

Calefacción eficiente: ¿bombas de calor o sistemas tradicionales de calefacción?

Por Raúl Zavallá Lagos (Fundación Pro Vivienda Social), Inés Bove (Udelar), Jorge Fiora (INTI), Pablo Romero (INTI) y Salvador Gil (UNSAM)

Este informe describe los resultados de un estudio sobre el consumo energético en 390 hogares del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) con diversos métodos de acondicionamiento térmico y distintas condiciones socioeconómicas.

El uso de la energía continúa creciendo rápidamente y existe una importante preocupación por los fuertes impactos ambientales, principalmente por su incidencia en el calentamiento global del planeta. A nivel mundial y local, los edificios desempeñan un papel crucial, ya que son responsables de entre el 30% y el 40% del consumo de energía. Este consumo energético en edificaciones residenciales se encuentra estrechamente ligado al clima, las características de las envolventes, la tecnología empleada en sistemas de calefacción y refrigeración, la eficiencia de los artefactos utilizados, los hábitos de los ocupantes y las políticas públicas vigentes.

En el pasado, la eficiencia energética de los edificios era una prioridad relativamente baja en la construcción en la Argentina. Sin embargo,

con el aumento y la conciencia sobre el uso de energía y su impacto ambiental, los avances en tecnologías accesibles, las mejoras en la eficiencia energética de los artefactos de uso doméstico y la tecnología de la construcción, el creciente impacto de los costos de la energía en el presupuesto familiar produjeron que el consumo de energía en los hogares se convierta en una preocupación importante para el sector residencial y comercial.

Además, en Argentina, el consumo de gas para uso residencial y comercial está en el tope de las prioridades de abastecimiento. Cuando llega el invierno, esta componente del consumo de gas presenta un pico. Se incrementa en un factor de alrededor de 5, respecto del consumo estival. Para poder abastecer esta demanda, es necesario recurrir

a cortes de suministro del sector industrial y de generación eléctrica. Esto obliga, además, a importar gas natural licuado (GNL) a precios que en general, más que duplican el valor del gas de producción nacional. De este modo, los picos de consumo invernales, asociados a la calefacción de interiores, tienen un alto impacto en el sistema de abastecimiento de gas argentino, en la producción nacional y en la balanza comercial del país.

En este estudio la atención se centra en el ahorro de energía para calefacción en edificios residenciales en climas templados, como los prevalentes en la zona central y norte de la Argentina, aunque los casos analizados se centran en la zona del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA). Más específicamente se centra dilucidar cuáles de los méto-



dos de calefacción más comunes usados actualmente en el país son los más eficientes y convenientes, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

Para estudiar y caracterizar los consumos se utilizó una metodología mixta: A) Análisis *Top-Down*, es decir basado en datos estadísticos globales de consumos residenciales, disponibles a partir de distintas bases de datos de la Secretaría de Energía de la Nación¹, ENARGAS², distribuidoras³, etc.⁴. B) Análisis *Bottom-Up*, aquí se estudian los consumos detallados de muestras representativas de viviendas individuales, donde se realizaron auditorías detalladas de los consumos de los distintos artefactos que se encuentran en ellas. La metodología de relevamiento utilizada se describe en otras publicaciones⁵, ⁶. Combinando ambos análisis se pudo

lograr una “radiografía” de los consumos domésticos en esta región de la Argentina⁷.

Bombas de calor

Las bombas de calor son equipos muy asombrosos en términos de eficiencia. A primera vista, puede parecer que violan las leyes básicas de la física cuando en realidad no lo hacen, son un subproducto de la termodinámica usada ingeniosamente, que funciona gracias a principios científicos sólidos.

La clave de su eficiencia radica en que se trata de máquinas térmicas que mueven calor de un lugar a otro, como lo hace un refrigerador o heladera, en lugar de generar calor directamente. Por ejemplo, cuando se hace arder un tronco, o se quema

gas (en una estufa o calefactor), el calor almacenado en el combustible es liberado por la reacción química de la combustión con el oxígeno del aire. Cada kilogramo de combustible puede liberar una determinada cantidad de energía, denominado poder calorífico de cada sustancia. Por otro lado, la eficiencia de un calefactor se mide como el cociente del calor que una determinada combustión deja en el interior de un recinto o habitación, sobre el máximo calor que podría ser generado en la combustión de ese combustible. Dado que en la combustión se producen gases calientes y otros productos (CO₂, vapor de agua, NOx, humos o partículas, etc.), que por razones de seguridad y salubridad debemos evitar que queden en el interior de la habitación, parte del calor generado se va con estos productos de combustión al ex-

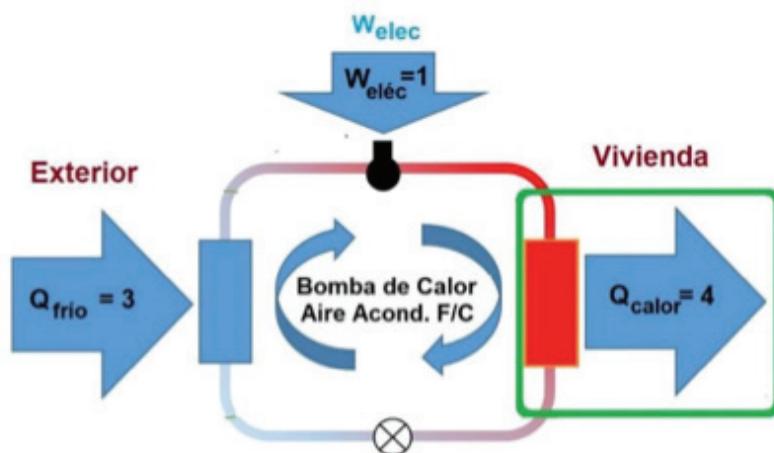


Figura 1. Diagrama esquemático de un acondicionador de aire (frío/calor) o bomba de calor (BC) usado en modo de calefacción. El equipo toma (o roba) calor del medio exterior frío ($Q_{\text{frío}}$), de modo similar a un refrigerador, usando energía eléctrica que hace funcionar el sistema (compresor) W_{elec} , y entrega todo este calor al interior, Q_{calor} . En este ejemplo, para generar 4 unidades de calor, se requiere de una unidad de energía eléctrica, o sea la eficacia de esta BC es del 400%.

terior, a través de las chimeneas. De este modo, la eficiencia en cualquier calefactor que quema combustible es siempre menor del 100%. En el caso de estufas de gas de tiro balanceado, esa eficiencia es en general inferior al 75%. En algunas calderas puede llegar al 80% y quizás algo mayor en las calderas de condensación. En el caso de una bomba de calor usada para la calefacción de un ambiente, como se observa en la figura 1, la situación es diferente.

Para mover calor de un lugar a otro se utiliza una cantidad relativamente pequeña de energía para realizar esta transferencia. Es como si estuvieran reciclando el calor, aprovechando lo que ya está disponible en el aire o en el suelo para calentar o enfriar un espacio.

El coeficiente de rendimiento o performance (*COP*) se define como el cociente entre el beneficio (Q_{calor}) y el costo energético del equipo o bomba de calor, W_{elec} , esto es $COP = Q_{\text{calor}}/W_{\text{elec}}$ (cociente entre el calor entregado al ambiente y la energía eléctrica utilizada para este fin). El COP es esencial para evaluar la eficiencia de una bomba de calor. Representa la relación entre la cantidad de calor y la energía eléctrica utilizada. O sea, el beneficio dividido el costo. Por ejemplo, un COP de 4 significa que por cada unidad de electricidad que

la bomba de calor consume, genera 4 unidades de calor (400% de eficiencia!). Cuanto mayor sea el COP, más eficiente será el sistema⁸.

No obstante, es importante tener en cuenta que el rendimiento de una bomba de calor puede variar según las condiciones exteriores, fundamentalmente la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. Funcionan muy bien cuando este salto térmico es moderado, típicamente inferior a 10 °C. Cuando el salto térmico entre el interior y exterior aumenta, el *COP* (rendimiento) de la BC disminuye. Por esta razón, además de razones de salubridad, es aconsejable usar los termostatos de los AA lo más alto posible en verano (25 °C a 27 °C) y lo más bajo posible en invierno (a 20 °C o 19 °C). En climas muy fríos, donde las temperaturas prevalentes son menores a -10 °C o -20 °C, la eficiencia de la BC disminuye considerablemente, por lo que en estos climas es preciso usar BC especiales, o bien acudir a sistemas de calefacción convencionales que queman combustibles, por lo general las bombas de calor no funcionan bien cuando la temperatura exterior es inferior a unos -15 °C aproximadamente. En un país como la Argentina, para la región centro-norte (norte del Río Colorado) donde solo ocasionalmente se alcanzan temperaturas externas

bajo cero, las BC de calor pueden funcionar muy bien como calefactores de alto rendimiento⁹.

El diseño y la selección adecuada del refrigerante también desempeñan un papel crucial en la eficiencia de una bomba de calor. Los avances en la tecnología han permitido mejorar la eficiencia de estos sistemas, haciendo que sean una opción más atractiva en términos de ahorro de energía y costos a largo plazo, al mismo tiempo que se redujo el riesgo que los posibles escapes de los refrigerantes de los equipos actúen como gases de efecto invernadero¹⁰. El COP se puede incrementar mediante un diseño cuidadoso de la bomba de calor (compresor más eficiente, ventiladores) y el uso de refrigerantes apropiados e incorporando sistemas “inverter” que permiten variar en forma suave la potencia de operación de los compresores, en lugar de hacerlo intermitentemente (encendido y apagado) como lo hacían los sistemas tradicionales. De hecho, los avances logrados recientemente y los que se esperan se traducen en incrementos aún mayores del rendimiento de las BC.

Análisis Top-Down

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), el 98 % de las familias usan gas para cocinar en la Argentina¹¹. Según este relevamiento el número de usuarios de gas licuado de petróleo (GLP) es del 37% mientras que aquellos que usan Gas Natural (GN) por redes es del 61%. Sin embargo, en el sector residencial el consumo de GN es 6,6 veces mayor que el consumo de GLP6. Esto se debe a que los usuarios de GLP y sobre todo de leña, provienen de sectores socioeconómicos más bajos que los usuarios de GN y su consumo por hogar es mucho menor que el consumo de GN.

Por otra parte, el 98% de los hogares argentinos dispone de acceso a los servicios eléctricos y cerca del 61% de los hogares están conectados a las redes de GN. Sin embargo, el consumo de electricidad en este sec-

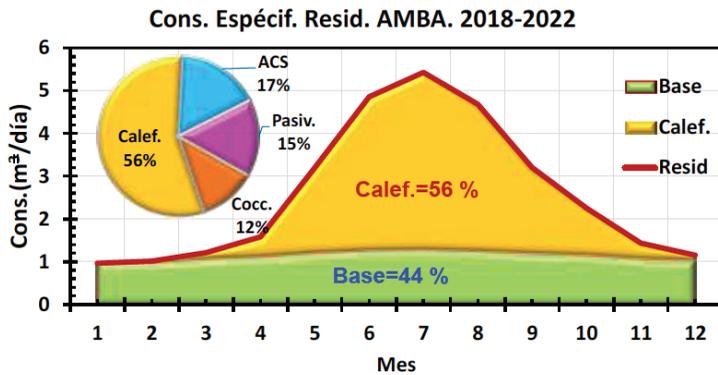


Figura 2. Variación de los consumos específicos residenciales de gas natural en el AMBA como función de los meses del año. Los datos ilustrados aquí son el promedio entre 2018 y 2022. El diagrama de torta inserto en la parte superior izquierda muestra cómo se distribuye el consumo de gas residencial entre sus distintos usos. Los consumos pasivos, se refieren a los consumos de mantenimiento de termotanque y pilotos de calefones asociados a los sistemas de calentamiento de agua. El consumo de gas para agua caliente sanitaria (ACS) es la suma del calentamiento de agua propiamente dicho y de los consumos pasivos, es decir es del 32%. Fuente: ENARGAS¹³.

tor es solo el 38% del consumo de gas (GLP y GN combinado). Este hecho, está asociado, como se verá, a que los hogares argentinos son más gas-intensivos que electro-intensivos.

Anatomía del consumo residencial de GN por redes

El Gas Natural (GN) constituye el principal componente de la matriz energética argentina, aporta más del 50% de la energía primaria del país¹². Alrededor del 27% del gas se distribuye a través de redes a los usuarios residenciales.

La figura 2 muestra datos típicos obtenidos de un análisis *Top-Down*, a partir de los datos de consumos publicados por ENARGAS². En esta figura se observa la variación del consumo específico (es decir el consumo por usuario, lo que significa una vivienda con medidor. En la Argentina, en promedio, hay unas 3,2 personas por vivienda) residencial medio de la región del AMBA a lo largo de un año. Los datos de consumo del AMBA se obtuvieron combinando mes a mes el consumo de gas residencial de las distribuidoras Metrogas y Naturgy (Gas Ban) publicadas por ENARGAS¹³. Los datos mostrados en esta figura son el promedio de los consumos residenciales específicos entre 2018 y 2022.

En los meses de verano (diciembre, enero y febrero) el consumo se

reduce en gran parte de la Argentina y en el AMBA en particular. Dicho consumo se conoce como el *consumo base*, es decir el consumo de gas usado en cocción y calentamiento de agua sanitaria, área verde en las figuras 2 y 3. Como se ve, esta separación puede realizarse de manera simple, ya que la variación del consumo base es relativamente suave con la temperatura. La abultada joroba amarilla de los meses de invierno corresponde al consumo de calefacción y en promedio es del orden del $56 \pm 6\%$ del consumo residencial de gas. Claramente esta proporción puede cambiar según la rigurosidad de los inviernos. De hecho, las figuras 3 y 4 ilustran la variación del consumo de calefacción con el año y el rigor del invierno correspondiente.

El consumo asociado a la calefacción depende de la temperatura, ya que las pérdidas de calor son proporcionales a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de las viviendas. Como además existen otros aportes energéticos en la vivienda diferentes a la calefacción, ya sea radiación solar que entra por la ventana o el mismo calor que emanan sus ocupantes, entre otros, la temperatura de la vivienda sin calefaccionar permanece 2 o 3 grados por encima de la temperatura exterior.

Por ello, si queremos una vivienda a 21 °C, permanecerá estable si la temperatura exterior es del orden de 18 °C, donde las pérdidas por la envolvente se compensan con los aportes de la calefacción. Entonces, el consumo de calefacción depende de la diferencia entre una temperatura de referencia, T_{ref} , y la temperatura media diaria exterior, T_{med} . A esta diferencia la llamamos *Déficit Grado Día* o *Deficiencia Grado Día diaria* ($DGD_d = (T_{ref} - T_{med})$), siempre que $T_{med} < T_{ref}$, que es cuando se enciende la calefacción, y cero en otro caso. En general se adopta como temperatura de referencia, $T_{ref} = 18$ °C. El consumo anual, destinado a la calefacción resulta proporcional al parámetro (ver fórmula al pie de esta página).

conocido como la *Deficiencia Grado Día* anual (DGD_a o simplemente DGD) de cada zona⁶. En resumen, el DGD es un parámetro que mide la intensidad o rigor de los inviernos. En general se utiliza la información publicada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y establece la Deficiencia Grado Día a temperatura base 18 °C y como temperatura exterior se adopta la *temperatura efectiva, que es el promedio de la temperatura en cuestión la de los tres días previos*¹⁴. Estos valores son equivalentes a los de GD18 consignados en la Norma IRAM 11603:2012. De hecho, la variación del consumo para calefacción puede visualizarse claramente en la figura 3, donde los valores del DGD mensual se representan por las barras verdes.

El *Exceso de Grado Día* anual (EGD) es un parámetro análogo al DGD, pero adecuado para conocer la intensidad de calor y duración de los períodos estivales, en este caso se toma como referencia $T_{ref} = 25$ °C¹⁵. El EGD brinda un indicador que da una estimación de las necesidades de refrigeración en una región dada. En los últimos diez años en el AMBA, los valores medio fueron: $DGD (18 \text{ °C}) = 763 \pm 18$ Grado.día con una duración de 171 días y el EDG

$$DGD_a = DGD = \sum_{i=1}^{i=365} (DGD_d(i)) = \sum_{i=1}^{i=365} (T_{ref} - T_{med}) |_{T_{med} < T_{ref}}$$

(25 °C) = 89 ± 9 Grado.día y una duración de 60 días. En definitiva, la energía requerida para calefacción es aproximadamente 8,6 veces mayor que para la refrigeración en el AMBA. De esta manera, se puede decir que el consumo energético para Acondicionamiento Térmico (AT) de una vivienda en el AMBA, es en términos generales, un 11 % mayor que el de calefacción.

En cuanto a la extracción social de las viviendas conectadas a las redes de gas natural, es en general diversa, pero dado que las redes de gas solo son accesibles en barrios que cuentan con infraestructura urbana adecuada, calles, verederas, ordenamiento territorial y densidad de población adecuada, hace que naturalmente los barrios a los que llegan las redes sean barrios de familias principalmente del sector medio, y alto. Además, la vivienda debe tener condiciones constructivas adecuadas, paredes en regla, regularización de dominio, etc. Sumado a esto, el costo de realizar una instalación interna de gas en la vivienda y conectar los artefactos; puede tener un costo estimado entre 1000 y 2000 USD. Por lo general estos montos deben abonarse al contado. Todo esto resulta en que los usuarios de gas siempre sean sectores medios o altos. En general los barrios populares (o villas de emergencia) no tiene acceso a las redes de gas natural y usan gas licuado de petróleo envasado (GLP) en garrafas principalmente para cocinar. Sin embargo, casi todos estos barrios, sí cuentan con acceso a las redes eléctricas, ya sea de manera

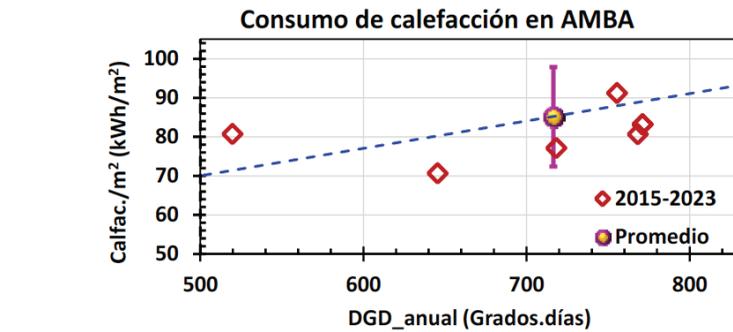


Figura 4. Consumo de gas para calefacción por m² de las viviendas del AMBA para los años 2016 a 2023, a partir del análisis Top-Down. Los consumos de calefacción por m² (rombos rojos) se obtienen de la figura 4 y el tamaño promedio de las viviendas de los datos provistos por el INDEC¹⁷. La dependencia del consumo de calefacción con el valor del DGD de cada año, se observa claramente. La línea de punto marca la tendencia de los datos analizados. El valor medio del consumo de calefacción como el promedio del DGD para estos años se muestra con el símbolo circular violeta.

informal (conexiones irregulares) o como clientes de las distribuidoras eléctricas a través de servicios preparados (Mide)¹⁶.

Por su parte, los consumos de cocción pueden obtenerse del análisis de los datos de consumo de edificios que tienen servicios de calefacción y calentamiento de agua centrales, según Zavalía Lagos y Iannelli (2022). En este caso, el consumo de las unidades o departamentos individuales está asociado a los consumos de cocción principalmente. Dado que en el país hay muchos edificios y cada uno de ellos con decenas de unidades habitacionales con estas características, este estudio puede realizarse en forma muy confiable, ya que las distribuidoras disponen por lo general del registro de estos consumos por más de una década^{6 y 7}. Así se obtiene que el valor medio del consumo de cocción por habitante y por día es de alrede-

dor de 1 kWh/día.persona.

En la figura 3 se muestra la variación del consumo específico de calefacción en la región del AMBA para el período 2015-2023. En esta figura también se representan los valores de los DGD mensuales (barras verdes). La relación entre el consumo de calefacción y el valor del DGD_mensual se observa claramente.

Por su parte, en la figura 4, se muestra la variación del consumo de gas para calefacción por m² de superficie para las viviendas en el AMBA para los años 2015 a 2023, obtenidos del análisis Top-Down. La línea de punto marca la tendencia de los datos analizados, un análisis más detallado de esta tendencia se puede ver en la referencia 18. Los consumos de calefacción por m² (rombos rojos) se obtienen de la figura 3 y el tamaño promedio de las viviendas de los datos provistos por el INDEC: 65 m² por vivienda¹⁷. La dependencia del consumo de calefacción con el valor del DGD de cada año, se observa claramente. El valor medio del consumo de calefacción como el promedio del DGD para estos años se muestra en esta figura con el símbolo circular violeta.

En definitiva, del análisis Top-Down, podemos decir que el consumo de calefacción a gas de las viviendas del AMBA con conexión a las redes de gas natural es en promedio de 85,1 kWh/m².año.

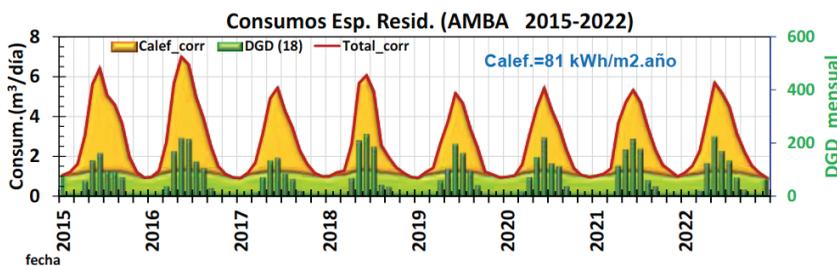
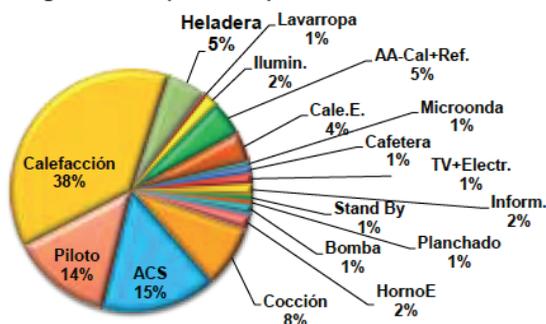


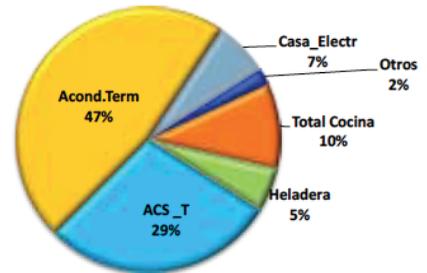
Figura 3. Consumo específico de gas natural en el AMBA para el período 2015-2023. Estos datos se obtuvieron combinando mes a mes el consumo de gas residencial de las distribuidoras Metrogas y Naturgy (Gas Ban) publicadas por ENARGAS¹³. Las barras verdes corresponden al DGD de cada mes en esta región, análisis Top-Down.

Región AMBA (A - C/GN) Total=17.6MWh/año



Región AMBA (A - C/GN) Total=17.6MWh/año

Promedio



Consumo AT=79 kWh/m2.año

Porcent. AA=13 %

Figura 5. Consumo medio residencial en una muestra de 272 del Grupo A del AMBA. Izquierda: distribución de consumo de los diversos artefactos del hogar. Derecha: distribución de estos mismos consumos agrupados según su función o ubicación en la vivienda. AA-Cal.+Ref. corresponde a calefacción y refrigeración con Aire Acondicionado. Calefac. E. significa calefacción eléctrica.

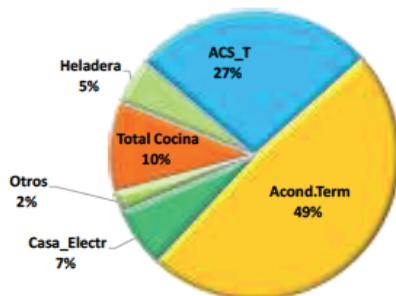
Análisis Bottom-Up

Un segundo estudio complementario al descrito se puede obtener de un análisis Bottom-Up, es decir, a partir de un estudio minucioso de los

consumos individuales en un conjunto de viviendas que fueron estudiadas con la metodología descrita de las referencias 5 y 6. Para ellos se realizaron unas 390 auditorías energéticas de viviendas individuales de la región del AMBA, con la colabora-

ción de estudiantes de ingeniería en Energía de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y miembros de la Fundación Pro Vivienda Social de Argentina¹⁹. De las 390 viviendas estudiadas, 272 tenían conexión a la red de gas natural, denominadas

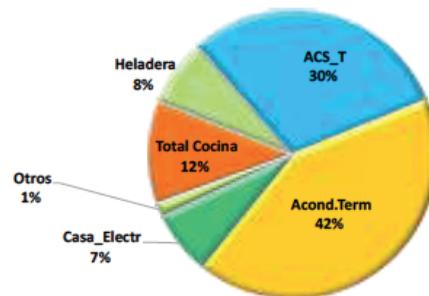
AMBA (A-C/GN) Tot.=16.5 MWh/año- AT (GN>80%)



Cons. AT=84 kWh/m2.año

Porcent. GN >90%

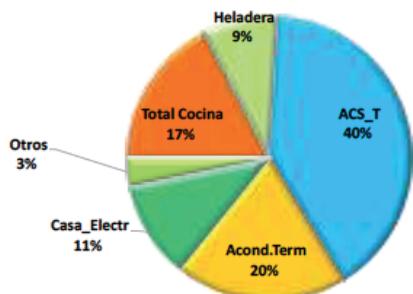
AMBA (A-C/GN) Tot.=12.7 MWh/año- AT (15%<GN<80%)



Cons. AT=49 kWh/m2.año

Porcent. GN ~ 70%

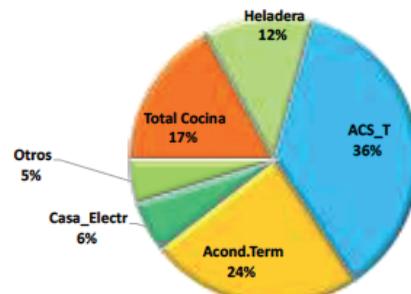
AMBA (A-C/GN) Tot.=8 MWh/año- AT (GN< 15%)



Cons. AT=18 kWh/m2.año

Porcent. GN ~ 10%

AMBA (A-C/GN) Tot.=4.6 MWh/año Sin Calef. a gas



Cons. AT=17 kWh/m2.año

Porcent. GN < 5%

Figura 6. Distribución del consumo total de energía de viviendas con conexión a redes de GN (Grupo A). Están agrupado según el porcentaje de gas usada en calefacción (Porcent. GN). Cada torta corresponde a distintos rangos de uso de gas en calefacción. El parte inferior en rojo indica el consumo total de energía en acondicionamiento térmico (Cons.AT) en kWh/m².año. El porcentaje total de uso de GN (Porcent. GN) en acondicionamiento térmico se indica con letras azules en la parte inferior de cada torta. Nótese la variación del consumo total entra los distintos subgrupos analizados.

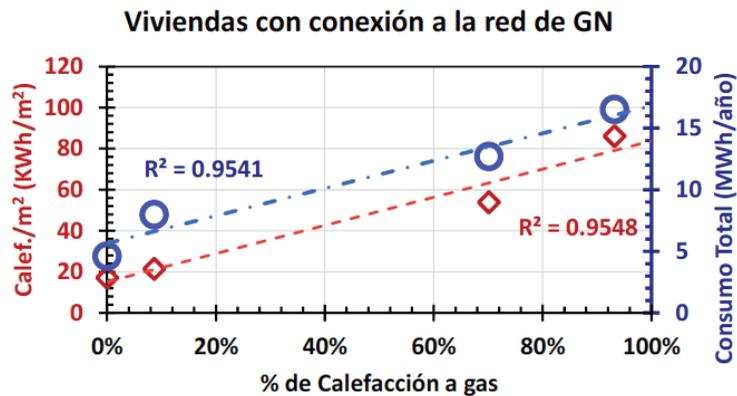


Figura 7. Variación del consumo de acondicionamiento térmico (rombos rojos) del Grupo A (viviendas con acceso a redes de GN), a partir del análisis Bottom-Up. Más específicamente, se representa el consumo de AT por m² en función del porcentaje de uso de GN en calefacción. Los símbolos azules (círculos), referidos al eje vertical derecho, indican el consumo total (electricidad + gas) de cada subgrupo de vivienda. Cuando mayor es el porcentaje de gas usado en calefacción, mayor es el consumo por m² en AT y el total.

Grupo A, y las otras 118 no contaban con tal conexión, denominadas como Grupo B. Además, el conjunto de viviendas estudiadas, pertenecían a diversos niveles socioeconómicos bien diferenciados que serán denotados como i) medio-alto (Alto), ii) medio (Medio) y iii) bajo (Bajo).

En cada vivienda se realizó una determinación de los consumos eléctricos y de gas. Para ello se contaba con medidores de consumos eléctricos (potencia y energía) y se medían todas las potencias y consumo de todos los artefactos eléctricos disponibles y se construía una torta de distribución de los consumos, basado tanto en los consumos medidos, los tiempos de usos declarados

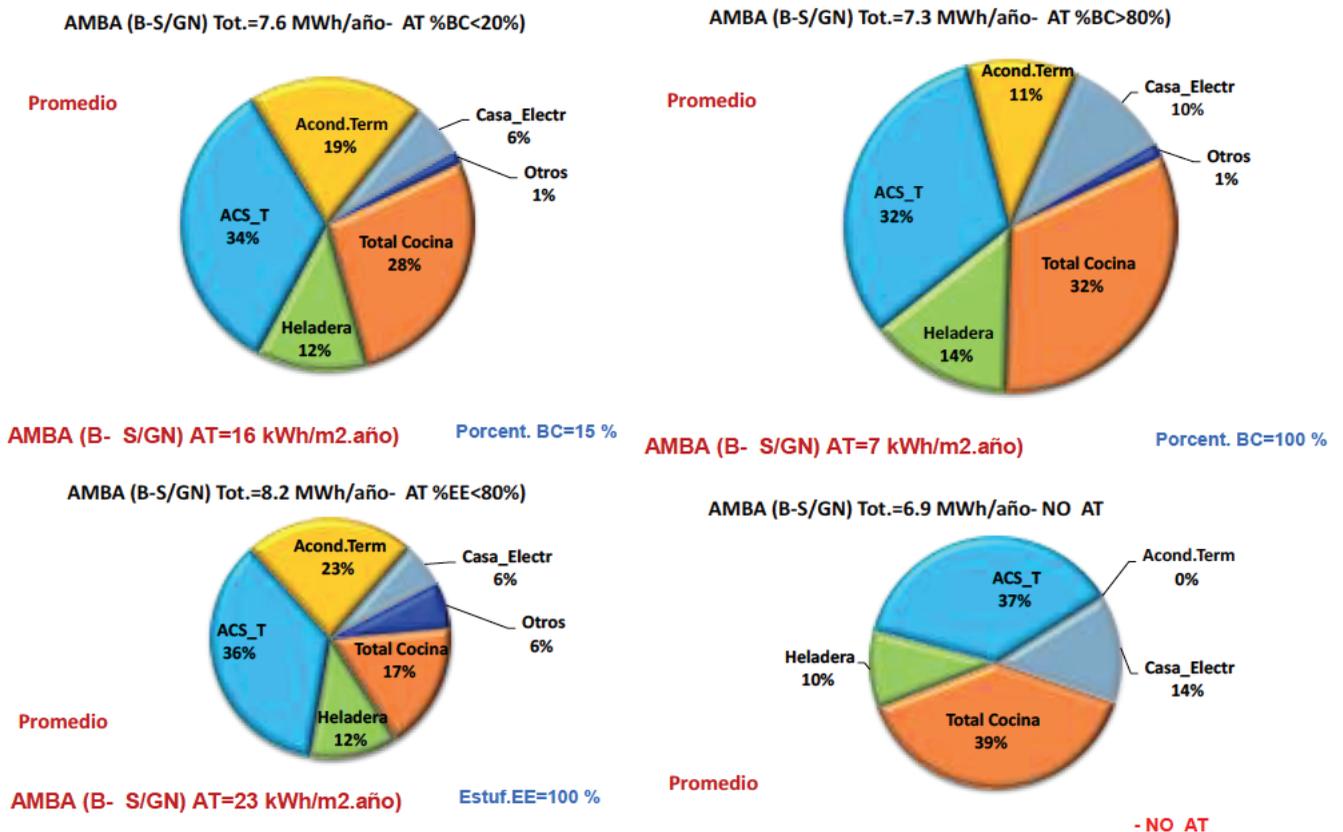


Figura 8. Distribución del consumo total de energía de viviendas sin conexión a redes de GN (Grupo B). Están agrupado según el porcentaje de uso de bombas de calor en calefacción a (% de BC). Cada torta corresponde a distintos rangos de uso de BC en calefacción. En la parte inferior en rojo, se indica el consumo total de energía en acondicionamiento térmico (AT) en kWh/m².año. El porcentaje total de uso de bombas de calor (en acondicionamiento térmico se indica con letras azules en la parte inferior de cada torta. Estuf.EE indica estufa eléctrica a resistencia. NO AT significa que la vivienda no tiene acondicionamiento térmico. Nótese la variación del consumo total entra los distintos subgrupos analizados.

por los moradores y los valores de consumo eléctrico del último año registrado por la distribuidora de electricidad que proveían dicho servicio. Los consumos de gas se deducían de los datos de consumo de las facturas, suministrado por las distribuidoras de gas natural para el caso de usuarios conectados a la red de GN. De la variación estacional del consumo a lo largo del año es posible separar el consumo de calefacción y otros consumos del hogar⁵. Para el caso de usuarios de GLP, los consumos se determinaban a partir del número de garrafas de GLP utilizadas en el año. La metodología usada se discute en detalle en las referencias 7, 5 y 6.

En el caso del acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración) se registraban por separado los consumos provenientes de estufas a gas, estufas eléctricas, acondicionadores de aire frío/calor (BC), ventiladores, etc. Asimismo, en las auditorias se registraban la superficie cubierta de las viviendas y el número de miembros de cada hogar.

En la figura 5 a la izquierda se muestran los consumos promedios de todos los artefactos del Grupo A, mientras que a la derecha se muestran los mismos consumos, pero agrupados por su función o ubicación en el hogar. Así, Acond.Term (acondicionamiento térmico) corresponde a calefacción y refrigeración con Aire Acondicionado, calefacción eléctrica (a resistencias) o estufas a gas. ACS_T indica el consumo total de agua caliente sanitaria, incluyendo los pasivos de estos equipos (pilotos). Todos los consumos de la cocina (cocción, pava eléctrica, microonda, horno eléctrico, etc.), excepto la preservación de alimentos) se agrupan en total cocina. Casa_Electr Incluye todo el resto de los artefactos eléctricos estándares de las viviendas (como lavarropa, iluminación, Informativa, TV, plancha, etc.). En otros se agrupan los equipos no-estándares que se disponen en la vivienda (bombas de agua, herramientas eléctricas, etc.).

Esta forma de agrupar (torta de la derecha de la figura 5) al ser me-

nor el número de ítems contabilizados, permite visualizar donde están los mayores consumos del hogar. El consumo promedio del acondicionamiento térmico (AT), en las viviendas del grupo A, es de 79 kWh/m².año, y de todo el consumo usado en AT, el 13% proviene de bombas de calor. En el de viviendas sin conexión a la red de gas, grupo B, el consumo promedio de AT es de 12 kWh/m².año, y de todo el consumo usado en AT, el 67% proviene de bombas de calor.

Del análisis de todas las auditorias se observa que existe un conjunto relativamente pequeño de servicios, que explican la mayor parte de los consumos familiares. En este caso cinco servicios claves —calefacción, ACS, cocción, refrigeración (aire acondicionado), heladera— constituyen cerca 90% de los consumos totales, como se ve en la figura 5. Estos consumos son denominados *consumos domésticos claves*. Por otra parte, en las viviendas del Grupo A, el consumo de gas constituye más del 70% del consumo energético total y la electricidad menos del 30%.

En la figura 7 se muestra un resultado importante, dada la importancia del consumo en AT en el consumo total, cuando mayor es el consumo en calefacción por m², mayor es en consumo total (círculos azules de esta figura). Este resultado también se observa en la figura 6, nótese la diferencia en el consumo

total de las familias que tiene más de 85% con calefacción a gas, relativo a los que tiene menos del 15% de calefacción con este insumo. Un análisis similar se puede observar en la figura 8, donde se presentan los resultados del Grupo B, es decir los usuarios *sin conexión a las redes de GN*. En este caso se realiza una segmentación de los usuarios según el porcentaje de uso de BC en calefacción (% de BC) ya que todas estas viviendas usan electricidad para calefaccionarse, y lo que difiere es que mientras algunos lo hacen con estufas eléctrica a resistencia (Estuf. EE), otros lo hacen usando bombas de calor (BC) o una combinación de ellas. De hecho, hay un sector que usa predominantemente BC, otros que lo usan parcialmente y hay un pequeño subgrupo que directamente no usa calefacción.

Nuevamente, en el caso del Grupo B, se observa que a medida que aumenta el porcentaje de BC en calefacción, tanto el consumo total de energía, como el asociado al consumo de calefacción por m², disminuye. Esto se evidencia más claramente en la figura 9, donde se representa el consumo de calefacción por m², para los dos grupos de usuarios, A y B, en función del % de BC en calefacción.

Es interesante notar que los consumos de calefacción obtenido con el análisis Top-Down (85 ± 12 kWh/m²) como en el Bottom-Up (83 ± 11 kWh/m²), son mutuamente consis-

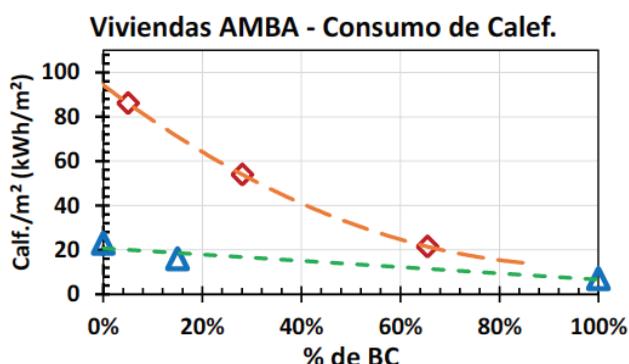


Figura 9. Variación del consumo de calefacción en los grupos: A-usuarios con conexión a redes de GN (rombos rojos), y B usuarios sin conexión a redes de GN (triángulos azules), en función de % de uso de BC en acondicionamiento térmico, basados en un análisis Bottom-Up. El eje vertical representa el consumo de calefacción en kWh/m². Las viviendas con mayor porcentaje de uso de BC en calefacción tienen menor consumo energético tanto en AT como total.

tentes. En el caso del análisis Top-Down, la incerteza del resultado de calefacción/m², proviene fundamentalmente de la variación del consumo de calefacción con los diferentes escenarios climáticos prevalentes (DGD) en los distintos años (figura 4). En el caso del análisis Bottom-Up, la incerteza proviene de la variación de os consumó de calefacción entre las distintas familias, que depende de variaciones del tipo de construcción, orientación de la vivienda, diversos usos y costumbres, etc.

Quizás lo sorprendente en el valor relativamente bajo de los consumos de calefacción de los usuarios de estufas eléctrica y sobre todo de BC. En las encuestas realizadas durante las auditorias, no se evidencia carencia de calefacción, excepto para el caso de viviendas que directamente no tenían servicio de calefacción o acondicionamiento térmico (Torta inferior derecha de las figuras 6 y 8). En el resto de los casos, los moradores de estas viviendas no manifestaban carencia de calefacción.

En un número limitado de viviendas se realizó un seguimiento de las temperaturas interiores durante varios meses (cinco meses, incluyendo el invierno) con datalogger de temperaturas. En todos los casos en el 90% del tiempo registrado las temperaturas permanecieron en el rango de 18 °C a 26 °C. En el tiempo restante, el 10% fuera de este rango, es posible que sus moradores no estuviesen en el hogar por las horas en que sucedían.

Consumos de acondicionamiento térmico

Un resultado notable de este estudio se obtiene cuando comparamos los consumos de acondicionamiento térmico (dominado por la calefacción) de los dos Grupo de viviendas A (con gas natural por redes) y el Grupo B (con acceso solo a electricidad), como se muestra en las figuras 9 y 10. Los consumos de calefacción por m² de familias con

acceso a redes de GN y lo usan en calefacción, son alrededor de 7,5 veces mayor que las que usan BC para este fin. Además, sus emisiones en la Argentina son cinco veces menores. Para ello hemos usado el valor promedio de la Intensidad de Carbono de la electricidad en la Argentina como 297 kg(CO₂)/MWh y de 202 kg(CO₂)/MWh para el gas natural^{20, 21 y 22}.

Los resultados de la figura 10 tienen mucha relevancia para el sistema energético argentino, ya que muestra que aun usando gas para generar electricidad (con una eficiencia del 50 %), todavía sería posible reducir los picos de consumo de gas para calefacción en un factor del orden de 3, lo cual para la Argentina tiene mucha significación económica, energética y ambiental. Los picos de consumo del sector residencial y comercial, al estar en el máximo de prioridad de abastecimiento del gas en Argentina, implican que para satisfacer esta demanda sea necesario hacer cortes en el suministro de industrias y centrales eléctricas²³, de alto costo en la producción y la economía. Además, al no ser suficientes estos recortes de consumo, es necesario apelar a la importación de gas (GNL) a valores mucho más altos y volátiles.

En ese sentido las mejoras en las envolventes de edificios, o mejoras de bajo costo en las aberturas de las viviendas, junto al uso de BC para calefacción, puede aportar una solución interesante y de no muy alto costo para palear estos picos de consumo de gas en invierno.

Además, es importante destacar que este análisis se refiere a las cantidades de energía y sus emisiones, y no al costo de la energía. El costo de la electricidad relativo al gas depende de muchos factores. La disponibilidad de recursos locales, origen de las fuentes de abastecimiento y las decisiones políticas que regulan estos precios. En la Argentina, sin intervención de subsidios, el costo de una unidad de energía de electricidad es aproximadamente tres veces mayor que la del gas. Por lo que con una reducción de consumo de 6 o 7 implicaría una reducción del costo de calefacción de 2 a 2,5 veces.

Al observar la figura 10, es interesante explicar este resultado. La relación del consumo entre una BC de COP = 3,5 a la de una estufa de tiro balaceado (~70 %) es un factor 3,5/0,7 = 5. Una ventaja significativa de las BC respecto de las estufas a gas es que son fáciles de encender y apagar. En las estufas a gas, el encendido

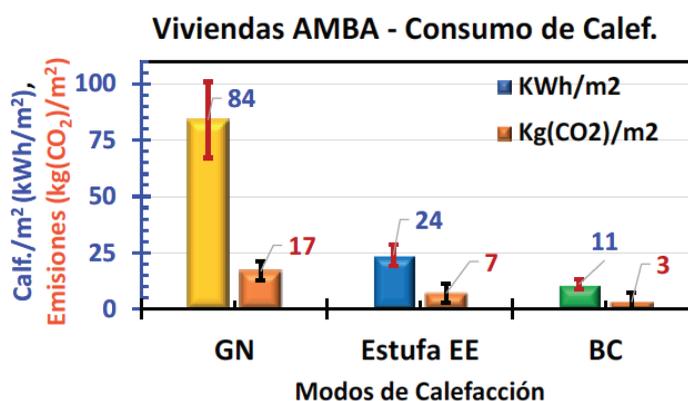


Figura 10. Variación del consumo energético asociado a la calefacción por m², según la tecnología usada. Las barras naranjas, indican las emisiones asociadas a cada tecnología por m². Se observa que las familias que usan para caleccionarse GN por redes, tiene un consumo por m² alrededor de 7,5 veces mayor que las que usan BC. Además, sus emisiones en Argentina son cinco veces menores.

y apagado de estos equipos no es sencillo, por lo que las llama piloto, que tiene un alto consumo (5 kWh/día) permanezcan encendidas por largos períodos. La simplicidad de encendido de las BC y el tiempo corto en que empiezan a generar confort hace que estos equipos se enciendan solo cuando se usan. Además, al momento de encender el equipo, ya contamos con un termostato de regulación en nuestras manos. La regulación del termostato, generalmente ausente en las estufas a gas, resulta sumamente sencilla en las BC y contribuye significativamente a la eficiencia. Un exceso de 2 °C en la regulación del termostato puede significar un incremento en el consumo del orden del 30%¹⁵. Estos factores contribuyen a que las bombas de calor sean alrededor de un 40% más eficientes para ofrecer la misma prestación que las estufas a gas. En resumen, la combinación de una mayor eficiencia asociada a la tecnología (factor 5) y una mejora en el uso racional del equipo (1,4) sugiere que las bombas de calor sean unas siete veces más eficientes que las estufas a gas. Estas estimaciones heurísticas coinciden con las observaciones realizadas en nuestras mediciones y se refleja en las figuras 9 y 10.

Por último, la implicancia de este resultado es muy significativo. Tradicionalmente, en la zona del AMBA y gran parte de Argentina, el consumo de calefacción y AT era del orden del 50% del consumo total, como se observa en la figura 5. De hecho, gran parte de la normativa existente de eficiencia energética en el país, se basa en esta premisa. Al reducirse el consumo de AT en un factor del orden de 5, el impacto del AT en el consumo total se reduce concomitantemente. De este modo, con BC, la relevancia de los consumos de ACS y los asociados a la cocina, adquieren un rol preponderante en el sector residencial, como se ve claramente en el panel superior derecho de la figura 8.

Conclusiones

Este estudio revela un hallazgo importante: la adopción de bombas de calor (BC), como los acondicionadores de aire frío/calor, como sistemas de calefacción en la zona del AMBA puede resultar en una reducción de los consumos de acondicionamiento térmico en factores que oscilan entre 5 a 7 veces en comparación con sistemas tradicionales basados en gas natural. Estos incluyen artefactos, como estufas de tiro balanceado, calderas, etc. La mejora en eficiencia respecto de calefactores eléctricos a resistencia es un factor de 3 a 4.

Estas ventajas de las BC respecto de los sistemas tradicionales a gas (o eléctricos) se deben principalmente a la alta eficiencia de las BC (350% a 400%) relativa a una estufa de tiro balanceado (~70%) o sea un factor cercano a 5. Además, las BC son fáciles de prender y apagar, que contrasta con las estufas a gas, lo que incrementa más su potencial de ahorro de energía. Por otro lado, al encender una BC ya se dispone de un termostato en la mano, con lo que se logra una eficiencia aún mayor, por una mejor regulación de la temperatura de los ambientes. Todas estas ventajas hacen que las BC localizadas solo en los ambientes que se usan generan una notable mejora en la eficiencia energética de la calefacción. En ese sentido, BC en ambientes no muy grandes permiten calefaccionar solo aquellos espacios que se usan y hacer un uso más racional de la energía.

En el AMBA, nuestro relevamiento de campo indica que, mientras una vivienda estándar, del parque existente, con calefacción a gas natural tiene un consumo de calefacción de 85 ± 15 kWh/m², una vivienda similar utilizando bomba de calor registra un consumo de calefacción de 12 ± 5 kWh/m², es decir, aproximadamente siete veces menor. Se observa, asimismo, que las emisiones

de carbono en Argentina son cinco veces menores usando BC y el costo de este servicio puede ser del orden de 2 a 2,5 veces menores.

En resumen, incluso si la electricidad se genera a partir de gas, la adopción de bombas de calor en sistemas de calefacción puede contribuir a un ahorro significativo, posiblemente reduciendo el consumo en un factor de 2 o 3 durante los picos de demanda de gas en Argentina. Este impacto podría ser crucial en el sistema energético nacional, disminuyendo los picos de consumo en el sector residencial y su influencia en los cortes de suministro en la industria y la generación eléctrica del país, al mismo tiempo que mitigaría las necesidades de importación de gas (GNL) durante el invierno. En ese sentido, la construcción sustentable, combinada con las BC pueden pensarse como una suerte de “Peak Shaving” aplicada a la demanda, en analogía con las plantas de “Peak Shaving” usadas en la oferta de gas, pero mucho más sustentable y económica.

Respecto a esto, sería conveniente que el Estado considere además cambiar su política de subsidios generalizados a la energía, que en general conducen a un sobreconsumo y desincentiva la adopción de medidas de eficiencia energética. Estas observaciones son coincidentes con las realizadas en otros países y las recomendaciones de las agencias internacionales como la IEA.

Las BC alimentadas por electricidad, permiten que, en un futuro cercano, con el incremento de la generación eléctrica con fuentes renovables y de bajas emisiones en general, la calefacción con BC de calor sea un elemento clave hacia una transición de acondicionamiento térmico más seguro y sostenible.

En consecuencia, este estudio, en primer lugar, sugiere que un programa de reemplazo de estufas de TB o estufas a resistencia, muy usadas por las familias de bajos ingresos, por

AA con inverter y la promoción del uso racional de la calefacción, podría tener un impacto significativo en la calidad de vida de muchas familias, reduciendo sus gastos en energía y disminuyendo el consumo energético en general, a la par de mitigar las emisiones de carbono en general.

En segundo lugar, se comprueba, que coincidentemente con estudios anteriores, en los hogares de AMBA hay un conjunto de a lo sumo cinco servicios energéticos, consumo claves, que son responsables de más del 80% de consumo energético residencial. Por lo tanto, toda política orientada a reducir los consumos en este sector debería comenzar por optimizar estos consumos. Estos consumos son el acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración), agua caliente sanitaria, cocción, y conservación de alimentos (heladeras). Sin embargo, con la irrupción de las bombas de calor, los consumos de acondicionamiento térmico, se reducen de manera importante, quizás un factor del orden de 5. Así, la relevancia de los consumos de ACS y asociados a la cocina, aumentan en el sector residencial. Así, varias estrategias de eficiencia en este sector, requieren que se analicen nuevamente a la luz de estos resultados.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes de Ingeniería en Energía de la UNSAM, a los miembros de la Fundación Pro Vivienda Social y sobre todo a los vecinos, que abrieron voluntariamente sus hogares y participaron en este estudio, ya que, sin su ayuda y gentileza, este estudio no hubiese sido posible. También agradecemos al Ing. R. Prieto e Ing. J. Mariani, por la atenta lectura y las múltiples sugerencias realizadas.

Notas

1. BALANCES ENERGÉTICOS - Secretaría de Energía de la Nación, «BALANCES ENERGÉTICOS», 2023. [En línea]. <https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/>

energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos

2. «ENARGAS». Ente Nacional Regulador del Gas en Argentina, 2023. [En línea]. <https://www.enargas.gov.ar/>

3. Sensini, P., «Eficiencia Energética en la cocción ¿Cuáles son artefactos de cocción más eficientes en Argentina?». Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 41, pp. 57-67, Octubre 2018.

4. Estadísticas económicas Ciudad de Buenos Aires, «Consumo de energía en la Ciudad de Buenos Aires en 2013», marzo, 2014.

5. Iannelli L. y S. Gil, «¿Cómo hacer un diagnóstico de los consumos a partir de la factura y reducir los gastos de gas?». Petrotecnia, vol. LX, nº 1, pp. 144-146, 2019.

6. Zavalía Lagos, R., L. Iannelli y S. Gil, «Anatomía del Consumo Residencial Argentino-Uso Racional y Eficiente del Acondicionamiento Térmico», de Futuros Energía - Fundación UNSAM-N.Coppari y otros, San Martín - Buenos Aires, Fund. UNSAM y Assoc. Argentina para el Progreso de las Ciencias. 2022.

7. Gastiarena M., A. Fazzini, R. Prieto y S. Gil, «Gas versus electricidad: uso de la energía en el sector residencial», Petrotecnia, vol. Abril, nº LVII, pp. 51-60, 2017.

8. International Energy Agency (IEA), «Heat Pumps», 2023.

9. International Energy Agency (IEA), «The Future of Heat Pumps, World Energy Outlook Special Report», 2022.

10. Höges C. et al., «How to Choose the Best Refrigerant in Heat Pumps from an Ecologic Perspective? Analyzing the Influence of the Evaluation Method», de Conference: 36th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems At: Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Gran Canaria, Spain, 2023.

11. INDEC, «Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010», INDEEC Argentina, 2010. [En línea]. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>. [Último acceso: 2018].

12. «Ministerio de Energía y Minería»,

[En línea]. <https://www.minem.gov.ar/>. [Último acceso: Julio 2016].

13. ENARGAS, «ENARGAS Transporte y Distribución- Datos Operativos», Ente Nacional Regulador del Gas en Argentina, 2023. [En línea]. <https://www.enargas.gov.ar>.

14. Iannelli, L., J. Fiora y S. Gil, «Indicador de eficiencia energética en una vivienda modelado de la temperatura interior», Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), vol. 3, pp. 08.399-08.406, 2015.

15. Prieto, R. y S. Gil, «Regulación del termostato: un modo simple y racional de ahorrar energía en calefacción y refrigeración», Petrotecnia, vol. LV, nº 5, pp. 102-104, Dic. 2014.

16. Edenor, «Mide- Medidor Integrado de Energía», 2023. [En línea]. <https://www.edenor.com/mide>.

17. INDEC, «Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022», INDEC, Buenos Aires, 2022.

18. Gil, S. y R. Prieto, «¿Cómo se distribuye el consumo residencial de gas? Modos de promover un uso más eficiente del gas,» Petrotecnia, vol. LIV, nº 6, pp. 81-92, Dic. 2013.

19. Fundación Pro Vivienda Social (FPVS), 2023. [En línea]. <https://fpvs.org/>

20. Climate Transparency Int., «Reporte de Transparencia Climática 2020», 2022.

21. datos.gob.ar, «Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica», Secretaría de Energía. Subsecretaría de Planeamiento Energético. Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, 2023. [En línea]. <https://datos.gob.ar/el/dataset/energia-calculo-factor-emision-co2-red-argentina-energia-electrica>.

22. Our World in Data, «Carbon dioxide emissions factors», 2023. [En línea]. <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-dioxide-emissions-factor>

23. R. Prieto, S. Carrizo, L. Codeseira y S. Gil, «Relevancia del Gas Natural para una Transición Energética Justa», Petrotecnia, vol. XXVI, nº 51, pp. 4-20, 2022.

24. FPVS-EDENOR, «Informe de Consumos Energeticos en el Municipio de Pilar», Informe EDENOR, Buenos Aires, 2019.

iAPG



PATAGONIA

23 - 25 Octubre, 2024
Espacio DUAM, Neuquén
www.aogpatagonia.com.ar

Organiza:



Realiza:

