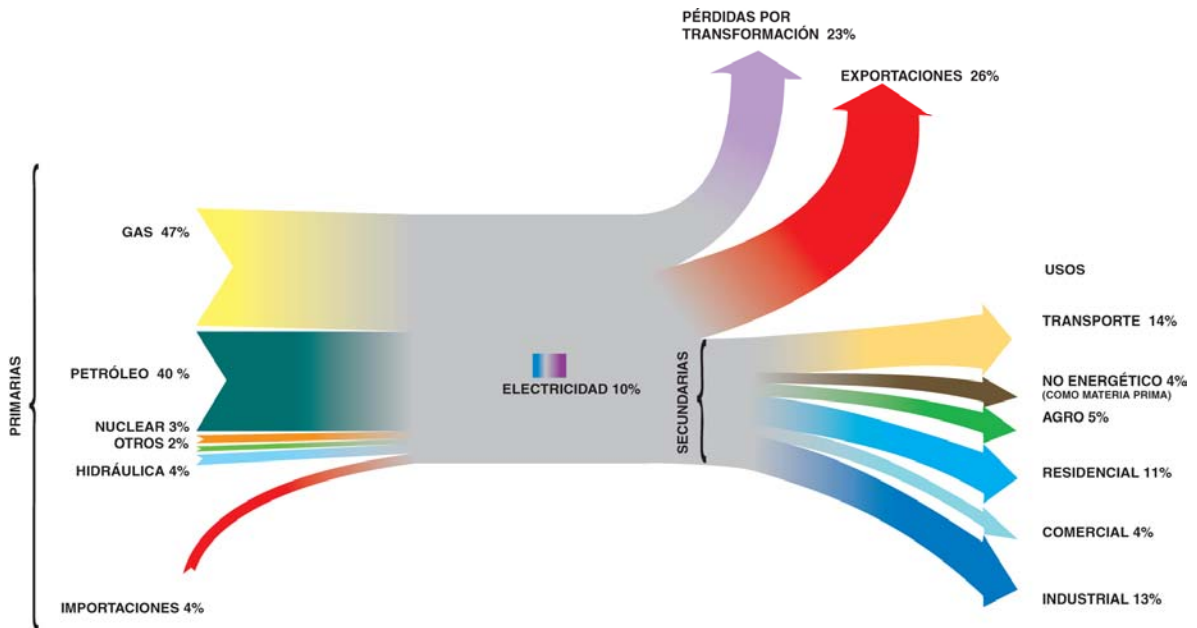


Fig. 9. Arriba, flujo de energía primaria (oferta total) y sus usos. Abajo, matriz energética primaria (izquierda) y distribución de la energía secundaria según su uso (derecha). Los datos corresponden toda la Argentina para el año 2004. Agro indica el uso de energía en actividades agropecuarias, Com. y Publ. indica la componente de uso comercial y en instituciones públicas gubernamentales o privadas. No Energ. indica el uso de productos energéticos como materia prima para la producción de insumos (plásticos, fertilizantes, etc.). Pérdidas de transformación corresponde a la energía que se pierde en la transformación de energías primarias en secundarias (Por ej. generación eléctrica o producción de combustibles refinados) y los consumos propios asociados al transporte de energía. Fuente de los datos: Secretaría de Energía de la Nación.^{4,6}

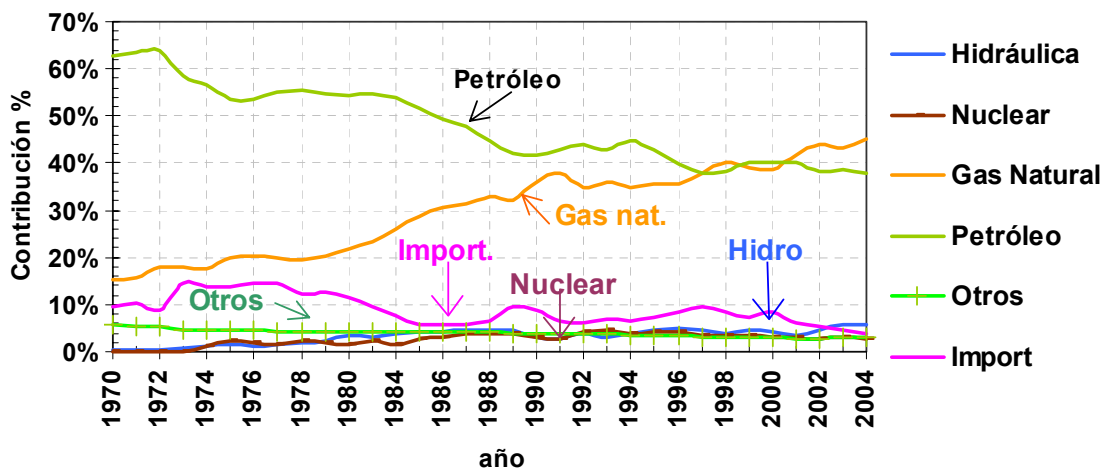


Fig. 10. Variación en el tiempo de la oferta interna de la matriz energética primaria en Argentina. La línea naranja representa el consumo de gas natural. Se observa que a partir del año 2001 el gas natural supera al petróleo, convirtiéndose desde entonces en la fuente primaria dominante. En “Otros” se incluye el consumo de carbón, leña, bagazo, eólica, etc. Secretaría de Energía de la Nación.^{4,6}

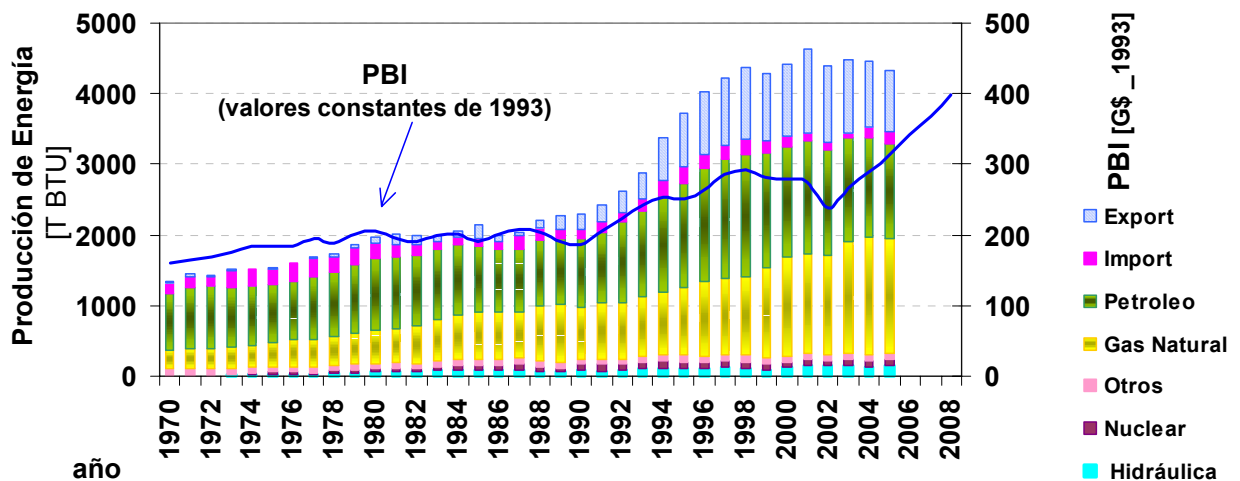


Fig 11. En este gráfico se ilustra la producción de energía nacional y los valores importados y exportados a lo largo de los últimos 38 años. Estos valores de energía están referidos al eje vertical izquierdo en unidades de millones de mega BTU (T_BTU). En esta figura también se indica la variación del PBI en miles de millones de pesos (G\$) a valores constantes (referidos a pesos 1993), referidos al eje vertical derecho. Esta figura ilustra que en términos relativos la producción de energía se compara con la variación del PBI.

Un modo útil de apreciar la variación en el consumo de energía, es tomar un año como referencia (1990) y arbitrariamente normalizar a este año los consumos de energía y el PBI a 100 unidades relativas. Luego observamos en esta escala normalizada la evolución de estas variables en el tiempo. Este tipo de gráficos se muestra en la figura 12 para el caso de Argentina, suponiendo un crecimiento “a la española” (o sea un crecimiento promedio de 4.2% anual en su PBI) para los próximos 25 años.⁷

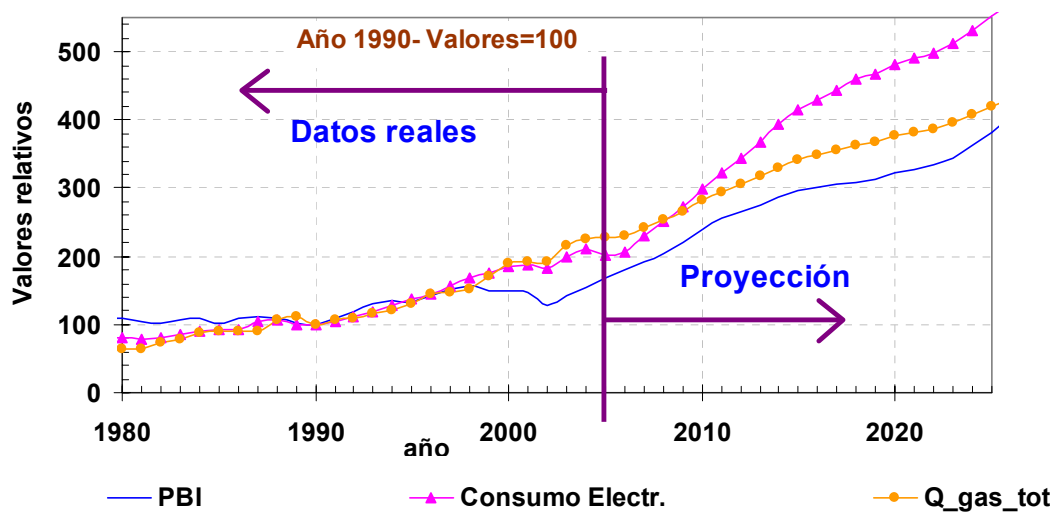


Fig. 12 Variación del PBI y de los consumos eléctricos y de gas natural tomando el valor 100 para estas variables en el año 1990. Se supone un crecimiento “a la española” para el PBI. Nótese que tanto el incremento del consumo de gas como el de electricidad superan el crecimiento del PBI, tanto en los datos efectivamente observados en los últimos 15 años como en las proyecciones obtenidas usando nuestros modelos.

Muchos estudios del consumo de energía en Argentina, muestran que la demanda eléctrica es la componente energética que más rápido crecerá en la próxima década si las tendencias actuales de consumo no se modifican. Claramente estas tendencias podrían alterarse de manera significativa si se adoptan planes de ahorro de consumo que demostraron ser eficaces en varios países. Es importante enfatizar que el ahorro de energía y la eficiencia en su uso, son las opciones más económicas y rápidas de implementar para enfrentar la creciente demanda energética, además de ser las más amigables con el medio ambiente.

Bibliografía

¹ *Energy in the United States, 1635-2000*, Department of Energy USA.

www.eia.doe.gov/emeu/aer/eh/frame.html

² *The future of energy*, Carlo Rubbia, 18th IAEA Fusion Energy Conference, Sorrento, Italy, 4th October 2000.

³ Human Development Report 2006 – Naciones Unidas - <http://hdr.undp.org/>

⁴ Secretaría de Energía de la Nación Argentina. Balance Energético Nacional serie 1970-2004, Enero 2006 <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=1591>

⁵ *Energía -Perspectiva Argentina* – S. Gil – Ciencia Hoy Nov. 2006.

<http://www.cienciahoy.org.ar/>

⁶ Secretaría de Energía de la Nación Argentina. <http://energia3.mecon.gov.ar>

⁷ *The Energy Challenge*, Stephen G. Benka -Physics Today April 2002 AIP.

<http://www.physicstoday.org/vol-55/iss-4/p38.html>