

# **Demanda de gas natural en Argentina**

## **Perspectiva a futuro**

S. Gil

Escuela de Ciencia y Tecnología – UNSAM y  
Departamento de Física – FCEyN- UBA

**Resumen:** En este trabajo se presenta una breve revisión sobre la proyección de la demanda de gas natural en Argentina. Se discuten las características de los modelos utilizados para predecir los consumos de gas y electricidad. Nuestro estudio indica que tanto la demanda total de gas natural en Argentina, como el consumo de se duplicarían en aproximadamente 14 y 24 años respectivamente, dependiendo del crecimiento económico futuro. Nuestro análisis sugiere que, si las tendencias actuales de consumo no se modifican significativamente, los consumos de electricidad y de gas tendrán crecimientos porcentuales superiores a los correspondientes incrementos del PBI.

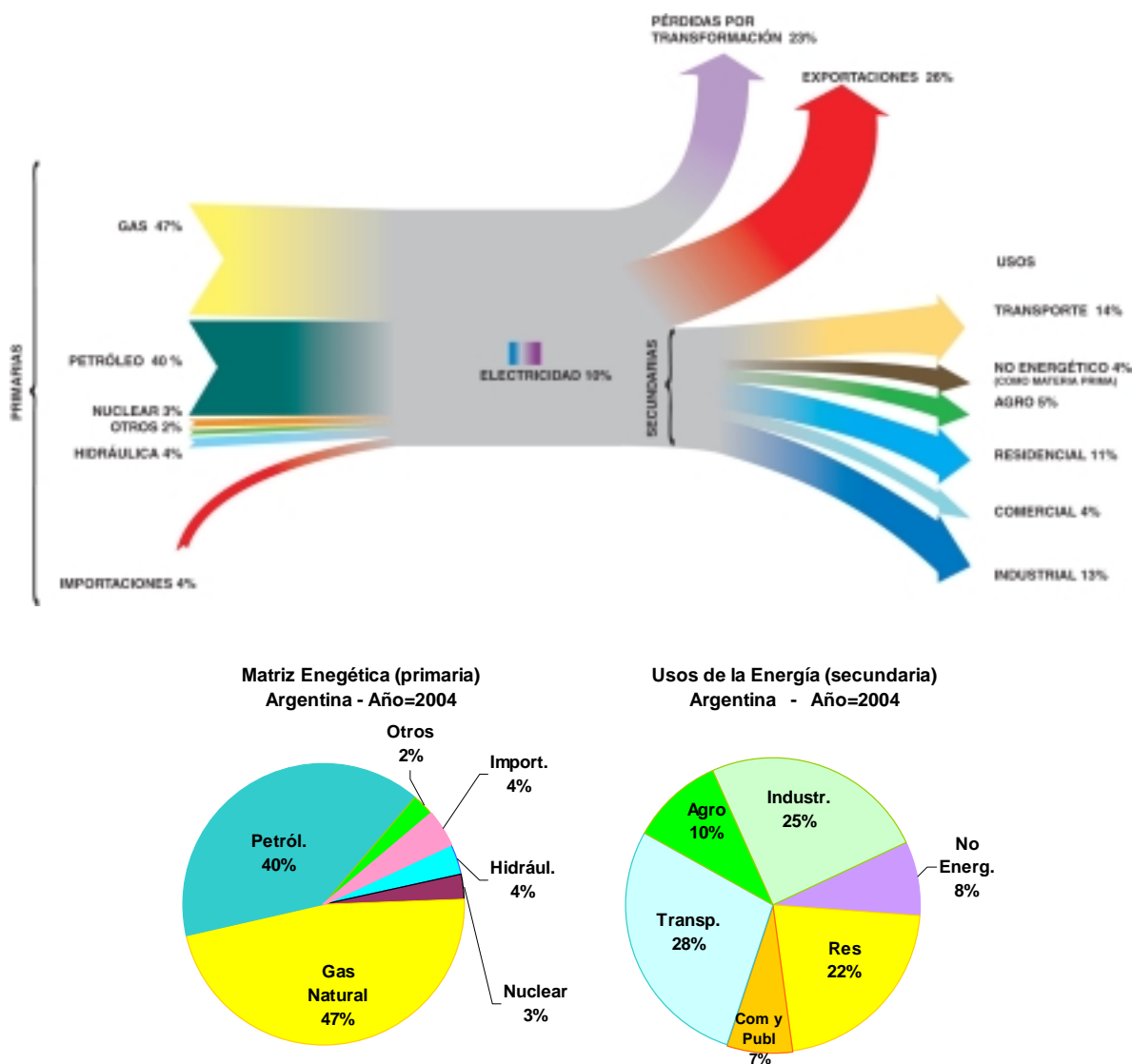
“¿Tendremos suficiente gas para calefaccionar nuestras casas este invierno?” “¿habrá cortes de electricidad este verano?” se plantean frecuentemente los usuarios y la prensa. Estas preguntas son pertinentes ya que nuestra supervivencia y estilo de vida dependen críticamente de estos insumos energéticos. La disponibilidad de energía es crucial para lograr un proceso de crecimiento y desarrollo sustentable en el tiempo. El éxito de una política energética es lograr un equilibrio entre el desarrollo de nuevas fuentes de energía y el incremento de la demanda, con el menor impacto posible en el medio ambiente y al menor costo posible. Lograr este objetivo es quizás uno de los mayores desafíos la actual conducción política del país y del mundo.

Para poder administrar y generar políticas energéticas es necesario disponer de modelos confiables de proyección de la demanda energía. Estos modelos deben ser capaces de predecir los consumos en el corto plazo (pocos días) y también a largo plazo (algunos años). Por una parte es necesario predecir los picos de demanda a corto plazo (pocos días) producidos en general por condicionantes climáticos. Por otra parte, se requiere un tiempo importante (varios años) entre la toma de decisiones y la concreción de cualquier plan de abastecimiento de energía. Todo país, y Argentina no es la excepción, debe disponer de herramientas confiables de predicción de la demanda futura de energía en el corto, mediano y largo plazo. En este artículo se realiza una revisión actual del estado actual de la demanda de energía en el país y se escribe la forma de modelar y proyectar la demanda de energía. Se presenta una descripción de las características de los modelos desarrollados para estimar las demandas de gas a mediano (1 a 3 años) y largo plazo (4 a 15 años). Varios de los conceptos discutidos aquí son asimismo útiles para elaborar modelos de corto plazo (1 a 4 días), pero los mismos no se discutirán en este artículo.<sup>1</sup>

### **¿Cuáles son las fuentes de energía en Argentina?**

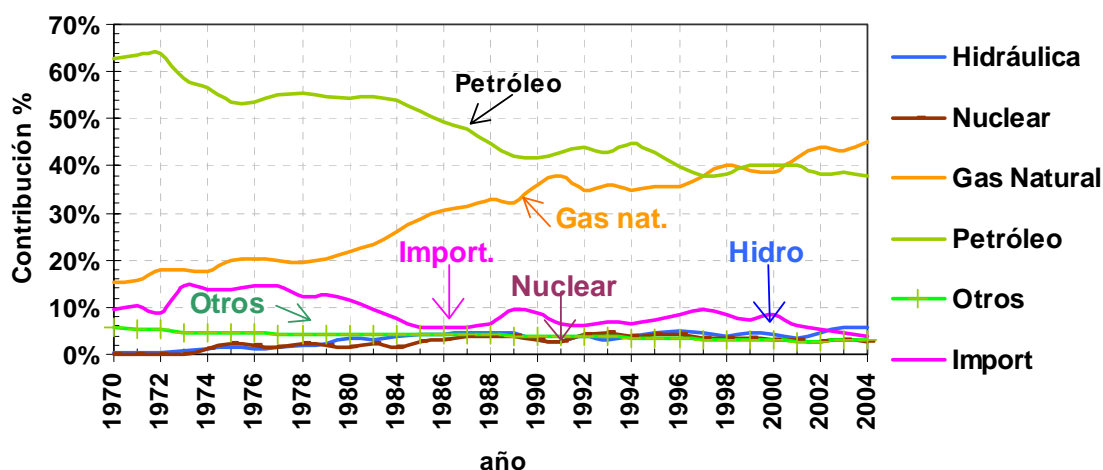
Llamamos fuentes primarias energía a aquellas que se extraen directamente de la naturaleza como la leña, el carbón, el petróleo, y el gas. También son fuentes primarias aquellas que no se obtienen a partir de otras fuentes, como la nuclear, la hidroeléctrica, la solar y la eólica. Las fuentes secundarias energía son las que no se extraen directamente de la naturaleza obteniéndose de fuentes primarias: la electricidad, el gasoil, el fuel oil, la nafta, el kerosén, el gas licuado, y otros. El consumo de energía

primaria en nuestro país y la distribución según el uso de la energía secundaria correspondiente al año 2004 se muestra en la figura 1. Es interesante notar que nuestra matriz energética, o sea, la distribución de las distintas fuentes de energía que se emplean en el país, es fuertemente dependiente de los combustibles fósiles. El petróleo y el gas contabilizan el 90% de la energía que producimos y consumimos.



**Figura 1.** 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

La participación de las distintas fuentes de energía primaria en la matriz energética del mundo varía a lo largo de tiempo. A principios de la revolución industrial, el carbón fue la fuente principal de energía. A principios del siglo XX el petróleo tuvo un gran crecimiento, alcanzando un pico en su participación en los años 70. En las últimas décadas el gas natural tuvo un gran crecimiento en el mundo. En 1970 Argentina dependía en un 62% del petróleo y sólo en un 15% del gas natural (figura 2). A partir del año 2002, el gas natural se convierte en la fuente primaria más importante del país; 48% frente al 42% del petróleo. La Secretaría de Energía estima las reservas actuales de gas y petróleo son de 12 y 9 años respectivamente.



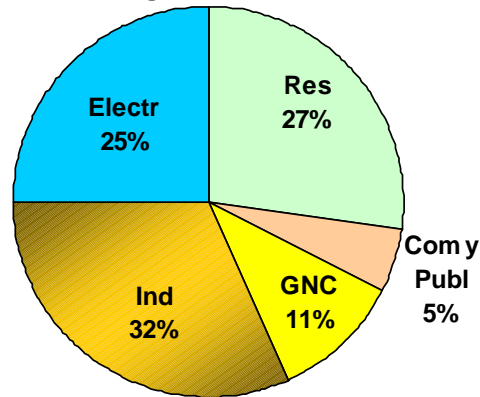
**Figura 2.** Variación en el tiempo de la oferta interna de la matriz energética primaria en Argentina. La línea naranja representa el consumo de gas natural. Se observa que a partir del año 2001 el gas natural supera al petróleo, convirtiéndose desde entonces en la fuente primaria dominante. En “Otros” se incluye el consumo de carbón, leña, bagazo, eólica, etc. Fuente Secretaría de Energía de la Nación.

Dada la relevancia del gas natural en la matriz energética Argentina, en este trabajo describiremos las características del consumo de este combustible. También discutiremos brevemente el consumo de electricidad, ya una parte importante del gas se usa para la producción eléctrica. El objetivo en este caso es determinar la evolución de los consumos de electricidad promedios anuales.

## Características del consumo de gas natural en Argentina

En la figura 3 se ilustra como se distribuye el gas entre las distintas componentes de consumo. Dado que cada componente de consumo tiene un comportamiento diferente, la estrategia empleada para modelar la demanda de gas natural se basa en analizar el comportamiento de cada una de las componentes de consumo por separado. Usando datos históricos, construimos modelos que describen su comportamiento en función de diversas variables explicativas (PBI, número de usuarios, temperatura, etc.). La capacidad predictiva de los modelos se evalúa usando datos reales de años recientes.

Consumo de gas natural - Año=2005



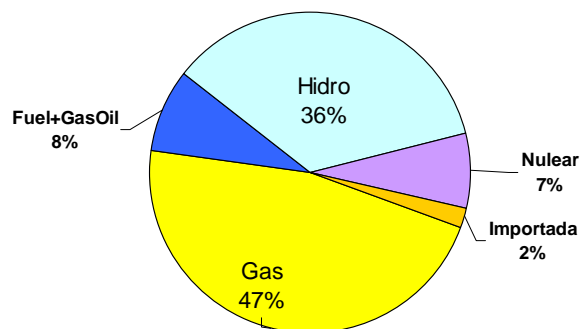
**Figura 3.** Distribución del consumo de gas según su uso en Argentina para el año 2005. Fuente de los datos ENARGAS.

Una vez construidos y evaluados los modelos de consumo se pueden usar para realizar proyecciones a futuro de las demandas de las distintas componentes de consumo. Sumando las proyecciones de las distintas componentes de consumo, se obtiene la demanda total. Para realizar estas proyecciones en general se requiere formular hipótesis razonables respecto de la evolución de las variables explicativas por ejemplo: evolución del PBI, número de usuarios, etc.

## Consumo de electricidad

Las principales fuentes de producción de electricidad se indican en la Figura 4 para el año 2005. Esta figura ilustra la participación que tienen en Argentina las centrales eléctricas térmicas que usan combustibles fósiles.

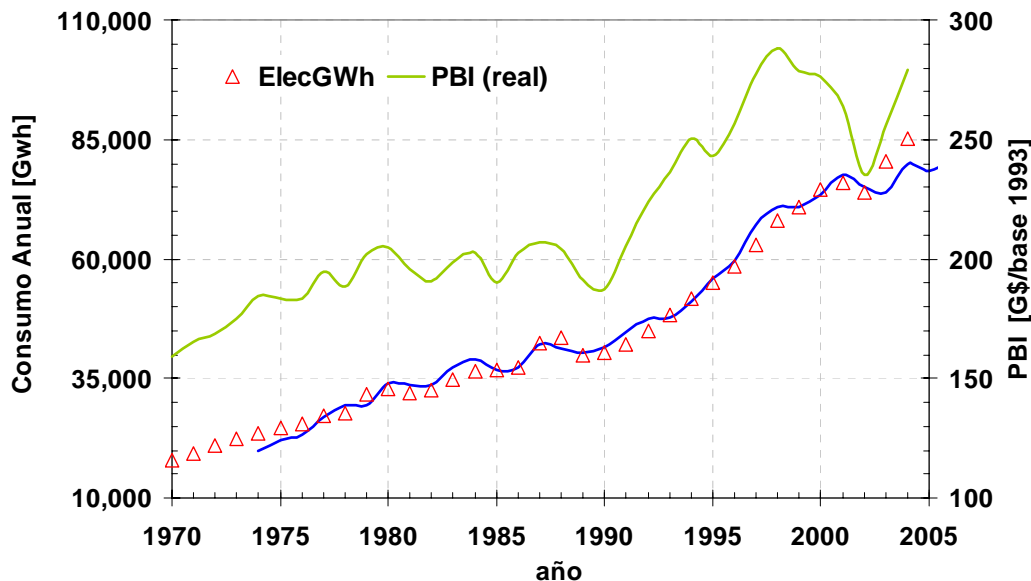
Producción de electricidad en Argentina  
Año=2005



**Figura 4.** Producción de electricidad en Argentina para el año 2005. La componente hídrica tiene una variabilidad dependiente de la hidraulicidad de los ríos. Fuente de los datos: Secretaría de Energía de la Nación.

Existe un razonable consenso en diversificar las fuentes de energía eléctrica. Por ello en las proyecciones a futuro se limita la generación térmica de electricidad a niveles del orden del 50% del total. Como la eficiencia de las centrales térmicas modernas es también del orden del 50%, resulta que la cantidad de gas necesario para alimentar esa

producción de electricidad, debe tener un contenido energético igual al doble de la electricidad que se produce. En otras palabras, suponemos que la cantidad de gas necesaria para producir electricidad debe tener un contenido energético similar al consumo total de electricidad. De este modo es posible proyectar el consumo anual de gas para la producción de electricidad.

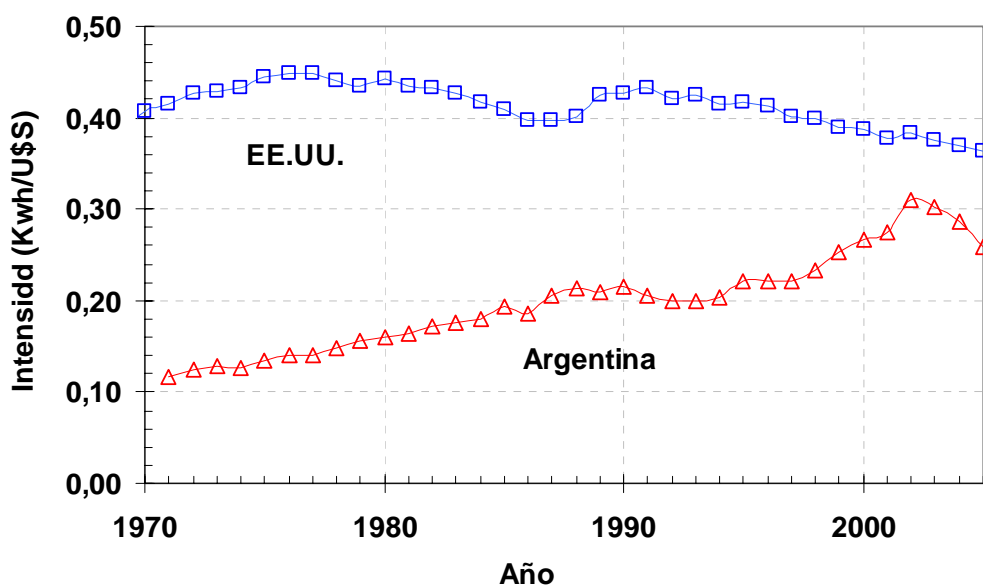


**Figura 5.** Consumo anual de electricidad en Argentina, símbolos triangulares rojos, referidos al eje vertical izquierdo. La variación del PIB a valores constantes, tomando como base el año 1993, se muestran con la línea llena verde, referida al eje vertical derecho. Nótese que la demanda eléctrica se duplicó entre los años 1970 y 1986 y de nuevo entre 1986 y 2001. Los resultados del modelo propuesto se indican con la línea continua azul. Este ajuste tiene un coeficiente de correlación  $R^2=0.98$ . Fuente de los datos: Secretaria de Energía de la Nación.

Un modelo adecuado para proyectar la evolución del consumo medio anual de electricidad, considera el consumo eléctrico total en función del producto bruto interno, PBI, a valores constantes, del promedio del PBI de los cuatro años previos al año en cuestión y del tiempo. El uso del PBI como variable explicativa de los consumos eléctricos es claro; una mayor actividad económica requiere de un mayor uso de energía para la producción y las actividades de la sociedad. Al introducir el concepto de PBI promediado en años anteriores se tiene en cuenta el efecto de arrastre o inercia en el consumo. Después de años de gran expansión económica, los usuarios (residenciales, comerciales e industriales) adquieren nuevos artefactos y maquinarias, que aún después de un período de bonanza requieren y demandan energía. El incluir al tiempo como variable explicativa tiene dos razones principales. Por un lado la población aumenta progresivamente con el correr del tiempo lo que aumenta el consumo y, por el otro, el progreso tecnológico introduce nuevos artefactos, máquinas y procedimientos que en general generan una mayor demanda de energía. Ambos efectos son los responsables de que cuando ocurren períodos de recesión importantes como los acaecidos en Argentina a principios de la década del 2000 los consumos industriales y eléctricos no disminuyan en la misma proporción que lo hace el PBI. Usando estas variables explicativas nuestro modelo sirve para ajustar los datos reales de consumo eléctrico con bastante precisión (figura 5). Ésta se mide a través de un coeficiente que se denomina “de correlación” y

que vale 1 en el caso de ajuste perfecto a todos los datos. En este caso el coeficiente de correlación fue de 0.98.

Otro parámetro útil a considerar en un análisis de la demanda es la *intensidad energética*, definida como el cociente del consumo total de electricidad dividido el PBI a valores constantes.<sup>2</sup> La intensidad energética, expresa la cantidad de energía que se requiere para producir una unidad de PBI y sirve para evaluar la eficiencia en usos de la energía. En los EE.UU. y Europa Occidental se observa que esta variable ha estado disminuyendo en las últimas décadas, lo que refleja un uso cada vez más eficiente de la energía. En Argentina, al igual que en el resto de América Latina se observa que la intensidad aumenta con el tiempo.



**Figura 6.** Evolución de la intensidad de uso energía eléctrica en Argentina y EE.UU. En los primeros años de la década de los 80, en EE.UU. hubo un esfuerzo sostenido de mejorar la eficiencia de consumo, como consecuencia de la crisis energética de los 70 y los altos precios del petróleo. A finales de los 80 el precio del petróleo cae y la eficiencia disminuye. A partir de los 90 se observa una mejora progresiva en la eficiencia en EE.UU. Por su parte en Argentina, al igual que varios países Latinoamericanos, se observa un incremento sostenido de la intensidad. Esto indicaría que tal vez no estemos evolucionando hacia un uso suficientemente eficiente de nuestros recursos energéticos.

Otro parámetro importante a considerar es la *elasticidad de la demanda*, definida como el cociente entre la variación porcentual del consumo de energía y la variación porcentual del PBI en el mismo período. La elasticidad de la demanda brinda la relación entre el crecimiento del consumo de energía y la variación de PBI. En otras palabras este parámetro da una idea de cuanto aumenta la demanda de energía por cada punto de crecimiento del PBI. Este parámetro debe ser tomado con mucha precaución ya que no tiene un valor estable en el tiempo. Para el caso eléctrico, su valor ha fluctuado bastante a lo largo de las dos últimas décadas, el promedio de los últimos 3 años y los resultados de nuestras proyecciones dan un valor medio de aproximadamente 1.4. Esto implica que la demanda eléctrica crece aproximadamente 40% más rápido que la variación del PBI. La elasticidad es un parámetro que debe tomarse sólo de modo indicativo para un período corto ya que su valor dista mucho de permanecer constante a lo largo del

tiempo y no es aconsejable realizar proyecciones a mediano plazo utilizando este parámetro.

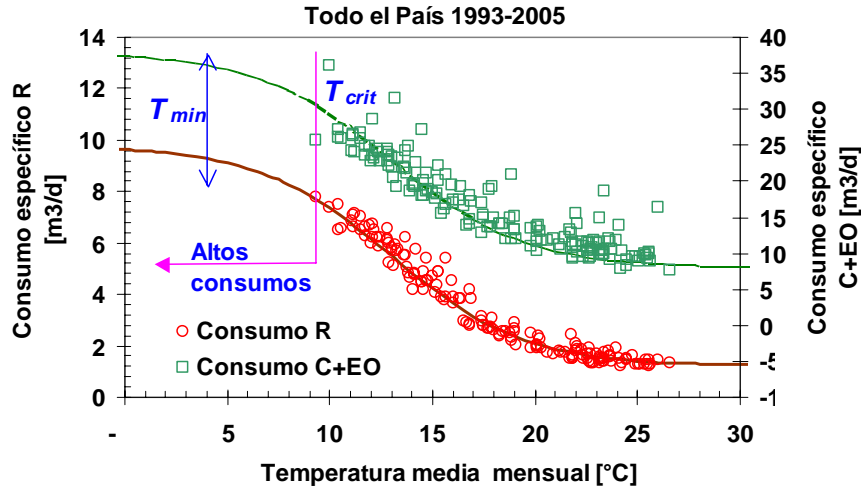
Es interesante reparar, que el consumo eléctrico se duplicó entre los años 1970 y 1986 y de nuevo entre 1986 y 2001. En otras palabras entre 1970 y 2001 el consumo eléctrico se cuadruplicó mientras que el PBI sólo aumento un 75% en el mismo período. A modo de comparación, en EE.UU. entre los años 1976 y 2005 el consumo eléctrico se duplicó, y en el mismo periodo el PBI aumento en 245%, indicando una elasticidad promedio de 0.81. Estos datos sugieren que es posible y deseable hacer un uso más eficiente de los recursos energéticos.

Nótese asimismo que el aumento de la demanda eléctrica, según nuestras hipótesis de trabajo, implica que la oferta eléctrica con fuentes primarias distintas al gas natural (nuclear, hidroeléctrica, eólica, etc.) también debe incrementarse concomitantemente de modo de suplir el otro 50% de la demanda no abastecida por gas natural.

### **Consumos de gas residencial y comercial**

La componente consumo compuesta por el uso residencial (R), comercial (C) y entes oficiales (EO), es de carácter ininterrumpible y tienen características semejantes entre si. La prestación de estos servicios no prevé interrupciones y está en el tope de las prioridades de abastecimiento del sistema de gas conforme a la normativa vigente. Una fracción importante del gas también se consume en forma ininterrumpible. Los usuarios de esta forma de contratación son grandes usuarios y centrales electricas. Esta modalidad de suministro mejora considerablemente la eficiencia de todo el sistema de producción y transporte de gas. Esto se debe a que como veremos, los consumos residenciales y comerciales tienen una gran variación en sus demandas en función de las temperaturas. Estas demandas presentan picos de consumo muy grandes pero de corta duración. Como los sistemas de transporte se diseñan para abastecer dichos picos, de no existir la forma de contratación ininterrumpible, el sistema de transporte sería subutilizado gran parte de año, con el consecuente costo que ello implica.

En la figura 7 se muestra la variación del consumo específico mensual promedio, esto es el consumo medio por usuario, en función de la temperatura media mensual para los usuarios residenciales (R) y comerciales más entes oficiales (C+EO). En esta figura se presentan los datos correspondientes a todo el país. La figura 8 es representativa de prácticamente todas las regiones estudiadas y puede interpretarse de la siguiente manera: a altas temperaturas el uso de gas residencial se reduce a cocción y calentamiento de agua, que a altas temperaturas tiende a un valor constante.

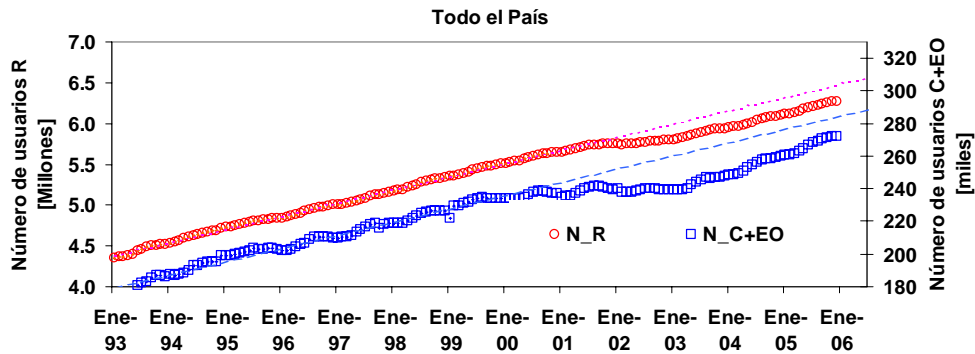


**Figura 7.** Variación de los consumos medios por usuario o específicos R (residencial) círculos referidos al eje vertical izquierdo y Comercial y Entes Oficiales (C+EO) referidos al eje vertical derecho. Los consumos específicos que se grafican son los promedios diarios mensuales como función de la temperatura media mensual. Los datos corresponden a todo el país. Fuente de los datos ENARGAS

A medida que la temperatura disminuye, el consumo aumenta por la necesidad de un mayor aporte de energía para la cocción, el calentamiento de agua y fundamentalmente en la calefacción. Una vez que toda la calefacción existente en las residencias se ha encendido, el consumo de gas tiende a estabilizarse en su valor máximo. La implicancia de este gráfico es de mucha relevancia en el sistema de gas argentino y la forma de esta dependencia del consumo específico con la temperatura puede modelarse muy bien. Se observa en esta figura que los consumos específicos R y C+EO tienen dependencia muy regular con la temperatura, independiente del tiempo y del contexto económico. Por lo tanto, es posible afirmar que durante el periodo 1993 a 2005, el comportamiento de los usuarios R y C+EO fue muy poco elástico y constante en el tiempo. *Es decir, los patrones de consumo por usuario R y C+EO sólo dependen de la temperatura y no del tiempo.* Como ensayo del modelo, el mismo se usó para “predecir” los consumos de 2006 y se comparó con los consumos efectivamente ocurridos. Este ensayo fue exitoso y brinda confiabilidad al modelo. Desde luego, esta observación debe ser reexaminada periódicamente para constatar su vigencia, pues es posible que cambios significativos en el precio del gas o en las tecnologías usadas puedan alterar este comportamiento. La relevancia de las curvas continuas de la figura 7 es muy significativa, ya que las mismas dependen de solo cuatro parámetros. De este modo es posible construir un modelo muy simple y robusto para proyectar los consumos R y C+EO.

Por su parte el cambio en el tiempo del número de usuarios R y C+EO, ilustrado en la figura 8, muestra una variación suave en el tiempo y con tendencias que permiten proyecciones confiables en el corto y mediano plazo, en particular una vez que las transformaciones económicas y sociales se estabilizan. Por ejemplo, el número de usuarios R tiene una tendencia bien definida hasta noviembre de 2001 y otra también definida, aunque distinta, con posterioridad al año 2002. En otras palabras, en el

sistema argentino, las recesiones afecta al número de usuarios pero no sus pautas de consumo.



**Figura 8.** Variación del número de usuarios R y C+EO, en el ámbito de todo el país. Se observa que el número de usuarios tiene un comportamiento de variación suave y con tendencias fácilmente caracterizables y simples de modelar. Fuente ENARGAS.

De esta forma, es posible realizar modelos de proyección para estas componentes del consumo (R y C+EO), que dependen, por una parte de las temperaturas medias y por otra del número de usuarios. Si bien no es posible conocer las temperaturas del futuro, es razonable suponer que los escenarios térmicos que se prestarán en un futuro a unos pocos años vista, serán similares a los que han ocurrido en los años recientes.

Para proyectar el número de usuarios R y C+EO se consideró que la tasa de crecimiento del número de usuarios disminuye linealmente desde los valores actuales hasta alcanzar el crecimiento vegetativo al fin del período de análisis (año 2025).

## Demanda de GNC

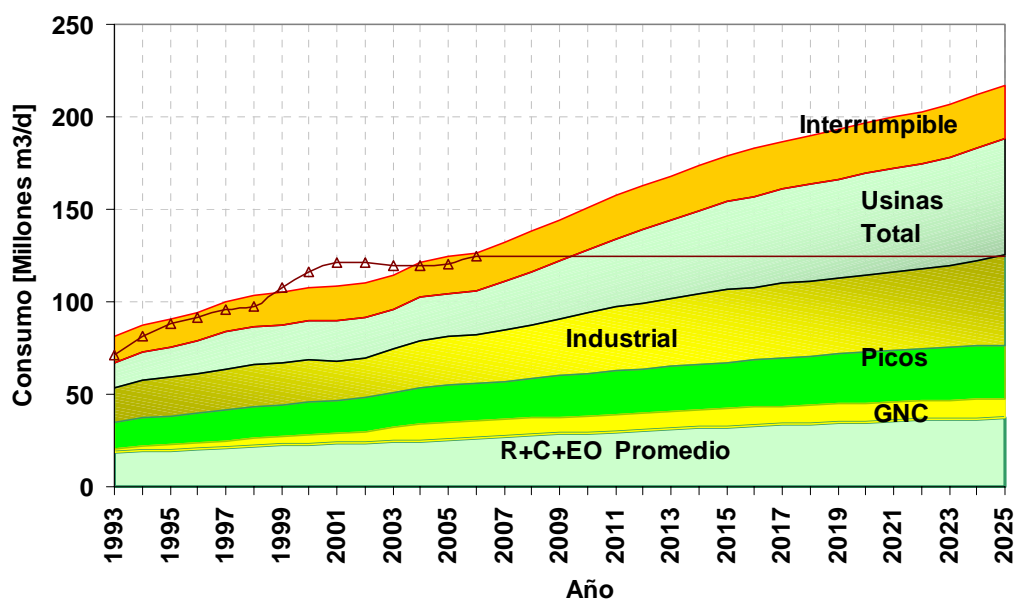
El consumo de GNC en Argentina ha tenido en general un gran crecimiento a lo largo de su relativa corta historia. Su uso comenzó en el año 1984 y actualmente el porcentaje de vehículos a GNC en Argentina es de aproximadamente el 20% respecto del total del parque automotor. Este crecimiento ha experimentado importantes variaciones en años recientes. Desde hace más de 12 años, Argentina es el país con el mayor parque automotor impulsado a GNC, con más de 1,400,000 vehículos.

El consumo de GNC no tiene una dependencia con la temperatura, aunque sí tiene una cierta estacionalidad. En particular se observa una disminución en el consumo en los meses de enero (-15%) y febrero (-10%). Esta disminución en los meses de verano probablemente esté asociada a la disminución de la actividad económica como consecuencia de las vacaciones. También el traslado, en vacaciones, de una fracción de los vehículos a zonas sin abastecimiento de GNC, puede contribuir a la disminución del consumo.

## Proyecciones de la demanda de gas natural total a mediano y largo plazo

Los modelos desarrollados para predecir las distintas componentes de consumo de energía hacen posible estimar los consumos a futuro. Un dato importante en la predicción de los consumos es la evolución futura del PBI del país. Esta variable, en el caso de Argentina, mostró un comportamiento más bien errático como se ilustra en la figura 5.

Dada la complejidad de la evolución de esta variable, no resulta posible realizar proyecciones confiables de la misma. Por tal motivo se elaboran diversos escenarios posibles de evolución del PBI. Por ejemplo, y quizás el más pesimista, es suponer que el comportamiento que tuvo el PBI en Argentina en los últimos 30 años es característico del país y por ende posible de repetirse en el futuro. En este escenario, se aplica el crecimiento que mostró el PBI en los últimos 30 años a los próximos 30 años. La única salvedad, es que para tener un empalme suave entre la situación actual y la futura, suavizamos el crecimiento actual (cercano al 9%) con el crecimiento de los próximos dos años.



**Figura 9.** Variación del consumo de gas natural en Argentina a futuro, suponiendo que el país registre crecimientos similares a los observados en España en los últimos 30 años, *escenario “a la española”*. Nótese que en este caso, con un crecimiento anual promedio de PBI del orden del 4.2%, el consumo de gas se duplicaría en los próximos 24 años. Los símbolos triangulares marrones indican la evolución de la oferta de gas natural en Argentina.

Es interesante destacar que el crecimiento promedio de Argentina en los últimos 30 años fue de 1.6%, inferior al crecimiento vegetativo, que fue del 1.9%. Una hipótesis de mínimo crecimiento, sería suponer que la evolución de PBI futuro tendrá las oscilaciones que tuvo el PBI argentino en el pasado, pero con un crecimiento promedio mejorado de 2.4%. Este escenario lo denominamos *“a la argentina mejorado”*.

Otra posibilidad quizás extremadamente optimista, sería suponer un crecimiento alto, similar a los registrados en el lejano oriente que denominamos “*a la China*”. En este caso aplicamos los crecimientos observados en China en los últimos 30 años (crecimiento promedio =6.3%) a la Argentina, siempre usando la técnica de empalme suave. Asimismo pueden adoptarse otros modelos quizás más realistas como los modelos “*a la Canadá*” (crecimiento promedio =4.0%) o “*a la española*” (crecimiento promedio =4.2%). En las figuras 9 y 10 se ilustran las predicciones de nuestro modelo suponiendo un crecimiento “*a la española*”. Aunque es posible que cualquiera de estos escenarios de crecimiento sean quizás demasiado optimista, los mismos son compatibles con los periodos de crecimientos recientes. De todas manera los mismos sirven para establecer escenarios de alto crecimiento.

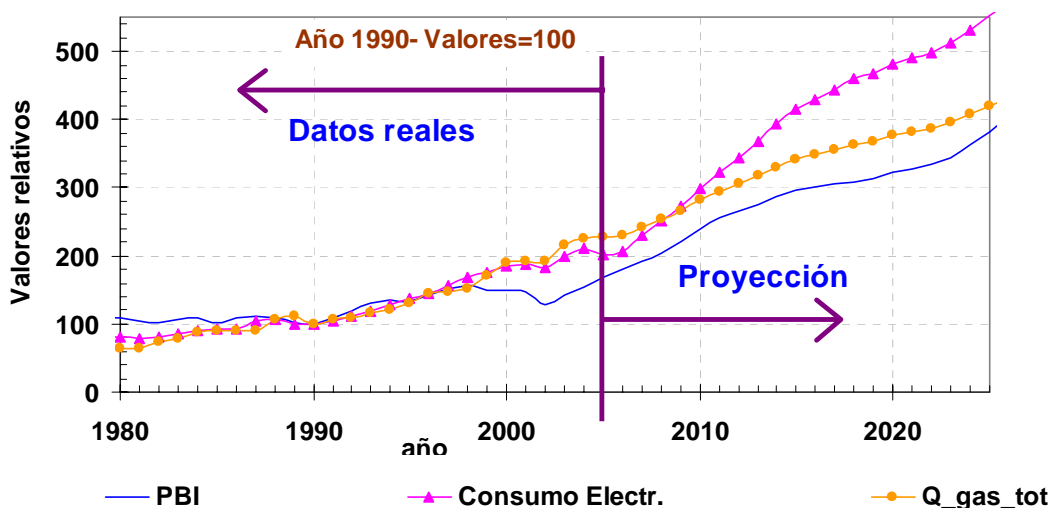
En la figura 9 se incluyó la evolución de la oferta de gas, símbolos triangulares marrones. Actualmente la oferta de gas natural en el país es de unos 128 Millones de m<sup>3</sup> diarios, que sólo de manera indicativa (no real) se mantuvo para los años venideros. Esta curva sólo se incluye para ofrecer una referencia pero no tiene ninguna relación con la posible oferta futura.

En la tabla 1 se resumen algunas conclusiones de estos estudios.

Escenario de crecimiento	Crecimiento promedio del PBI %	Número de años en los que el consumo de gas natural duplicaría su valor actual	Número de años en los que el consumo eléctrico duplicaría su valor actual
“ <i>a la argentina histórica</i> ”	1.8%	35	23
“ <i>a la argentina mejorada</i> ”	2.5%	32	17
“ <i>a la española</i> ”	4.2%	24	14
“ <i>a la EE.UU.</i> ”	3.5%	30	16
“ <i>a la china</i> ”	6.3%	22	11

Es interesante señalar que aún con las bajas tasas de crecimiento registradas en Argentina en las últimas 3 décadas, el consumo eléctrico se fue duplicando cada 15 años (ver figura 5). En el transcurso de estas tres décadas el PBI sólo creció en un 75%. Por lo tanto los datos indicados en la tabla anterior son inconsistentes con lo ya acontecido. Similarmente, el consumo de gas natural se duplicó en los 20 años que transcurrieron entre 1985 y 2005.

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 10 para el caso de Argentina, suponiendo un crecimiento “*a la española*” (4.2%) para los próximos 25 años.



**Figura 10** 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.

Es interesante señalar que las tendencias que nuestros modelos predicen, son similares a las que para países emergentes proyecta el Departamento de Energía de EE.UU.

## Conclusiones

Nuestro estudio de los consumos de gas y electricidad indica que es posible modelar adecuadamente estos consumos. Sin embargo para realizar proyecciones a mediano y largo plazo es necesario recrear posibles escenarios de crecimiento económico para proyectar los consumos a futuro. En todos los casos se observa que el consumo de gas se duplicaría en los próximos 22 a 30 años. Si el país registra crecimientos moderados “a la Española” (variación promedio del PBI 4.2%) la duplicación llegaría en 24 años. Nuestro estudio muestra asimismo que el consumo de electricidad parece ser la componente de consumo 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.

Deseo agradecer a la Dra. A. Schwint, al Sr. A. Monti, al Ing. L. Pomerantz, L. Duperon y al Dr. Anibal Gattone por la atenta lectura del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

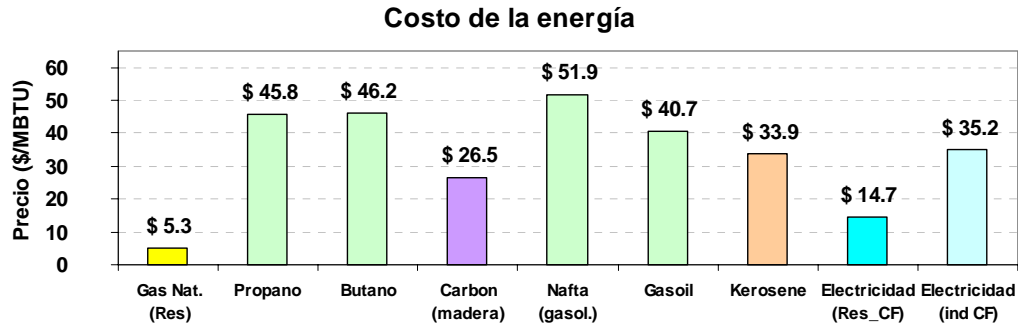
## Costo de la energía en Argentina

*“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 5 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 2 160 000 000 J). Esta energía equivale al contenido energético de 7 litros de nafta o a 8.3 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> de gas natural.



**Figura 11.** 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 m<sup>3</sup> 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 – Consumo de energía y desarrollo humano**

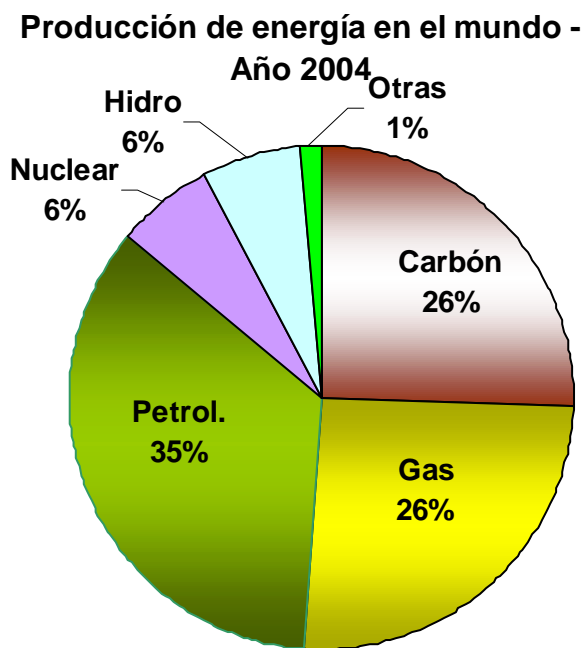
La energía es fundamental para la vida. Los alimentos son una fuente de energía necesaria para realizar las actividades físicas cotidianas (caminar, movernos, etc.) y para mantener el calor del cuerpo (metabolismo). Esta energía se obtiene por combustión de los alimentos con el oxígeno que respiramos. En la Tabla 2 se indican las energías por unidad de tiempo (potencia) para realizar distintas actividades, consumos típicos y la producida por algunas usinas.

	<b>Potencia consumida o producida</b>
Elevar un mosquito	10 <sup>-7</sup> 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 x 10 <sup>8</sup> W
Central Eléctrica Atucha I	300 MW
Total de energía eléctrica máxima consumida Argentina (2005)	17.5 GW=1.75 x 10 <sup>10</sup> W
Total Potencia eléctrica media producida en el Mundo (2005)	1800 GW= 1.8 x 10 <sup>12</sup> W

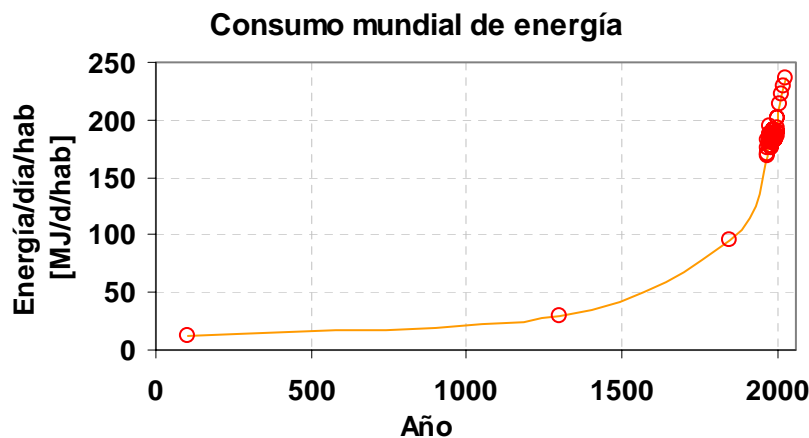
**Tabla 2 .** Energía consumida o producida por algunos sistemas.

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

12 se muestra la composición actual de la matriz energética mundial, que no se espera se modifique significativamente en la próxima década.



**Figura 12.** Producción mundial de energía primaria y su distribución según el tipo de fuente. Basado en datos de EIA- DOE.

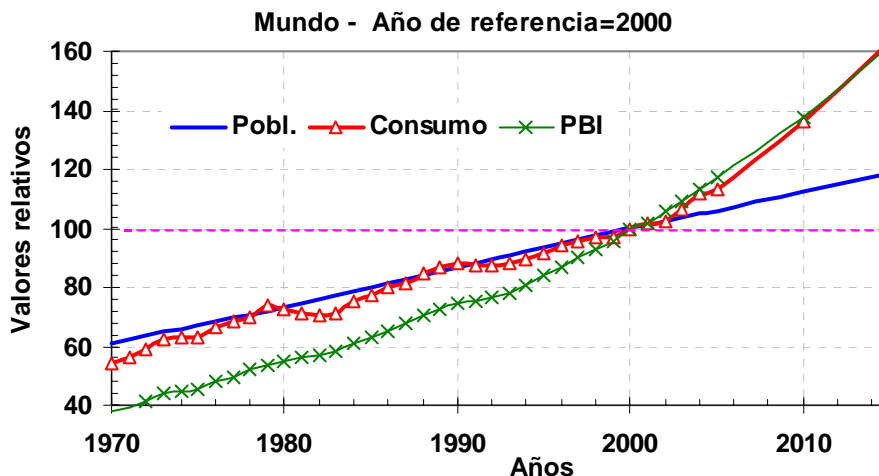


**Figura 13** Variación del consumo promedio per capita a lo largo de la historia. Datos tomados del trabajo “Future of Energy” C. Rubbia.

En la Figura 13 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<sup>Error! Marcador no definido.</sup>. Es claro que todas las predicciones tienen un importante grado de incerteza debido a la dificultad de predecir los escenarios políticos y económicos

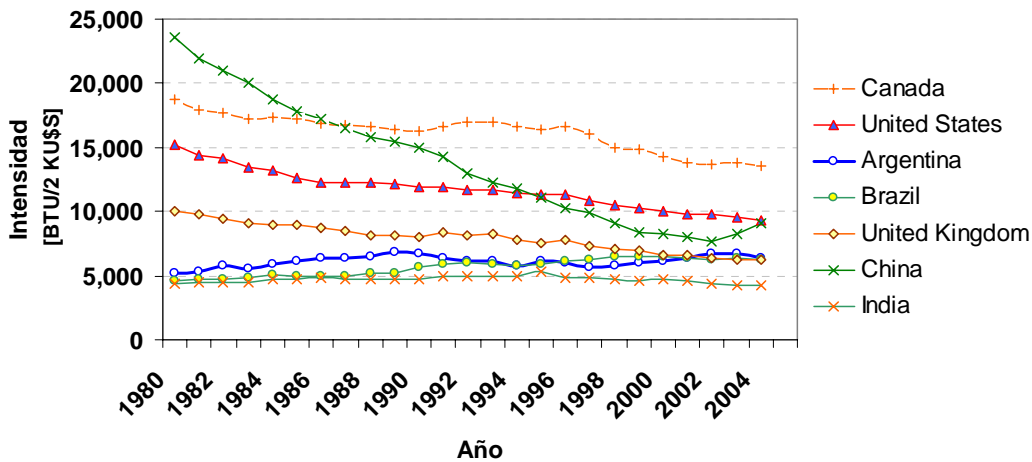
futuros, pero siguiendo las tendencias observadas en las últimas décadas es posible delinear tendencias indicativas. La figura 14 muestra los valores de dichas proyecciones, incluyendo la evolución del PBI global y el número de habitantes en el mundo. Los datos en este gráfico están normalizados, es decir están expresados en unidades relativas, de modo que al año 2000, las tres variables tienen el valor de 100.



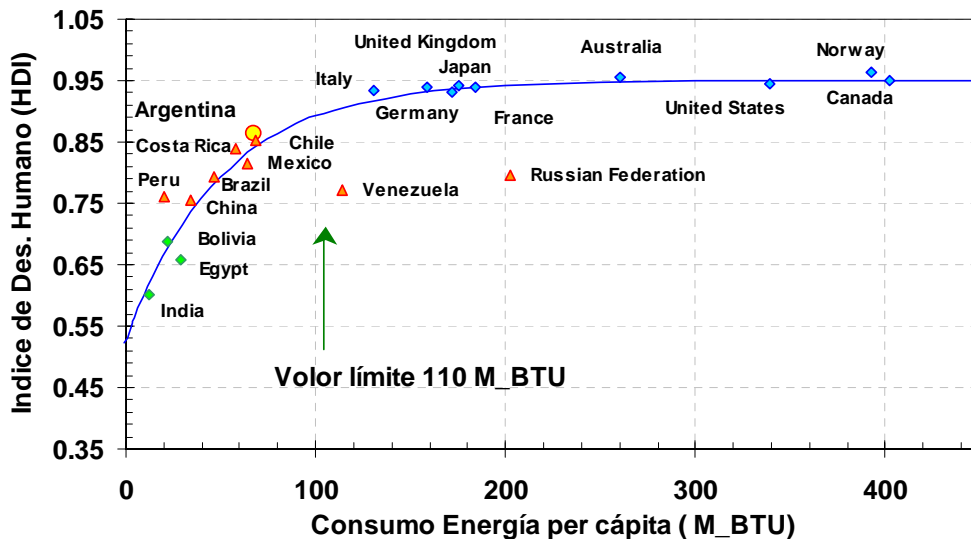
**Figura 14** Variación de la población mundial (línea azul), PBI mundial (línea verde) y consumo de energía en valores relativos, tomando como base el año 2000 en el que se toma el valor de todas estas variables igual a 100. Se observa que tanto el PBI como el consumo de energía total crecen más rápidamente que la población. Basado en datos de EIA- DOE.

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 15 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 14** Variación de la intensidad de uso de la energía total como función del tiempo para un grupo de países. La unidad usada en le escala vertical es la cantidad de BTU necesaria para producir 2 mil dólares de EE.UU. 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



**Figura 16** 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 Unidas y la EIA- DOE.

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 Unidas 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 16. 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. Asimismo, esta figura sugiere que es posible lograr aumentar la calidad de vida de las sociedades manteniendo un moderado del consumo de energía. Un menor uso de energía contribuye a moderar el impacto ambiental producida por su uso intensivo.

## Bibliografía

- 
- <sup>1</sup> *Generalized model of prediction of natural gas consumption* - S.Gil and J. Deferrari, Journal of Energy Resources Technology Journals of The American Association of Mechanical Engineers.(ASME International), Vol. 126 June. 2004.
  - <sup>2</sup> *Annual Energy Outlook 2006 with Projections to 2030*, Report #:DOE/EIA-0383(2006) February 2006 <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html>
  - <sup>3</sup> *Secretaría de Energía de la Nación Argentina*. <http://energia3.mecon.gov.ar>
  - <sup>4</sup> *Ente Nacional Regulador del Gas*, [www.enargas.gov.ar](http://www.enargas.gov.ar)
  - <sup>5</sup> *The Energy Challenge*, Stephen G. Benka -Physics Today April 2002 AIP. <http://www.physicstoday.org/vol-55/iss-4/p38.html>
  - <sup>6</sup> *The future of energy*, Carlo Rubbia, 18th IAEA Fusion Energy Conference, Sorrento, Italy, 4th October 2000. [www.iaea.org/programmes/ripc/physics/fec2000/pdf/akms\\_1.pdf](http://www.iaea.org/programmes/ripc/physics/fec2000/pdf/akms_1.pdf)
  - <sup>7</sup> *Human Development Report 2006* – Naciones Unidas - <http://hdr.undp.org/>
  - <sup>8</sup> *Renewable and Appropriate Energy Laboratory*- Understanding and Exploring the Future of our World's Energy. University of California, Berkeley. <http://rael.berkeley.edu/about>