

Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013
Buenos Aires, Argentina – 25, 26 y 27 de Septiembre de 2013

CATEGORIZACIÓN RACIONAL DE USUARIOS RESIDENCIALES -
HERRAMIENTA PARA PROMOVER UN USO MÁS EFICIENTE DEL GAS

Salvador Gil^{1,2} y Roberto Prieto¹
sgil@unsam.edu.ar

¹ Gerencia de Distribución - ENARGAS - Suipacha 636 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires (1008) Argentina.
² Universidad Nacional de San Martín, ECyT - Campus Miguelete- San Martín - Buenos Aires. (1650) Argentina.

RESUMEN: El propósito de este trabajo es analizar cómo se distribuyen los usuarios residenciales según su consumo anual de gas. Un hecho notable es que si bien el consumo varía de región en región, existen patrones comunes que posibilitan diagnosticar distorsiones en el consumo de gas en la Argentina. Los usuarios residenciales se categorizan en ocho subgrupos, de acuerdo a su consumo anual. En base a esta división se aplican tarifas y cargos diferentes. Este análisis permite diseñar un esquema de categorización de los distintos segmentos de consumo que tiende a promover un uso más racional y eficiente del gas natural y los sobreconsumos que se observan en algunas regiones. Se busca diseñar un modelo para categorizar a los usuarios residenciales que, respetando los escenarios térmicos prevalentes en las distintas regiones, sea equitativo para todo el país.

Palabras clave: Uso eficiente de la energía, consumo de gas, distribución del consumo, ahorro energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

“La Eficiencia Energética es una fuente de energía de bajo costo que no contamina”

INTRODUCCIÓN

En Argentina, los usuarios residenciales (R) utilizan aproximadamente el 22% del volumen total de gas natural consumido. Por su parte, los usuarios comerciales (C) y entes oficiales (EO) utilizan un 8% del total. De este modo, este grupo de usuarios (R+C+EO) consumen el 30% del gas y están en la máxima prioridad de abastecimiento. Este sector de la demanda es fuertemente termo-dependiente; en los meses de invierno su participación alcanza el 60% del consumo total de gas natural (S.Gil, 1999; Gil, 2002; Gil & et , 2004).

El objetivo de este trabajo es relacionar los escenarios térmicos prevalentes en cada región de la Argentina con sus consumos medios y analizar la distribución del consumo de los usuarios residenciales en distintas regiones del país. Según en consumo anual del año anterior, los usuarios residenciales se dividen en ocho categorías: R1, R21, R22, R23, R31, R32, R33, y R34. Según esta categorización, se aplican tarifas y cargos diferenciados.

Si para una determinada región de abastecimiento, tomamos un intervalo de consumo, por ejemplo de 100 m³ a 200 m³ por año, y contamos el número de usuarios de esta región cuyos consumos anuales están dentro de este intervalo, seguidamente, hacemos lo mismo para el siguiente intervalo (200 a 300 m³/año) y así sucesivamente, podemos construir un histograma que muestre la *distribución de consumo* en la región analizada. Para lograr una distribución libre de distorsiones, es necesario separar aquellos usuarios cuyas viviendas estuvieron desocupadas por alguna fracción del año. Esto se puede lograr discriminando a aquellos usuarios que, en algún bimestre, tuvieron “facturación mínima”, o sea que, prácticamente, no tuvieron consumo ese bimestre, lo cual es indicativo de que la vivienda no estuvo habitada o no hubo consumo de gas.

Si se realiza este procedimiento para las distintas regiones del país, se observa que en todos los casos la distribución obtenida tiene la misma forma y se puede describir muy bien por una *distribución log-normal* (Wikipedia, 2013). En el Apéndice A se discuten las propiedades de esta función. En la Figura 1 se muestra la distribución de consumo para el caso de los usuarios de la distribuidora Metrogas del año 2006 y un ajuste de los datos usando la distribución log-normal.

¹ Gerente de Distribución - ENARGAS - Suipacha 636 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires (1008) Argentina.

² Prof. De la Universidad Nacional de San Martín, ECyT - San Martín - Buenos Aires. (1650) Argentina.

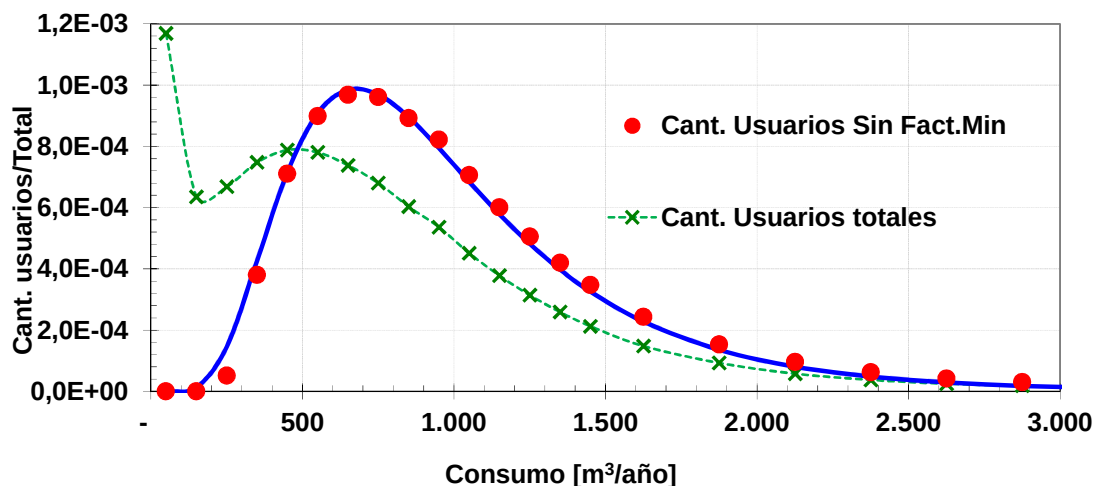


Figura 1: Distribución del número de usuarios según su consumo anual. En el eje horizontal se representa el consumo anual y en el eje vertical la cantidad de usuario en cada intervalo de consumo dividido por la cantidad total de usuarios, es decir, la probabilidad de usuarios en cada rango de consumo. Por otra parte, el área bajo estas curvas está normalizada a la unidad. Los círculos rojos representa la distribución de usuarios sin “Factura mínima”. Las cruces representa la distribución del total de usuarios con “Factura mínima”. La curva sólida continua, que ajusta a los círculos rojos, es la distribución log-normal (Wikipedia, 2013).

Una característica interesante de esta distribución es que, si particionamos la población total en cuatro grupos de igual tamaño de población o cuartiles; el primer cuartil lo constituye el cuarto de la población de menor consumo y así sucesivamente. Es claro que, por construcción, cada cuartil contiene el mismo número de usuarios. Sin embargo, la cantidad de gas que cada cuartil consume no es igual, sino que se distribuye como se ilustra en el inserto “Consumo de Gas” de la Figura 2. Un hecho notable es que mientras el primer cuartil consume el 13% del gas, el cuarto captura el 42% del total.

Este hecho en sí mismo, pone en evidencia lo inadecuado que resulta generar un subsidio que no discrimine a los usuarios según sus consumos. En general, los usuarios que caen en los cuartiles más altos son los de mayor ingreso, subsidiar a estos sectores, además de innecesario, genera un costo mucho mayor (42%) que aplicar el subsidio a los cuartiles de menor consumo (13%). Por otro lado, un subsidio a sectores que no lo necesitan, tiende a generar hábitos de uso poco eficiente, que se prolongan en el tiempo, y son altamente costosos.

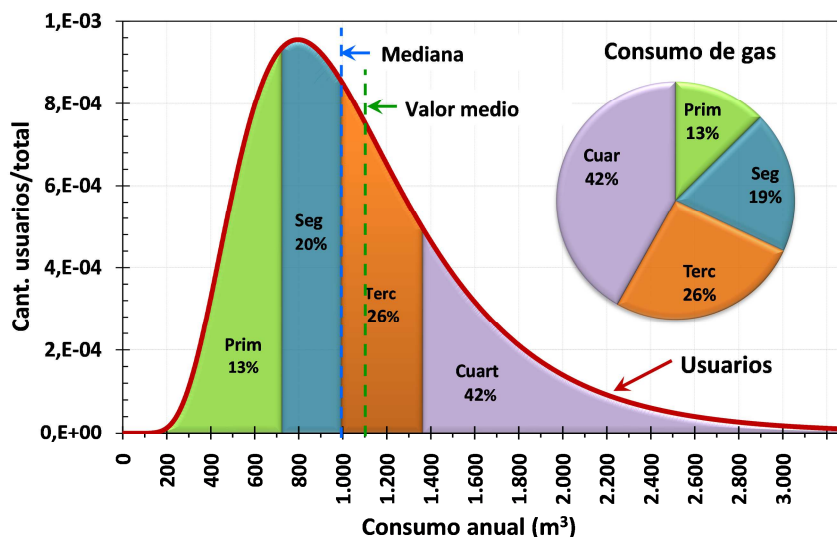


Figura 2: Distribución del número de usuarios según su consumo anual, dividido en cuartiles de igual número de usuarios. En el diagrama circular se indica la distribución del total del gas consumido por cada cuartil. Se observa que mientras el primer cuartil consume el 13% del total, el cuarto consume el 42% de ese mismo total. En una distribución asimétrica como la presente el valor medio y la mediana no coinciden.

El consumo de gas natural tiene un carácter termo-dependiente que ha sido analizado extensamente (S.Gil, 1999; Gil, 2002; Gil & et, 2004). Una característica del consumo de gas residencial es que el *consumo específico* (ENARGAS, 1992), o sea el consumo diario por usuario, tiene un comportamiento muy similar en todo el país. Varios trabajos indican que el consumo residencial (R) depende, fundamentalmente, de las *Temperaturas Efectivas Medias Diarias* (ENARGAS, 1992).

El consumo residencial aumenta al disminuir la temperatura por incremento del consumo en calefacción. A altas temperaturas, mayores a unos 20 °C, el consumo se estabiliza en un valor aproximadamente constante cercano a 2 m³/día.usuario, que está asociado al llamado *consumo base*, constituido por la cocción y el calentamiento de agua sanitaria.

En el presente estudio, se analizaron por separado, las distribuciones de consumo de cada una de las subzonas tarifarias del país, desde el año 2006 al año 2012. Todas las regiones analizadas, muestran distribuciones *log-normales*, similares pero con distintos valores medios y desviaciones estándares (ver Apéndice A). De cada una de estas curvas de distribución, se pueden obtener los parámetros que caracterizan estas distribuciones, en particular los valores medios, desviaciones estándares y medianas, entre otros, para cada subzona tarifaria y para cada año analizado.

Estas curvas de distribución del consumo, tienen la característica de ser similares a las que se muestran en las Figuras 1 y 2. La mediana de cada una de estas distribuciones, es decir, el consumo que divide cada población de usuarios en dos mitades iguales, que designamos como $Q_{mediana}$, está relacionado con el consumo promedio por usuario, obtenido de los datos de consumo total reportado por las distribuidoras y publicados en la Página Web del ENARGAS (ENARGAS, 2013). Este consumo medio anual, Q_{medio} , obtenido del cociente entre el consumo residencial total y el número de usuarios de cada mes o año, se relaciona con $Q_{mediana}$, como se muestra en la Figura 3.

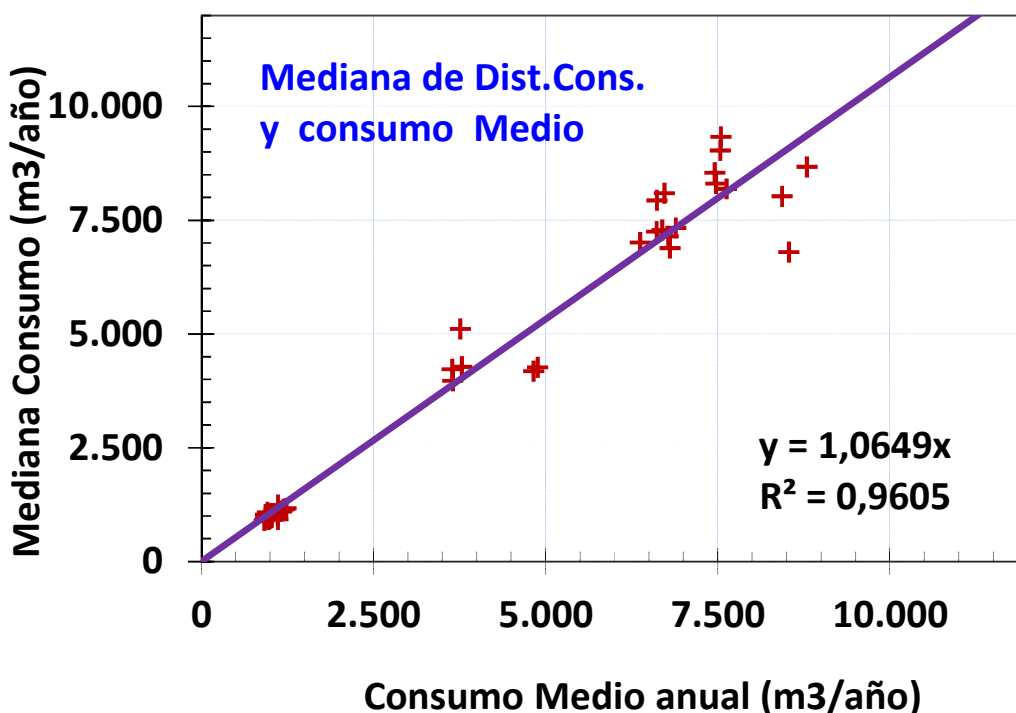


Figura 3: La mediana de la distribución del consumo, $Q_{mediana}$, de la curva de la Figura 2, como función del consumo medio por usuarios, Q_{medio} , obtenido de los datos de consumo medido por las distribuidoras. Las cruces muestran los valores observados para las distintas subzonas tarifarias y los diversos años analizados.

Las características matemáticas de la distribución *log-normal*, se describen en el Apéndice A. La conexión entre los parámetros de la distribución *log-normal* y el consumo medio, como el ilustrado en la Figura 3, es de mucha utilidad. El consumo medio se puede obtener de modelos, usando los registros históricos de temperatura de cada región. Así, de la conexión entre consumo medio y mediana, es posible inferir las distribuciones de consumo en cada subzona tarifaria, partiendo de los registros históricos de las temperaturas en cada región.

MODELO DE PREDICCIÓN DE CONSUMOS MEDIOS

El consumo residencial diario, se compone de un consumo base, asociado al calentamiento de agua y cocción, que es aproximadamente constante a lo largo del año. Por su parte el consumo asociado a la calefacción que es fuertemente dependiente de la temperatura, más específicamente, el consumo de calefacción depende de la diferencia entre una temperatura de referencia, T_{ref} , y la temperatura media exterior, T_{med} . A esta diferencia la llamamos *Deficiencia Grado Día diaria* ($DGD_d = (T_{ref} - T_{med})$). En el Apéndice B se presenta una justificación física de esta dependencia, pero es claro que las pérdidas de calor serán proporcionales a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de las viviendas, es de esperar que T_{ref} sea cercana a la temperatura de confort. En general se adopta como temperatura de referencia, $T_{ref} = 18^\circ\text{C}$. Por lo tanto, cuando se requiere calefacción, el consumo diario promedio por usuario, $Q_{R-usuario}$ para un día i , será:

$$Q_{R-usuario(i)} = Q_{base} + B \cdot (T_{ref} - T_{media(i)}) \Big|_{T_{media} < T_{ref}} \quad (1)$$

Aquí $Q_{base} \approx 2 \text{ m}^3/\text{día}$ y B una constante de proporcionalidad que depende de la superficie media de la envolvente de la vivienda y su conductividad térmica promedio, se supone que T_{media} es menor a T_{ref} , en caso contrario, no hay consumo por calefacción. De este modo, el consumo anual, destinado a la calefacción resulta proporcional al parámetro:

$$DGD_a = \sum_{i=1}^{i=365} (T_{ref} - T_{media}) \Big|_{T_{media} < T_{ref}}, \quad (2)$$

conocido como la *Deficiencia Grado Día* anual (DGD_a) de cada zona.

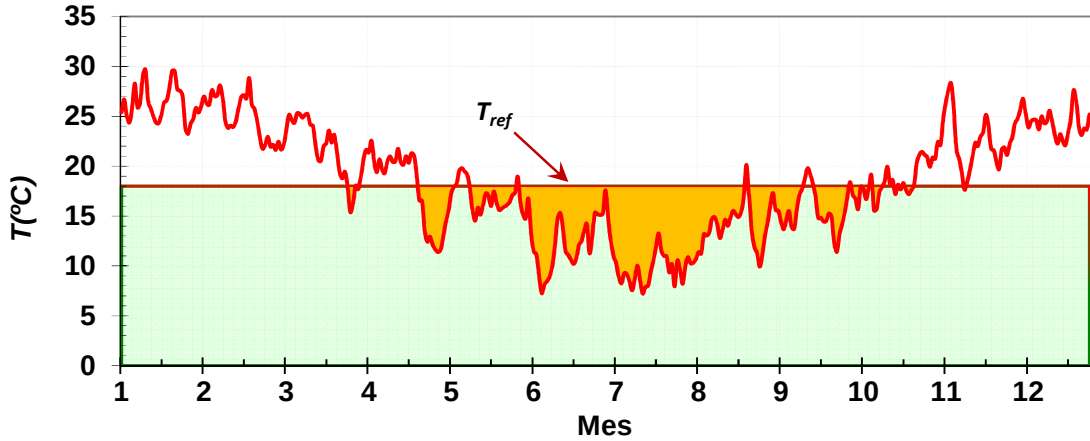


Figura 4. Representación de la temperatura media diaria a la largo de un año, la línea horizontal, representa la temperatura de $T_{ref}=18^\circ\text{C}$, la DGD_a viene dada por el área sombreada de esta gráfico.

Si se grafica la temperatura media diaria a la largo de un año, como se ilustra el la Fig. 4, la DGD_a viene dada por el área sombreada de esta gráfico. Cuando más grande esta esta área, mayor será el consumo destinado a calefacción.

Definimos el consumo específico como el consumo medio diario por usuario. Este valor se puede obtener dividiendo el consumo diario residencial total, por el número de usuarios. En la Figura 5 se muestra la variación del consumo específico como función de la DGD_d para varias regiones del país. Tomando como base los datos de consumos mensuales desde 1993 a 2012.

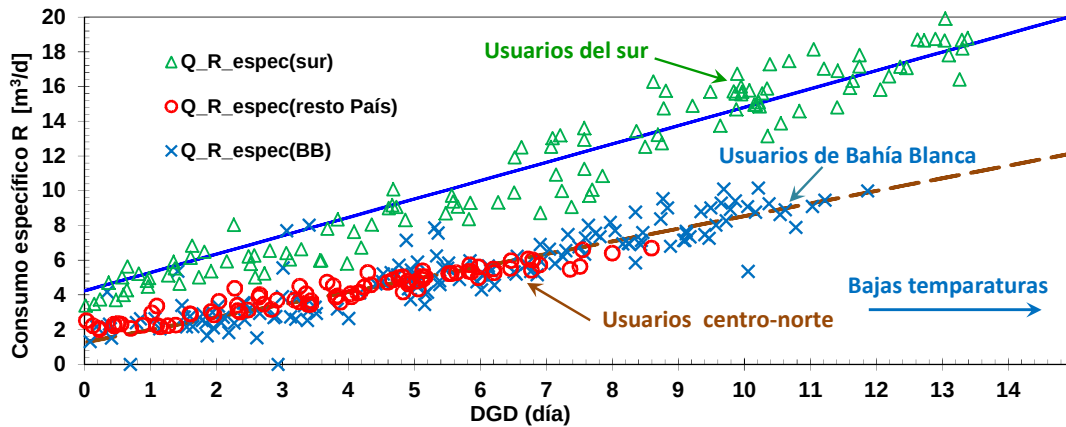


Figura 5: Variación del consumo específico o sea el consumo residencial diario por usuario como función de la Deficiencia Grado Día diario (DGD_d). Los símbolos corresponden a los consumos diarios medios de cada mes, la DGD_d es, asimismo, el promedio de la deficiencia grado día del mes. Los círculos corresponden a los usuarios de la zona central y norte de país. Las cruces pertenecen a la zona de Bahía Blanca y los triángulos a los usuarios al sur del Río Colorado. La línea sólida marrón, es un ajuste a los datos de la zona centro y norte del país. Se observa que un determinado valor de la DGD, o sea a una dada temperatura, en el sur se consume aproximadamente el doble que en el resto del país.

La Figura 5 muestra que el consumo específico destinado a calefacción varía linealmente con DGD_d. De esta forma se espera que el consumo anual resulte, asimismo, proporcional a la DGD_a. Es interesante señalar que varias normas internacionales y nacionales, que permiten estimar los consumos de calefacción, utilizan la proporcionalidad del consumo de energía con la DGD_a (IRAM, 2001). Así de la línea marrón de la Figura 5, que describe un consumo medio diario, se puede obtener el consumo medio anual de gas, dependiente de la DGD_a según la expresión:

$$Q_{R_{medio}} \left[\frac{m^3}{año} \right] \approx 0,60 \cdot DGD_a + 500 \quad (3)$$

CONSUMOS EN LA REGIÓN SUR DE ARGENTINA

Como puede verse de la Figura 5, los usuarios al sur del Río Colorado tienen un comportamiento diferente al resto del país. Estos usuarios están representados por los símbolos triangulares en esta figura y genéricamente lo designamos como sur. Para un valor de la DGD_d, en el sur se consume aproximadamente el doble que en el resto del país. En otras palabras, a una misma temperatura diaria, el consumo por usuario en el sur es el doble del consumo por usuario del centro o norte de la Argentina. Un hecho notable de esta figura, que ilustra y en cierto modo explica la diferencia de consumo entre la zona centro-norte y sur, es el comportamiento de la subzona Bahía Blanca, representado por cruces. Esta subzona tiene temperaturas intermedias entre las dos regiones (centro-norte y sur), sin embargo su comportamiento cae en la misma sistemática de la región centro-norte. Consistente con el hecho de que el subsidio de la zona sur, no llega a Bahía Blanca. Por lo tanto, sugiriendo que la explicación de este comportamiento diferente entre las regiones centro-norte y sur, es consecuencia de estos subsidios.

Este patrón en el comportamiento de los usuarios se ha mantenido prácticamente invariable a lo largo de los últimos 20 años⁶. Varios estudios independientes (González, et al., 2006) indican que los requerimientos de energía en viviendas del sur, tiene un consumo anual por metros cuadrados [m^2] de más del doble que los valores correspondientes en viviendas de países de Europa (Suecia, Alemania y Holanda) con condiciones climáticas similares. Toda esta información y análisis indica que es necesario promover medidas que tiendan a generar conductas que promuevan un uso más eficiente del gas y, en general, de la energía en todo el país, pero particularmente en el sur.

Este patrón de consumo, en gran medida, puede explicarse por la diferencia tarifaria. El costo del gas natural en la Zona sur es aproximadamente la mitad del costo de las zonas del resto del país. **Nótese que este incremento de consumo de la Zona sur respecto del resto, se observa a una misma temperatura.** El hecho de que en el sur las temperaturas medias son menores que en el resto del país, se refleja en que los datos de consumos específicos de la Zona sur se agrupan con mayor frecuencia o probabilidad en la zona de más bajas temperaturas, o sea mayores valores de DGD_d, de la Figura 5.

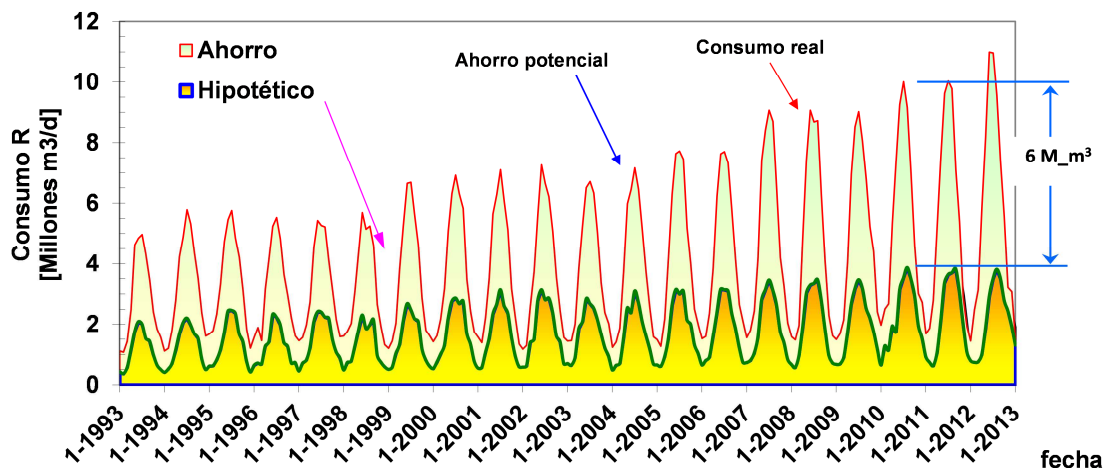


Figura 6: Variación de los consumos residenciales totales en la zona sur. La curva delgada superior (roja) representa los consumos realmente observados. La curva que rodea el área amarilla (oscura) representa el consumo residencial de la zona sur si esta región tuviese un consumo específico como el resto del país, pero respetando sus escenarios térmicos reales. El área verde (superior) indica la magnitud del posible ahorro de gas, cuya aproximación sería de unos 6 millones de m^3 /día en los días más fríos (S.Gil, 2009).

En la Figura 6 se muestra la variación del consumo diario a lo largo del tiempo en la zona sur. La curva delgada superior (roja) indica la magnitud de los consumos residenciales realmente observados. La curva de trazo grueso inferior (verde) indica la *variación hipotética* del consumo en la zona sur si ésta tuviese el mismo comportamiento que el resto del país, pero con escenarios térmicos propios de la zona sur. Esto último supondría que el consumo en el sur, tuviese el comportamiento ilustrado por la curva marrón (usuarios del norte y centro del país) de la Figura 5. Es interesante notar que la magnitud de los posibles ahorros de gas es del orden de 6 millones de metros cúbicos diarios en los días de mayor consumo.

La magnitud de estos volúmenes de gas es muy significativa que, convertida en potencia eléctrica, podría abastecer una central de ciclo combinado de unos 1200 MW, equivalentes a la energía producida por una central eléctrica del tamaño de Embalse de Río III y dos centrales como Atucha I combinadas.

Esta distorsión en los consumos tiende a perpetuarse en el tiempo, debido a que los umbrales establecidos para caracterizar a los usuarios residenciales, en sus distintas categorías tarifarias, es decir, los R_1 , R_{21} , etc. se definieron en base a los datos históricos de consumos, por lo tanto, dichos umbrales de categorización, tienden a mantener las distorsiones.

UMBRALES QUE PROMUEVAN UN USO EFICIENTE DEL GAS

Una posible manera de desestimular el exceso de consumo y al mismo tiempo proteger a los usuarios de menores ingresos, sería redefinir los umbrales de consumo asociado a los distintos usuarios en la zona sur.

Un modelo útil para determinar esos umbrales, de modo racional y equitativo, consistiría en tomar las temperaturas prevalentes en cada subzona, a partir de la *Deficiencia Grado Día_anual* de esa zona y calcular el consumo medio esperado, usando la curva marrón de la Figura 5. Conociendo el consumo medio esperado, es posible construir la distribución de consumo para cada región, similar a la Figura 2. Ver Apéndice A. De este modo se puede realizar una partición para definir los umbrales de consumo para cada categoría de usuarios.

En Argentina los usuarios residenciales se categorizan en 8 particiones: R_1 , R_{21} , R_{22} , R_{23} , R_{31} , R_{32} , R_{33} y R_{34} según el consumo registrado en su último año. En general los **umbrales** que separan cada partición, reflejan los consumos históricos en cada región que, como señalamos previamente, tienden a perpetuar las posibles distorsiones. Para evaluar cuán adecuados y equitativos son los umbrales vigentes, en la Figura 6 se representan los valores de los umbrales R_{33} en función de las *Deficiencia Grado Día_anual* (DGD_a), obtenida para cada zona promediando sus valores durante los últimos 10 años.

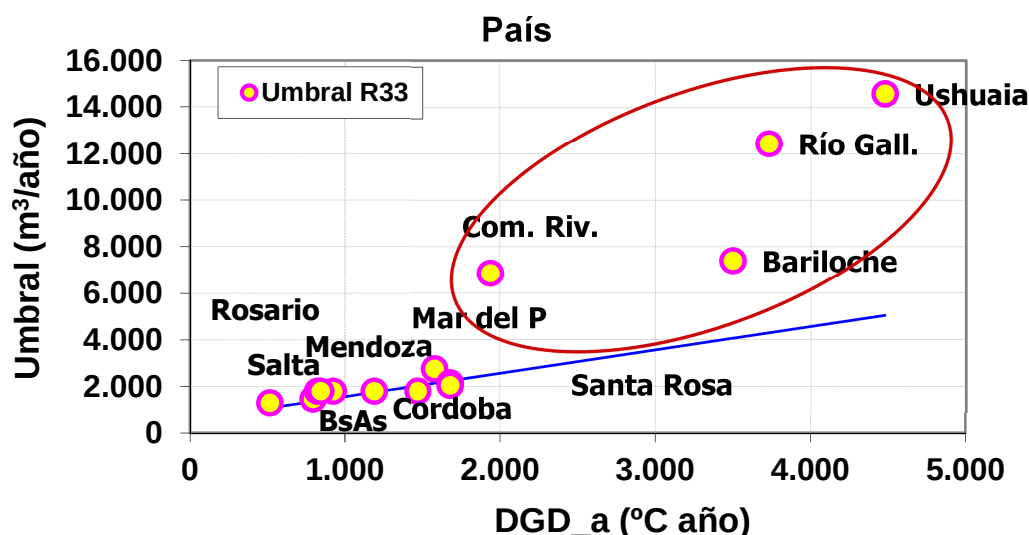


Figura 7: Variación de los umbrales de consumos R_{33} en función de la DGD_a para distintas ciudades del país. La línea continua indica el ajuste lineal de los datos para las ciudades elegidas, excluyendo las del sur. Se observa que las subzonas Tarifarias de la zona sur (dentro del óvalo) tienen umbrales mucho mayores que los que le corresponderían si se usase el criterio prevalente en el resto del país (línea continua).

El hecho que esta relación entre los umbrales de consumos vigentes actualmente y la *Deficiencia Grado Día_anual* (DGD_a), muestren una tendencia lineal, para la mayoría de la zona tarifarias centro-norte, indica que dichos umbrales son adecuados para la gran parte del país. Sin embargo, las regiones ubicadas en el sur, muestran una desviación considerable de esta tendencia, poniendo al descubierto que dichos umbrales están sobreestimados para estas zonas. Si se consideran los umbrales de otras categorías de usuarios residenciales, se obtiene resultados similares. Esta sobreestimación de los umbrales en el sur, tiende a generar hábitos de consumos poco *eficientes e inequitativos*.

DEFINICIÓN RACIONAL DE LOS UMBRALES DE CONSUMO

El criterio que se propone para definir los umbrales de consumo para las distintas categorías es el siguiente: Para cada subzona tarifaria se toma una o dos ciudades de mayor población en la subzona, y para las cuales existan registros térmicos confiables de, al menos, los últimos 10 años. Se adopta como curva de consumo la curva marrón de la Figura 5, o de manera equivalente la Ec.(3), que corresponde a la zona centro-norte del país. Con esta curva se determina el consumo medio anual de la zona. Conociendo el consumo medio anual, de la curva de la Fig.3, obtenemos el valor de la *mediana* de la distribución de consumo:

$$Q_{R_{mediana}} \left[\frac{m^3}{año} \right] \approx 0,639 \cdot DGD_a + 532 \quad (5)$$

Conociendo la *mediana* de la distribución, podemos generar la curva de distribución de los usuarios, similar a la Figura 2, como se describe en el apéndice A. Se divide la población de usuarios en 8 grupos de igual número y se obtienen los umbrales de cada categoría.

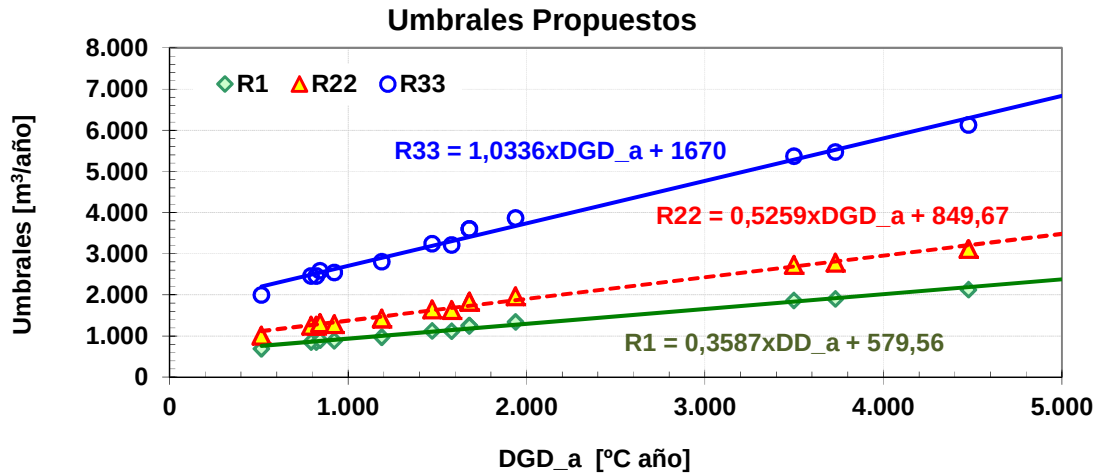


Figura 8: Variación de los umbrales de consumos R_1 , R_{22} y R_{33} en función del DGD_a para distintas ciudades del país, obtenidos con el modelo estándar. La línea continua indica el ajuste lineal a los datos de todas las ciudades del país.

Usando este procedimiento, se obtienen los umbrales que se ilustran en la Figura. 8. El hecho que esta relación, entre los umbrales de consumos propuestos y el consumo medio anual o la DGD_a muestren una tendencia lineal para todas las subzonas tarifarias del país, indica que dichos umbrales cumplen con los requisitos de equidad y racionalidad que se busca.

Si se mantienen subsidios a las categorías más bajas, por ejemplo al primer cuartil del consumo, (R_1 y R_{21}) esto impactaría sólo en una fracción modesta del volumen total de gas, el 13%. Así, se podría continuar beneficiando a muchas familias de menores ingresos, generando a la vez un fuerte incentivo para que los usuarios de categorías más altas efficienten su consumo.

Existen estudios que indican que con, relativamente, modestas inversiones, en mejoras de la aislación térmica en viviendas, tienen un impacto muy importante en el consumo (Volantino, et al., 2008) y justamente los usuarios de las categorías más altas son quienes tienen las mayores posibilidades de realizar estas mejoras. La Figura 9 ilustra claramente que es posible y deseable lograr estos objetivos de eficiencia.

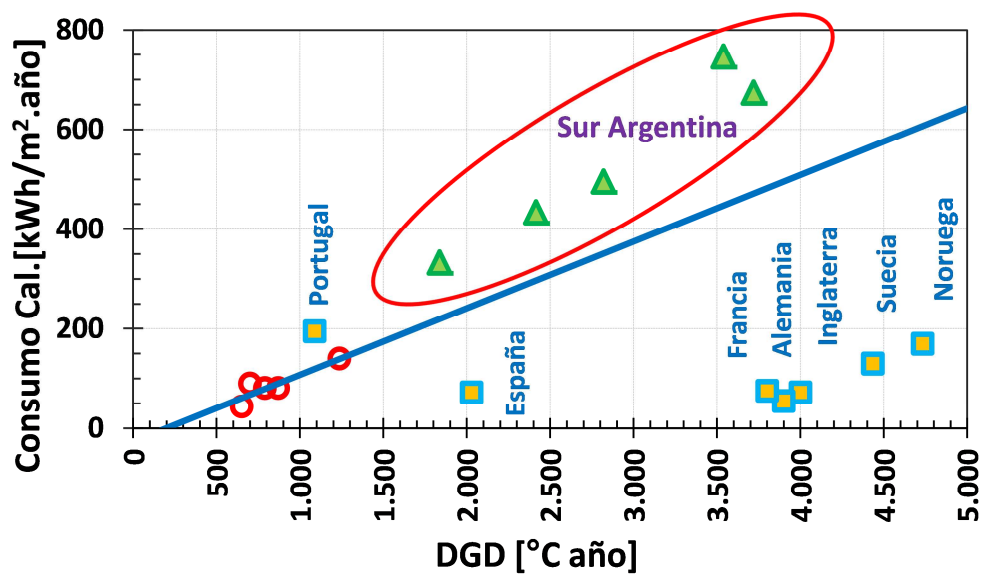


Figura 9: Consumo de energía por metro cuadrado para distintas regiones de Argentina y de Europa como función de la DGD . Los círculos indican consumos en las zonas al norte del Río Colorado. Los consumos al sur están representados en triángulos. El hecho que los consumos en varios países de Europa, con igual o mayor valor de la DGD , sean más bajos que en Argentina, señala la importancia de las buenas prácticas constructivas que han venido impulsando esos países.

En muchos países de la Unión Europea (BPIE, 2011), desde hace varios años, se ha impulsado programas de eficiencia energética en edificios que han logrado bajar el consumo de viviendas familiares a un promedio del orden de los 150 kWh/m².año. Como puede verse en la Figura 9, en Argentina los consumos por calefacción son altamente superiores a los que se reportan para Europa. Este gráfico pone en evidencia que es posible disminuir considerablemente nuestros consumos en calefacción.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se muestra que la distribución del consumo de gas en Argentina sigue una distribución *log-normal*, estando la *mediana* de esta distribución relacionada linealmente con el *consumo medio anual* de cada zona. Este consumo medio anual se puede estimar a partir de la *Deficiencia Grado Día_anual* del lugar.

Asimismo, se propone un esquema de determinación de umbrales de consumo para todas las categorías de usuarios del país intentando establecer un criterio de equidad entre las distintas zonas tarifarias que, respetando las condiciones climáticas de cada lugar, induzca a los usuarios a un uso más racional y eficiente del gas en Argentina.

Un esquema de este tipo permitiría lograr un ahorro importante de gas, cercano a los 6 millones de m³ diarios sólo en el sur que, convertidos en potencia eléctrica, podrían abastecer una central de ciclo combinado de aproximadamente 1200 MW.

En el año 2008 el Poder Ejecutivo Nacional sancionó el Decreto N° 2067/08, el cual establece un *cargo específico* que integra un Fondo Fiduciario para atender las importaciones de gas natural (ENARGAS, 2009). Este cargo se aplica a las categorías de mayor consumo anual, más específicamente, usuarios R₃₁ y superiores. Con este cargo, los usuarios con mayor consumo lo ven reflejado en la facturación. Esto en parte tiende a promover un uso más eficiente pero en particular, en la zona sur, no es suficientemente efectivo, ya que los mismos umbrales de definición de estas categorías, mantienen la distorsión, por lo que, sería conveniente realizar una revisión crítica los valores de la segmentación de las categorías.

Finalmente, dado lo limitado de los recursos energéticos como el gas natural, sería conveniente modificar el esquema de subsidio actual, sin dejar de atender a los sectores de más bajos recurso pero proponiendo un esquema que “premie” el uso eficiente de la energía.

Las opiniones y los puntos de vista vertidos en este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores.

APÉNDICE A - DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL

El consumo de gas, al igual que la distribución del ingreso en un país o el consumo de otras formas de energía, por ejemplo electricidad, tiene distribuciones similares y pueden describirse por la distribución *log-normal* (Souma, 2001; Battistin, et al., 2001). Una característica de esta distribución es que la variable x , que describe el atributo en estudio, por ejemplo el consumo de gas, sólo toma valores positivos. Además la variable $y=\ln(x)$, presenta una distribución normal con media m y desviación estándar σ . Más precisamente, la distribución de probabilidad de la variable x se puede expresar como:

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x \cdot \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (6)$$

Los parámetros μ y σ son características de la distribución y determinan el *valor medio* de dicha distribución de x :

$$Valor\ Medio(x) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}. \quad (7)$$

La *varianza* y *desviación* estándar vienen dadas por:

$$Var(x) = [Desv. Est. (x)]^2 = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}. \quad (8)$$

Por su parte la *mediana* y *moda* de esta distribución son:

$$Mediana(x) = e^{\mu} \quad y \quad Moda(x) = e^{\mu - \sigma^2}. \quad (9)$$

Según se discutió en el texto, con relación a la Figura 3, la estimación de *Consumo Medio* para cada región, se puede obtener del valor de la *DGD_a*, a partir de las temperaturas históricas de dicha región, según la Ec.(3). Asimismo, el valor de la *mediana* se obtiene de la Ec.(5), que se relaciona con los parámetros de la distribución por.

$$e^{\mu} = Q_{R_{mediana}}(\text{modelo}). \quad (10)$$

Por otra parte, de los estudios de las distribuciones de consumo analizadas para las regiones de Argentina, surge una relación empírica entre la *desviación estándar* y la *mediana* de la distribución, como se muestra en la Figura 10.

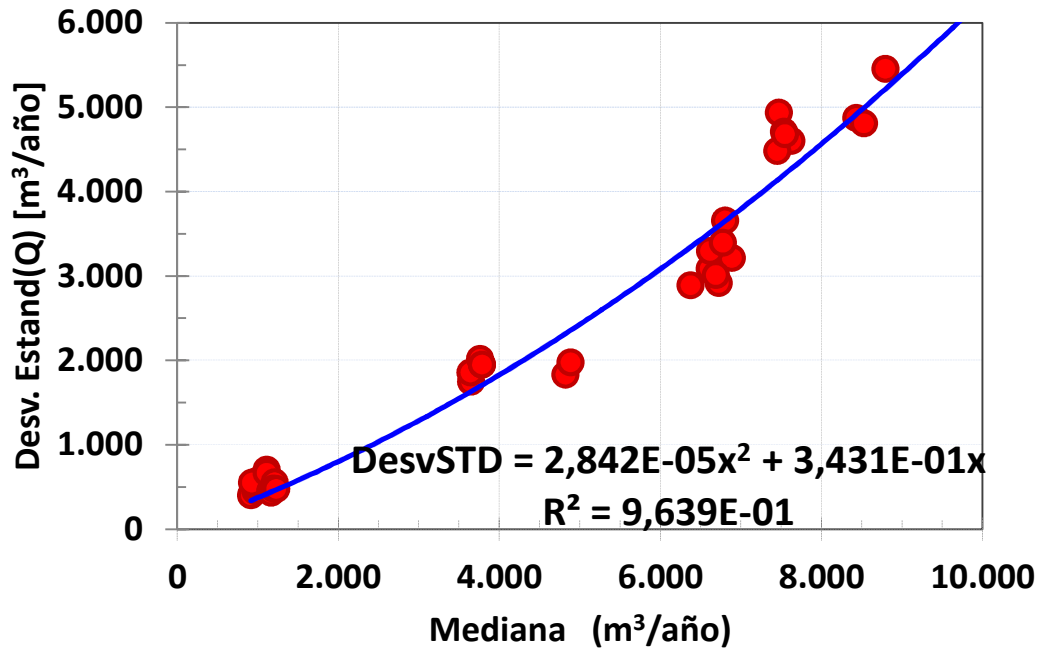


Figura 10: Relación empírica entre la desviación estándar y la mediana de la distribución del consumo anual, Q , por usuario. Los símbolos son los valores obtenidos del estudio de las distribuciones analizadas en distintas regiones del país, comprendidas entre los años 2006 y 2012.

De este modo, desde el modelo de consumo para cada región, podemos obtener la *mediana* de la distribución, Ec.(5) y de la Figura 10, obtenemos la *desviación estándar* de la misma. O sea:

$$Dev. Estándar = \sigma = 1,160 \times 10^{-5} \times DGD^2 + 0,2386 \times DGD + 190,6 \quad (11)$$

Usando entonces las Ecs.(5), (9) y (10) podemos obtener los parámetros μ y σ para cada región y, por consiguiente, la distribución de consumo correspondiente. Por lo que se estará en condiciones de determinar los correspondientes umbrales en que se desee particionar esta distribución de consumo, o sea obtener los umbrales de cada categoría de usuario.

APÉNDICE B - CONSUMO DE CALEFACCIÓN

En este apéndice, deseamos plantear un modelo muy simplificado, pero que hace plausible la dependencia del consumo de gas con el uso de la calefacción, descrito por la Figura 5. Desde luego, la simplificación presentada aquí tiene un carácter didáctico, que hace observable dicha dependencia, más que intentar explicar todos los complejos procesos que tienen lugar en una vivienda (IRAM, 2001).

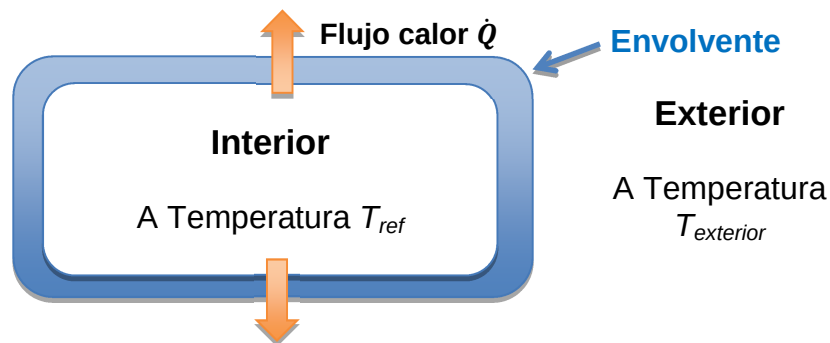


Figura 11: Modelo simplificado de un recinto cerrado a una temperatura interior T_{ref} en un medio externo a temperatura T_{ext} . El flujo de calor $\dot{Q}$ será proporcional a la diferencia de temperatura ($T_{ref} - T_{ext}$) y a la conductividad térmica de la envolvente.

En la Figura 11 se muestra un modelo simplificado de un recinto cerrado a temperatura interior, T_{ref} , en un medio externo a temperatura exterior, T_{ext} . El calor que se pierde por día, $Q_{día}$, será proporcional a la diferencia de temperatura ($T_{ref} - T_{media_exterior}$). De este modo el consumo por calefacción, Q_{cal} , a lo largo de un año resultará:

$$Q_{cal} \approx k \cdot DGD_a, \quad (12)$$

Donde DGD_a, es la *deficiencia grado día* al año, dada por la Ec.(2) y k una constante que depende de la conductividad media de la envolvente y su área. En la Norma IRAM 11604 (IRAM, 2001) se discuten modelos más realistas. Para obtener el consumo residencial, al consumo de calefacción debemos sumar el consumo base, asociado con la cocción y en calentamiento de agua, que es casi independiente de la temperatura.

ABSTRACT: The purpose of this study is to analyze the distribution of the annual consumption of natural gas of the residential sector in Argentina. A remarkable fact is that although consumption varies from region to region, the distribution of consumption follows a similar pattern in all regions studied. Furthermore, this regular behavior allows us to diagnose possible distortions in gas consumption in some regions of Argentina. Residential users are categorized into eight subgroups according to their annual consumption. Based on this division, different rates and charges are applied. This analysis enables us to design a system of categorization of different consumer segments, that, combined with an appropriate tariff policy, can promote a more rational and efficient use of natural gas and avoid disproportionate consumption, observed in some regions. The model proposed seeks to categorize residential users taking into account the thermal scenarios in each region in such a way that the consumers in the colder regions receive additional help but are not stimulated to over-consume.

Keywords: Efficient use of energy, consumption of gas, distribution of consumption of energy, use of energy, reduction of greenhouse gases.

REFERENCIAS

- Battistin, E., Blundell, R. & Lewbel, A., 2001. Why is consumption more log normal than income?. *Unv. of Padova*, 117(6)(<http://www.ucl.ac.uk/~uctp39a/BBL-final-Aug2009.pdf>), pp. 1140-1154.
- BPIE, 2011. *Europe's buildings under the microscope, A country-by-country review of the energy performance of buildings. Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*. [En línea].
- ENARGAS, 1992. *Marco Regulatorio del Gas Ley 24.076 de la Nación Argentina*, www.enargas.gov.ar. [En línea].
- ENARGAS, 2008. *Resoluciones ENARGAS I/409/2008 y Artículo 10 del Decreto 181/04*. [En línea].
- ENARGAS, 2009. *Resolución ENARGAS N° I/615*. [En línea].
- ENARGAS, 2013. *Ente Nacional Regulador del Gas en Argentina*. [En línea].
- Gil, S., 2002. Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo. *Gas & Gas*, Issue 48, pp. 24-30.
- Gil, S. & et , a., 2004. Generalized model of prediction of natural gas consumption. *Journal of Energy Resources Technology*, Junio, Volumen 126, pp. 90-98.
- González , A. D., Crivelli , E. & Gortari, S., 2006. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche. *Instituto Argentino del Petróleo y del Gas*, Volumen 10.
- IRAM, 2001. *Norma Argentina de Aislamiento térmico de edificios, IRAM 11604*. [En línea].
- S.Gil, 1999. Modelo de Predicción de Consumo de gas natural en la República Argentina. *Petrotecnia*, Junio, Issue 3, pp. Sup. Tec. 1 p.1-5.
- S.Gil, 2009. Posibilidades de ahorro de gas en Argentina- Hacia un uso más eficiente de la energía. *Petrotecnia (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas)*, Abril, Issue 2, pp. 80-84.
- Souma, W., 2001. Universal Structure of the Personal Income Distribution. *Fractals*, 9(4), p. 463–470.
- Volantino, V. L. y otros, 2008. Ahorro Energético en el Consumo de Gas Residencial Mediante Aislamiento Térmico en La Construcción. *INTI Construcciones*, Volumen http://www.inti.gob.ar/construcciones/pdf/ahorros_aislamiento_termico.pdf.
- Wikipedia, 2013. *Distribución log-normal*. [En línea].