

USO DEL TERMOSTATO: ESTRATEGIAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO EN VIVIENDAS Y EDIFICIOS

Pablo Romero^{1,2}, Jorge Fiora^{1,2}, Cristian Carri¹, Italo Bove³, Salvador Gil²

¹Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Eficiencia Energética. Buenos Aires, Argentina.

²ECyT- Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). San Martín, Buenos Aires, Argentina.

³Universidad de la República (Udelar), Fac. de Ingeniería, Laboratorio de Energía Solar. Uruguay.

E-mail: sgil@unsam.edu.ar

RESUMEN: En este estudio se investiga el potencial de ahorro energético en el acondicionamiento térmico de viviendas y edificios mediante el uso eficiente de termostatos para calefacción y refrigeración. Se compara el comportamiento de calefactores convencionales, que funcionan a gas o resistencias eléctricas, con acondicionadores de aire frío/calor (bombas de calor), evaluando los Coeficientes de Performance de equipos disponibles en el mercado argentino. Se concluye que una reducción de 2 °C en la regulación de los termostatos en invierno puede reducir el consumo de calefacción en cerca del 30 %, siendo esta reducción aún más significativa en el caso de las bombas de calor durante el invierno. Por otro lado, durante el verano, un aumento de solo 1 °C en la regulación del termostato puede contribuir a una reducción de aproximadamente el 33 % en el consumo. Además, se muestra que las viviendas equipadas con bombas de calor presentan un consumo de calefacción considerablemente menor en comparación con aquellas que utilizan sistemas a gas natural, con una diferencia de hasta 7 veces en el consumo por metro cuadrado en el Área Metropolitana de Buenos Aires y posiblemente en toda la región centro norte del cono sur.

Palabras clave: eficiencia energética, acondicionamiento térmico edificio, bombas de calor, acondicionadores de aire frío/calor, termostato, inverter.

INTRODUCCIÓN

Los servicios energéticos desempeñan un papel crucial en el presupuesto de las familias, especialmente aquellas de recursos económicos medios y bajos. Por esta razón, resulta fundamental comprender cómo se utiliza la energía en los hogares, con el fin de gestionarla de manera eficaz y racional. La gestión adecuada de la energía no solo contribuye a evitar sorpresas desagradables al recibir las facturas de electricidad y gas, sino que también promueve un uso más eficiente de los recursos disponibles, una pieza fundamental en la mitigación de emisiones de carbono. En ese sentido, la regulación de las temperaturas de los termostatos de los calefactores y refrigeradores (“*set points*”) es una de las acciones más simples, de bajo costo y efectivas para reducir los consumos de energía de una vivienda (USA Department of Energy, 2024), (Yan et al., 2022), (Prieto y Gil, 2014).

Este trabajo es una extensión de un estudio preliminar elaborado por nuestro equipo de trabajo, que se realizó suponiendo sistemas de calefacción de potencia constante, como lo son calefactores a gas u eléctricos con resistencia (Prieto y Gil, 2014). Sin embargo, con la irrupción masiva de equipos acondicionadores de aire frío/calor (AA_f/c) o bombas de calor, como sistemas de calefacción, aquellos estudios deben ser revisados, ya que una característica distintiva de las bombas de calor (BC) es que su rendimiento o *eficiencia* depende críticamente de la diferencia de temperaturas entre las que opera. Es decir, la diferencia de temperatura, ΔT , entre el interior (T_{int}) y exterior (T_{ext}). El presente estudio se apoya en el análisis de los perfiles térmicos registrados en diversas ciudades de Argentina y en mediciones de los Coeficientes de Performance o rendimiento (COP) de los equipos acondicionadores de aire frío/calor, presentes en el mercado argentino. Con esta información, es posible establecer que en

todos los casos la regulación de la temperatura de los termostatos juega un rol crucial en el consumo, pero con un peso mayor en los AA_f/c. Por último, se discute cómo a través de mediciones de campo, los consumos de calefacción usando AA_f/c son considerablemente menores que en aquellos que usan sistemas convencionales a gas natural o calefactores eléctricos a resistencia. De este modo, estamos en condiciones de evaluar qué sistemas de acondicionamiento térmico, son más eficientes y tienen menor emisiones de carbono en la zona centro norte de Argentina y del cono sur.

En la primera parte de este trabajo, hacemos una breve revisión del concepto de Déficit Grado Día (DGD) y cómo este parámetro se relaciona con la demanda de energía para calefacción, basada en datos de consumos y temperaturas para las principales regiones bioambientales de la región centro-norte de Argentina. Luego discutimos los resultados de nuestras mediciones de la variación de los Coeficientes de Performance de los AA_f/c en función de la diferencia de temperatura ΔT . Con esta información, realizamos un estudio de como varía el consumo de calefacción y refrigeración de las distintas regiones bioambientales de Argentina en función de los valores de ajuste (“set-points”) de los termostatos.

METODOLOGÍA

Consumo energético residencial y déficit grado día

En el sector residencial argentino, el gas natural (GN) desempeña un papel crucial, utilizándose principalmente para la cocción, la calefacción y el agua caliente sanitaria (ACS). En la zona centro-norte de Argentina, al norte del Río Colorado, no se usa calefacción durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero) debido al clima. Esto reduce el consumo de GN únicamente a la cocción y al ACS, lo que se conoce como *consumo base*. Al realizar un análisis *top-down*, fundado en los datos de consumos por región proveniente de datos globales de consumo reales de distintas zonas, como los que publica ENARGAS (2024), se obtiene un gráfico como el mostrado en la Figura 1. En esta figura se muestran los consumos por usuario y por día a lo largo del año. Los datos son de la región AMBA, para los años 2018-2023. Los consumos de los meses de verano determinan los *consumos base*. El incremento de demanda en los meses de invierno corresponde al uso de calefacción, que es del orden del $49\% \pm 5\%$ del total, Figura 1.

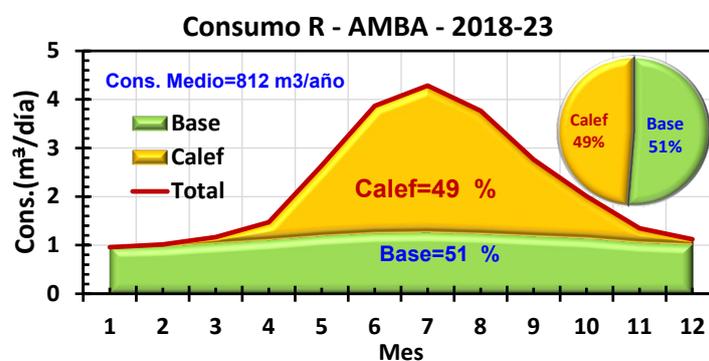


Figura 1: Consumos Residencial diarios promedio de gas natural a lo largo del año. Datos de la región AMBA, para los años 2018-2023 ENARGAS (ENARGAS, 2024).

Según este análisis el consumo medio de calefacción por vivienda en el AMBA es de unos $400\text{ m}^3/\text{año}$ de GN, que equivale a unos $4,3\text{ MWh}/\text{año}$. Si tenemos en cuenta que según el INDEC (Indec, 2022) la superficie media de una vivienda familiar en el AMBA es de alrededor de 60 m^2 , por lo que el consumo medio de calefacción por m^2 , para los usuarios conectados a la red de gas en promedio sería de $72 \pm 12\text{ kWh}/\text{m}^2$. En un segundo estudio, *Bottom-Up*, se realizaron auditorías energéticas detalladas de una muestra de varias viviendas de la región. En este segundo análisis (Zavalía Lagos et al., 2023), basado en un relevamiento de campo en 390 viviendas individuales de la región del AMBA se determinó que el consumo de calefacción de viviendas con conexión a la red de gas natural que usaban principalmente calefactores de este combustible para calefacción tenía un valor medio de $83 \pm 14\text{ kWh}/\text{m}^2$, consistente con el valor obtenido del análisis global de consumos, indicado previamente (Zavalía Lagos et al., 2022).

La diferencia, puede comprenderse, teniendo en cuenta que algunos usuarios conectados a la red de gas natural no siempre usan el gas como combustible de calefacción, sino electricidad. En los datos de la Figura 1(análisis *Top-Down*) este efecto contribuiría a reducir esta estimación en el consumo de gas en calefacción. Por otro lado, en las mediciones de viviendas individuales relevadas con auditorías energéticas, cuando se reportan los consumos de gas para calefacción (análisis *Bottom-up*), sí estamos seguros de que estas familias efectivamente usan el gas para este servicio. En la región central y norte de Argentina, donde está concentrada más del 85 % de la población de este país, el principal consumo doméstico es el de calefacción, seguido del ACS. Aunque en las viviendas sin acceso a redes de gas natural, esta relación se invierte, siendo el ACS el principal consumo (Zavalía Lagos et al., 2022), (Zavalía Lagos et al., 2023).

Desde luego, la demanda de calefacción está fuertemente asociada a la temperatura y esta depende de los escenarios climáticos de cada región o localidad. (Prieto y Gil, 2014) Más específicamente, el consumo de calefacción depende de la diferencia entre la temperatura media exterior, T_{media_ext} y la temperatura de referencia interior, $T_{ref_invierno}$. Llamaremos Diferencia o Déficit Grado Día (DGD) (Ecuación 1) de un día a esta diferencia ($T_{ref_invierno} - T_{media_ext}$), siempre que $T_{media_ext} < T_{ref_invierno}$; de lo contrario es cero, es decir:

$$DGD_{día}^{(i)} = \begin{cases} (T_{ref_invierno} - T_{media_ext}^{(i)}) \times día; & \text{si } T_{ref_invierno} > T_{media_ext}^{(i)} \\ 0 & ; \text{si } T_{ref_invierno} \leq T_{media_ext}^{(i)} \end{cases} \quad (1)$$

El DGD de un período dado, $DGD_{(período)}$, será la suma de todos los $DGD_{(día)}$ de todos los días que conforman dicho período. $T_{ref_invierno}$ es aquella temperatura ambiente exterior para la cual no es necesario prender la calefacción dentro de una vivienda. Hay que recordar, también, que por lo general la temperatura interior en invierno es aproximadamente 2 grados superior a la temperatura exterior. Además, varios estudios indican que el consumo de calefacción depende de la *temperatura efectiva* diaria, (Iannelli et al., 2015), (Prieto y Gil, 2014), (Wikipedia, 2024), que se define como el promedio entre la temperatura del día en cuestión y el promedio de la temperatura de los tres días anteriores (todas exteriores). Así, la *temperatura efectiva*, tiene en cuenta la inercia térmica de las viviendas y edificios. En este trabajo, consideramos T_{med} como la *temperatura efectiva* diaria, ya que se correlaciona mejor con el consumo de energía para calefacción. Es de esperar que la *temperatura interior* o de referencia, $T_{ref_invierno}$, sea cercana a la temperatura de confort. De este modo, el consumo anual, destinado a la calefacción dependerá del parámetro:

$$DGD_{(año)} = \sum_{i=1}^{i=365} DGD_{(día)}^{(i)} = \sum_{i=1}^{i=365} (T_{ref_invierno} - T_{media_ext}^{(i)}) \Big|_{T_{ref_invierno} > T_{media_ext}^{(i)}}, \quad (2)$$

que se define como la Deficiencia o Déficit Grado Día anual ($DGD_{(año)}$ o *Heating Degree Day*) (Ecuación 2) de cada zona, (Wikipedia, 2024). Si se representan las temperaturas efectivas diarias en función del tiempo a lo largo de un año, como se ve en la Figura 2; el valor de $DGD_{(año)}$ viene dado por el área sombreada en azul entre la temperatura de referencia y la curva que describe la temperatura efectiva diaria.

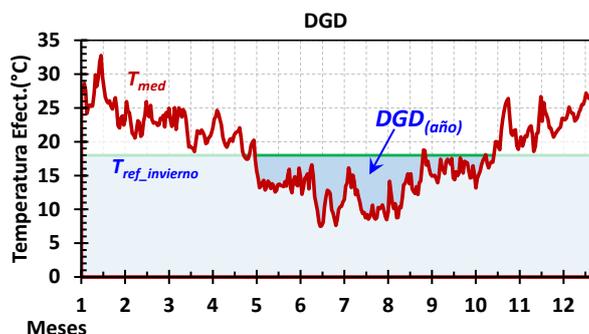


Figura 2: Temperatura efectiva diaria a lo largo de un año, la línea horizontal, representa la temperatura de referencia, $T_{ref_invierno} \approx 18$ °C. El área sombreada (azul) es el valor del $DGD_{(año)}$. Los datos corresponden a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) de 2016.

Asimismo, es posible para cada región definir un DGD para cada mes del año ($DGD_{(mes)}$). De hecho, como las temperaturas medias mensuales varían fuertemente a lo largo del año, como así también los consumos específicos medios de energía (o consumo por usuario) de cada mes, mediante un análisis *top-down* es posible analizar cómo varían los consumos específicos residenciales (o consumo por usuario) con $DGD_{(mes)}$, como se muestra en la Figura 3. Esta figura indica que los consumos asociados a la calefacción son proporcionales al $DGD_{(mes)}$.

En Argentina, la temperatura de referencia usada usualmente es: $T_{ref_invierno} \approx 18 \text{ }^\circ\text{C}$. De igual forma puede mostrarse que los consumos anuales asociados a la calefacción son, asimismo, proporcionales a las $DGD_{(año)}$ (Zavalía Lagos et al., 2022). Esta relación entre consumo y DGD se observa que es válida para todas las ciudades y regiones de Argentina y del mundo (Prieto y Gil, 2013), (Wikipedia, 2024). De este modo, el concepto de Déficit Grado Día (DGD) o “*Heating Degree Day*”, es utilizado frecuentemente para caracterizar las necesidades de calefacción (U.S. Energy Information Administration-DOE, 2024), (Wikipedia, 2024).

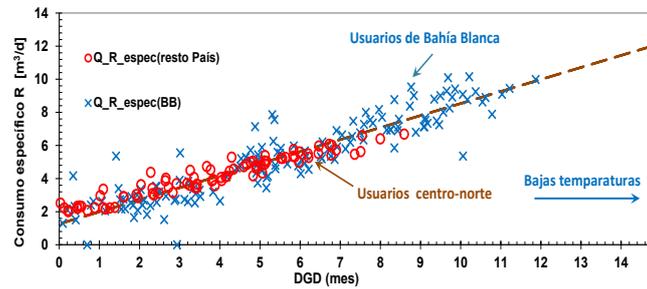


Figura 3: Variación de los consumos específicos R diarios, promediados mensualmente, en función del $DGD_{(mes)}$ con $T_{ref_invierno} \approx 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Círculos rojos: zona norte y central de Argentina. Cruces azules: zona de Bahía Blanca.

De manera análoga, se define el Exceso Grado Día ($EGD_{(año)}$) (Ecuación 3) o *Cooling Degree Day* (US Dept of Commerce, 2024), (Iannelli y Gil, 2022):

$$EGD_{(año)} = \sum_{i=1}^{365} (T_{media-ext} - T_{ref_verano}) \Big|_{T_{media-ext} > T_{ref_verano}} \quad , \quad (3)$$

que permite calcular las necesidades de refrigeración en cada lugar, que resulta proporcional al $EGD_{(año)}$. Sin embargo, el valor de la $T_{ref_invierno}$ ($\approx 18 \text{ }^\circ\text{C}$) es diferentes de T_{ref_verano} ($\approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$) (Iannelli y Gil, 2022). Desde luego, los consumos de acondicionamiento térmico, además del valor del DGD del lugar, dependen críticamente del diseño de la vivienda, su orientación, y de las características de su envolvente. Todos estos aspectos tienen muchas posibilidades de mejorar (Carrizo et al., 2022).

La Figura 3 da fundamento a la metodología que utilizaremos para correlacionar el consumo de energía en climatización tanto con el DGD como con el EGD de cada lugar.

Acondicionador de aire o bomba de calor

Las bombas de calor (BC) son dispositivos que mueven calor de modo antinatural, es decir de una fuente fría a otra más caliente. Generalmente estos equipos utilizan electricidad para funcionar y mover el calor de abajo (frío) hacia arriba (caliente) de manera análoga a una bomba hidráulica, de aquí el nombre de bombas de calor. Se utilizan para climatizar ambientes o para preservar los alimentos (refrigeradores o neveras). De hecho, la tecnología que un refrigerador o un Acondicionador de Aire (AA) usa, son muy similares. Un AA frío/calor es un ejemplo de bomba de calor.

En el modo calefacción, una BC cumple la misma función que un calefactor. Sin embargo, en lugar de generar calor a través de una combustión o calentar una resistencia, las bombas de calor lo toman de un entorno frío y lo inyectan en una habitación más caliente (Zavalía Lagos et al., 2023), (International Energy Agency (IEA), 2023). En esta sección se revisan algunas características básicas del funcionamiento de las bombas de calor de uso doméstico.

El compresor es el componente más importante en términos de tamaño, costo y consumo de energía. Los AA más básicos cuentan con un compresor alternativo de velocidad fija que sólo puede funcionar a plena potencia, por lo que deben encenderse y apagarse periódicamente para mantener una temperatura interna determinada. Lo mismo ocurre en un refrigerador (heladera o nevera) convencional. Estos repetidos arranques y paradas causan una penalización en el consumo de energía, que pueden reducir la eficiencia.

Un parámetro muy utilizado para caracterizar la eficiencia de una BC es el coeficiente de desempeño (Ecuación 4) o Coeficiente de Performance (COP), que se define como el calor que produce (o bombea) dividido por la energía eléctrica utilizada para esta acción, o sea:

$$COP = \frac{Q_{calor}}{W_{elec}} \quad (4)$$

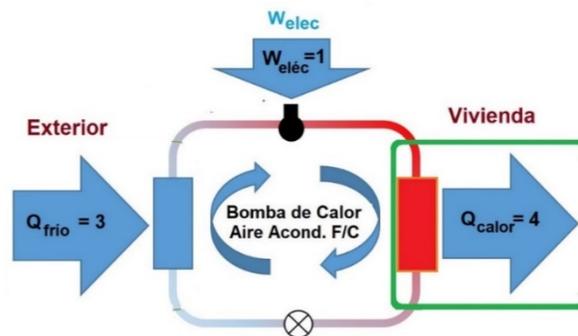


Figura 4: Diagrama esquemático de una bomba de calor (BC) usado en modo de calefacción. Fuente: (Zavalía Lagos et al., 2023).

El COP es un parámetro adimensional, fácil de interpretar: un COP de 4 significa que por cada 4 unidades de calor que el equipo entrega, consume 1 unidad de energía eléctrica. En la Figura 4 se ve un ejemplo en donde para generar 4 unidades de calor, se requiere de una unidad de energía eléctrica, o sea la eficacia de esta BC, entendida como una relación de costo-beneficio, es del 400 %.

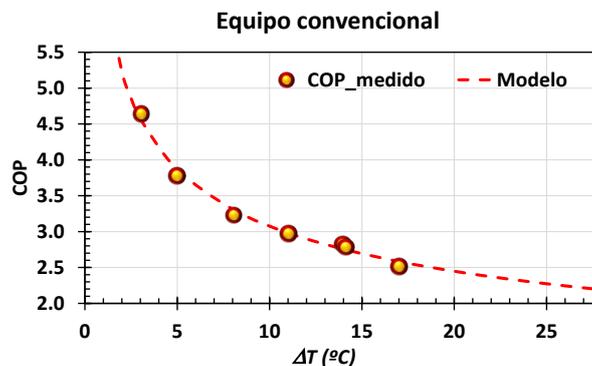


Figura 5: Valores medidos del COP de un AA convencional del mercado argentino en función de la diferencia de temperatura ΔT entre el exterior e interior (símbolos circulares rojos). La curva punteada en rojo es una parametrización que describe la variación del COP con ΔT .

Es usual determinar el COP utilizando un salto térmico $\Delta T = 13 \text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, el COP de cualquier BC varía en forma muy notable con la diferencia de temperatura entre el exterior e interior (Staffell et al., 2012). En el Apéndice 1, se discute cómo se realiza esta medición. Los resultados para un AA convencional (con compresor de velocidad fija), típico del mercado argentino, de unos 2,3 kW de potencia nominal, se muestra en la Figura 5. Un hecho notable y característico de las BC es esta disminución del COP con ΔT . La gran ventaja de usar una BC frente a estufas o calderas, incluso una eléctrica, es que en todas ellas la eficiencia de calentamiento puede ser a lo sumo del 100 %; por ejemplo,

en una resistencia eléctrica. Mientras que la eficiencia (el COP) de casi cualquier equipo moderno, para saltos térmicos inferiores a unos 25 °C, es superior a 100%, Ver Figura 5.

Acondicionadores de aire con tecnología inverter

Los equipos de AA con compresor de velocidad variable, accionado por un inversor (comúnmente referidos como AA con *inverter*), se han popularizado por todo el mundo en los últimos años. Su principal ventaja, respecto de los tradicionales, es decir los AA con compresor de velocidad constante, es su mayor rendimiento o eficiencia. Un AA con *inverter* ofrece importantes ventajas en comparación con los AA tradicionales. Sin embargo, estos últimos siguen siendo omnipresentes y preferidos por muchos consumidores debido a que son más baratos en comparación con los modelos con inversor.

La creciente popularidad de los acondicionadores de aire con *inverter* se debe principalmente al ahorro en las facturas de electricidad. Estos equipos evitan ciclos frecuentes de encendido y apagado y están diseñados para operar con cargas menores a su capacidad máxima, logrando transferencias de calor más eficientes. Esto se traduce en una mejor eficiencia energética, temperaturas estables y menor desgaste de los equipos. En términos prácticos, un aire acondicionado con tecnología *Inverter* puede **reducir el consumo de electricidad entre un 35 % y un 50 %** en comparación con un modelo convencional de características similares. (Yon et al., 2018), (Almogbel et al, 2020). Por lo tanto, un AA con tecnología *Inverter* puede ser una excelente opción para reducir el consumo energético. La correcta selección del equipo según el ambiente es crucial para asegurar un buen funcionamiento y ahorro de energía, estos ahorros se producirán si el equipo no está trabajando mayormente a su máxima potencia, es decir, el equipo no debe ser sub dimensionado en sus condiciones de trabajo.

RESULTADOS

Sensibilidad de los consumos con la temperatura de referencia

Como se describió más arriba, los consumos de calefacción dependen del valor del DGD del lugar. El uso y regulación apropiada de los termostatos en el acondicionamiento térmico de viviendas y edificios ha sido analizado por varios autores (Staffell et al., 2012), y varias agencias nacionales e internacionales hacen recomendaciones específicas sobre su uso e importancia en el ahorro de energía (Energy Saver , 2024), (Consumer Reports, 2024).

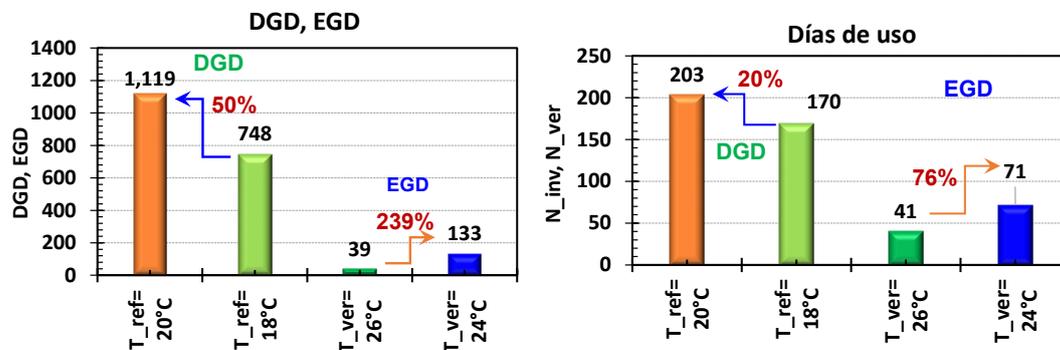


Figura 6: Variación de la DGD_(año) y del EGD_(año) como función de la temperatura de referencia (termostato). Los datos corresponden al Área Metropolitana de Buenos Aires, tomando como base los años 2013 a 2023.

Se asocia la temperatura de referencia $T_{ref_invierno}$ con la temperatura exterior por debajo de la cual se comienza a calefaccionar. De esta manera, al fijar el termostato, el valor del DGD varía muy significativamente con el valor elegido: $T_{ref_invierno}$ (“set-point”). La variación del DGD con $T_{ref_invierno}$, se ilustra en la Figura 6. Mediante la metodología planteada más arriba, una variación de la $T_{ref_invierno}$, entre 18 °C y 20 °C, para un escenario térmico real en AMBA, produce una variación del DGD de 748 *grado.día* a 1119 *grado.día*, o sea un incremento del 50 % o inversamente una reducción del 33 % cuando se pasa de 20 °C a 18 °C. Asimismo, el panel derecho muestra que el número de días a calefaccionar, varía de 170 días a 203 días (incremento del 20%). Se puede hacer un análisis similar con la refrigeración. Si la temperatura del termostato en verano se varía en 2 °C, por ejemplo de 24 °C a 26

°C, el EGD varía de 133 *grado.día* a 39 *grado.día*, o sea en un 239%. Asimismo, los días en que se usaría el acondicionador de aire varían de 41 a 71 días, o sea en un 76 %.

Como se puede ver, el consumo de calefacción es proporcional a la DGD que a su vez es función de la $T_{ref_invierno}$, y dado que el consumo anual de calefacción depende de ella, nuestro análisis permite inferir la variación del consumo para calefacción con el valor de $T_{ref_invierno}$. En la Figura 7 se muestra el resultado de este análisis para el caso de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Se pueden ver que los ahorros de energía para calefacción por variación de 1 °C en el valor de $T_{ref_invierno}$. En la Ref. (Hoyt et al., 2014) se estudia el caso para viviendas en la zona central de California, con resultados similares.

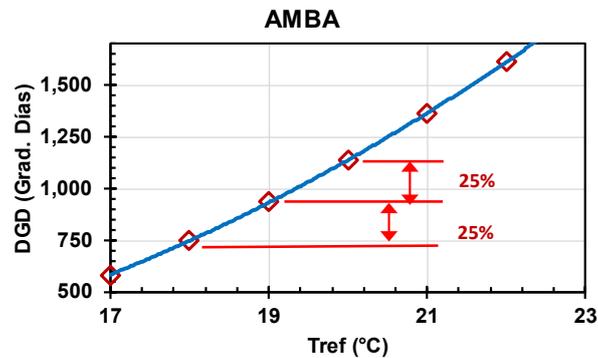


Figura 7: Variación de la DGD anual como función de la temperatura de referencia (termostato). Los datos corresponden a la región del AMBA, tomando como base de los años 2013 a 2023.

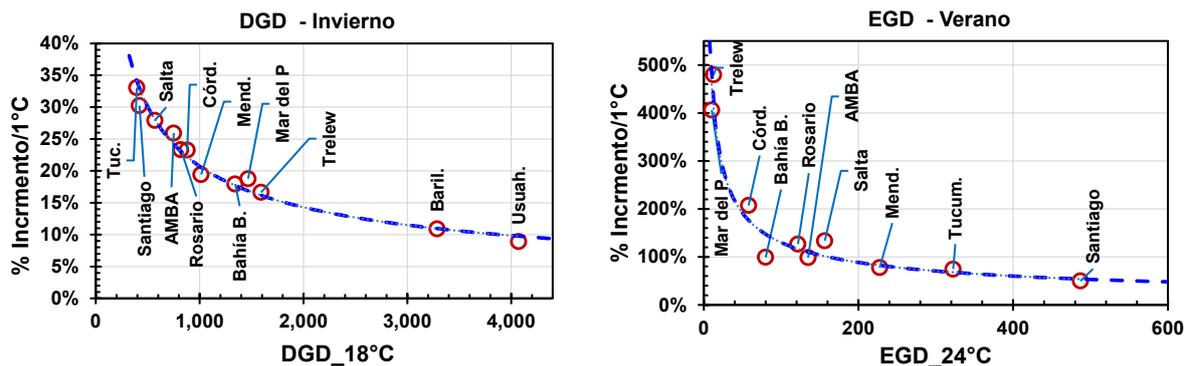


Figura 8. Potenciales ahorros en consumo de energía para calefacción, y refrigeración por variación de 1 °C en la temperatura de referencia o de termostato, para distintas ciudades de Argentina. Izquierda invierno y derecha verano.

En la Figura 8 se muestran los potenciales ahorros de energía para diversas ciudades de Argentina, producidos al variar la temperatura en 1 °C, tanto para invierno (izquierda) como verano (derecha). Desde luego, estos valores pueden variar ligeramente de un año a otro según sean las temperaturas en cada año. Se ve que estas variaciones, para la calefacción, son del orden del 10 % para las regiones más frías (mayor valor de DGD) y para **la zona centro norte, superan el 25 %**. Este resultado es sorprendente sobre todo si se lo compara con el reportado en otros países, donde los ahorros son del orden de 10 % (S.A. Al-Sanea, 2008). Cabe señalar que estos últimos resultados fueron realizados en las zonas más bien frías del hemisferio norte. En ese sentido, ciudades como Bariloche o Ushuaia que tiene escenarios térmicos similares a Londres o Nueva York, dan resultados concordantes con los reportados para esas ciudades.

En la Figura 8 se muestran también los potenciales ahorros producidos al aumentar la temperatura de los termostatos en 1 °C, durante el verano. Se ve que los incrementos del consumo en todas las ciudades de Argentina **son superiores al 50 %**, por lo que una política que promueva el uso de los termostatos en verano a 26 °C para todo el país podría contribuir a reducir el costo de las facturas de electricidad de las familias y mitigar significativamente las emisiones de carbono.

Sensibilidad de los Consumos con la Temperatura de Referencia con uso de BC

Como ya mencionamos, el COP de una BC varía en forma muy notable con la diferencia de temperatura, ΔT , entre el exterior e interior, (Staffell et al., 2012), (International Energy Agency (IEA), 2023) Por lo tanto, al considerar la variación del consumo energético de una BC con el valor de $T_{ref_invierno}$, es necesario tener en cuenta esta variación de la eficiencia. De hecho, en la Figura 9, se muestra la variación de los potenciales ahorros de consumo, relativos al valor de $T_{ref_invierno} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, para un calefactor convencional a gas (círculos azules). Por su parte, para el caso de una BC, con cruces verdes, la variación del COP supuesto es como en descripto en la Figura 5.

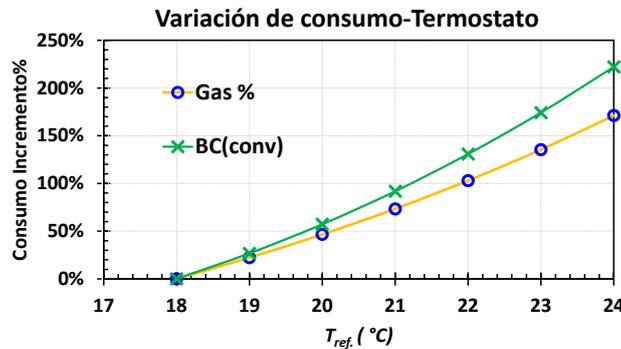


Figura 9. Variación de los potenciales ahorros de consumo con el “set-point” de los termostatos, relativos al valor de $T_{ref} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, para un calefactor convencional a gas (círculos azules) y para una BC (cruces verdes) con variación del COP como es descripto en la Figura 5.

Como era de esperar, en el caso de la BC, la variación del consumo con el valor de $T_{ref_invierno}$, es mayor que para calefactores convencionales, como consecuencia de la variación de COP con ΔT . Así para un incremento de la temperatura del termostato (set-point), de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (salto térmico de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, el consumo con un calefactor convencional se incrementa en un valor cercano al 50 %, mientras que para una BC el incremento en regiones con climas templados como Buenos Aires es del 55 %.

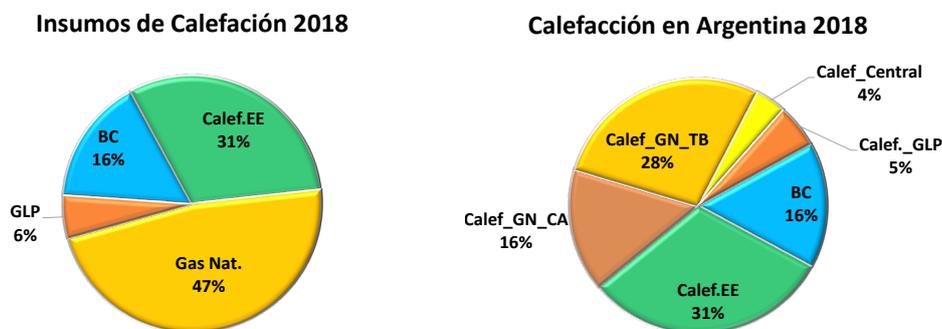


Figura 10. Izquierda, distribución de los equipos de calefacción según el insumo energético que utilizan en Argentina. Derecha, distribución de los equipos de calefacción según su tipo.

En la Figura 10, se muestra la distribución de los calefactores en las viviendas de Argentina al año 2018. (Indec, 2022). En esta figura, Calef.EE indica calefactores eléctricos a resistencia, BC son acondicionadores de aire frío/calor, Calef_GN_TB son calefactores a gas natural (GN) con tiro balanceado, Calef_GN_CA son calefactores de GN con cámara abierta, Calef_GLP calefactores a GLP y Calef_central son sistema de calefacción centrales a GN (radiadores, piso radiante, etc.).

La Figura 11 muestra los resultados de estudios “Bottom-Up” recientes sobre los consumos de calefacción en Argentina (Observatorio de Vivienda CABA, 2023), (Zavalía Lagos et al., 2023). Se observa que las familias que usan GN por redes para la calefacción, tienen un consumo por m^2 alrededor de 7,5 veces mayor que las que usan BC. Además, sus emisiones en Argentina son 5 veces mayores. Estos estudios tienen mucha relevancia para el sistema energético argentino ya que muestran 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 Argentina tiene mucha significación económica, energética y ambiental.**

Al observar la Figura 11 es inevitable esbozar alguna explicación al respecto. La relación entre la eficiencia de una BC de COP = 3,5 (quizás los más comunes en el parque de AA en Argentina) al de una estufa a gas de tiro balanceado (eficiencia~ 70 %) es un factor $3,5/0,7 = 5$. Sin embargo, una ventaja significativa de las BC respecto de las estufas a gas es que son fáciles de encender y apagar.

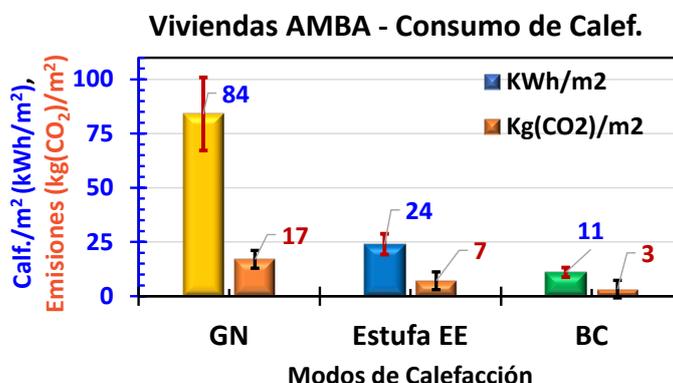


Figura 11: Variación del consumo energético asociado a la calefacción por m^2 , según la tecnología usada. En naranja se indican las emisiones asociadas a cada tecnología por m^2 .

En las estufas a gas, el encendido y apagado no es sencillo, por lo que la llama piloto, que tienen un alto consumo ($0,5 \text{ m}^3/\text{día} \approx 5 \text{ kWh}/\text{día}$), tiende a permanecer encendida 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 de temperaturas en nuestras manos. Por último, por razones de seguridad, es preciso que muchas viviendas con estufas a gas requieren además de alguna ventilación extra por ambiente. Estas **ventilaciones al exterior** son una fuente de ineficiencia en la vivienda, lo que hace que los rendimientos de las estufas a gas sean aun, más bajos. La regulación del termostato, generalmente ausente en las estufas a gas, resulta sumamente sencilla en las BC y contribuye significativamente a la eficiencia. Como vimos, un exceso de $2 \text{ }^\circ\text{C}$ en la regulación del termostato puede significar un incremento en el consumo del orden del 40 % al 50 %, Figura 6.

Los picos de consumo del sector residencial y comercial están en el máximo de prioridad de abastecimiento del gas en Argentina. Eso implica que para satisfacer esta demanda sea necesario hacer cortes en el suministro de industrias y centrales eléctricas (Prieto et al., 2022), de alto costo para la producción nacional y la economía en general. 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 el uso de BC para calefacción (junto con las mejoras en las envolventes de edificios, o mejoras de bajo costo en las aberturas de las viviendas), puede aportar una solución interesante y de no muy alto costo para paliar estos picos de consumo de gas en invierno.

Por último, 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 Argentina, sin intervención de subsidios, el costo de una unidad de energía de electricidad es aproximadamente 3,5 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 aproximadamente 2 veces.**

DISCUSIÓN: EL TERMOSTATO Y SU IMPACTO EN EL AHORRO DE ENERGÍA

En la zona de humedad relativa entre 30 % a 70 %, la temperatura de confort para la mayoría de las personas se halla entre $18 \text{ }^\circ\text{C}$ y $25 \text{ }^\circ\text{C}$. En verano, la mayoría de las personas estarán confortables a una

temperatura de unos 25 °C a 26 °C con ropa liviana. En invierno, quizás una temperatura de 18 °C a 19 °C, con un suéter o pulóver, casi todas las personas se sentirán cómodas. La razón de esta diferencia de temperatura para verano e invierno deviene de varios factores: 1) La vestimenta que usamos en cada estación del año, 2) la disminución y los cambios bruscos de temperatura, 3) el ahorro en el uso de la energía, y su consecuente disminución de los costos de funcionamiento, 4) mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En invierno usamos más abrigos que en verano. Así, con suficiente ropa, en invierno necesitamos de una temperatura más baja en los interiores de viviendas y edificios. Lo opuesto sucede en verano. Además, es conveniente por razones de salubridad y confort, minimizar los cambios bruscos de temperatura al entrar y salir de las viviendas o edificios. En base a lo discutido, surge como necesidad tomar acciones concretas para generar una cultura de uso eficiente de la energía, que incluye la regulación de los termostatos como un elemento importante en el uso de calefacción y refrigeración.

Para el caso de calefacción, sería útil recomendar el adecuado uso de termostatos en los sistemas de acondicionamiento térmico de ambientes, como un método eficaz de reducción del consumo de la energía utilizada en calefacción y refrigeración (Department of Energy USA, (DOE), 2013). En concordancia con el *US Department of Energy* (DOE) se debería recomendar usar el termostato en invierno a 20 °C, mientras los ocupantes estén despiertos y reducir esta temperatura a 18 °C o 17 °C cuando los ocupantes duermen. Los porcentajes de ahorro son mayores para los edificios en climas templados que en los de climas más rigurosos.

En verano, se puede aplicar la misma estrategia, manteniendo la temperatura de las casas y edificios a 26 °C solo cuando están ocupados y apagando la refrigeración en otros horarios. En gran parte de Argentina, durante varios meses no se requiere ningún tipo de apoyo térmico, lo que permite apagar los sistemas de climatización. La regla general es que las pérdidas de calor son menores cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es menor. Por lo tanto, reducir esta diferencia conduce a mayores ahorros de energía, tanto en verano como en invierno.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se discutió cómo el consumo de energía para calefacción es proporcional al Déficit Grado Día (DGD) del lugar. Análogamente, el consumo de refrigeración es proporcional al Exceso Grado Día (EGD). Dado que estos dos parámetros, el DGD y el EGD, dependen de la temperatura a la que se fijan los termostatos. Este estudio indica que una disminución de 1 °C en la temperatura de regulación puede generar un ahorro de energía del orden del 25 % en la zona centro norte de Argentina, donde se encuentra la mayoría de la población. De manera análoga, un incremento de 1 °C en la refrigeración puede generar ahorros superiores al 50 % en la mayoría de las ciudades de Argentina.

De este modo, una estrategia altamente eficaz y económica para reducir el consumo de energía es ajustar las temperaturas de los espacios interiores de manera adecuada según la temporada. Durante el verano, mantener las temperaturas interiores lo más altas posible ($T_{int} \approx 25 \text{ °C}$ o 26 °C), permite minimizar el uso del acondicionador de aire. De modo similar en invierno, mantenerlas lo más bajas posible ($T_{int} \approx 19 \text{ °C}$ o 20 °C), ayuda a reducir la necesidad de calefacción. Este enfoque no solo contribuye al ahorro de energía, sino que también puede generar beneficios significativos para el medio ambiente y a la salud de las personas, evitando los saltos bruscos de temperatura, causante de numerosos problemas de salud. Asimismo, esta estrategia permite reducir los costos asociados con el consumo de energía en el hogar o en los lugares de trabajo. En el caso de calefacción con bombas de calor, el efecto de la sensibilidad del consumo con el valor a que se fija el termostato (*set-point*) es aún mayor que para los calefactores convencionales a gas u otro combustible.

Nuestro estudio revela que la adopción de bombas de calor (acondicionadores de aire frío/calor), como sistemas de calefacción en la zona norte del Río Colorado, 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 tales como estufas de tiro balanceado, calderas, etc. La mejora en eficiencia respecto de calefactores eléctricos a resistencia es en

un factor de 3 a 4. Estas ventajas de las bombas de calor 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 balaceado (~ 70 %), o sea un factor cercano a 5. Además, las BC son fáciles de encender y apagar, lo que contrasta con las estufas a gas, e 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. Finalmente, al no ser necesario usar ventiletes, como lo requeridos para las estufas a gas, se reducen las pérdidas de calor por infiltraciones de aire.

Por su parte los aires acondicionados *inverter* tienden a tener una vida útil más larga debido a su funcionamiento más eficiente y menor desgaste en los motores o compresores. Además, por la mejor administración del uso de los motores y compresores y las mejores eficiencias en la transferencia de calor al funcionar a cargas parciales, la tecnología inversora permite lograr mayor eficiencia en el uso de la energía. Desde el punto de vista normativo, sería deseable requerir que todos los equipos de calefacción incluyan termostatos de regulación de temperatura. Mejor aún si son termostatos inteligentes.

- ✓ Requerir que todos los edificios públicos cumplan con las pautas de eficiencia en la regulación de temperaturas.
- ✓ Requerir que los nuevos edificios tengan sistemas de regulación de temperatura por cada unidad, y ambientes individuales, en lugar de sistemas centralizados de regulación.

En definitiva, la correcta regulación del termostato es una herramienta muy simple y de bajo costo, para lograr ahorros importantes de energía y reducir el costo de las facturas.

Mucho del trabajo realizado aquí, pudo lograrse por la activa y gentil colaboración del Laboratorio Lenor (Lenor Group-Organismo de Evaluación de la Conformidad, Buenos Aires, Argentina) y sus expertos y técnicos. En particular, agradecemos al Ing. R. Baumann, a Ricardo Rodríguez, Lucas Rodríguez, Fernando Pellizer del Laboratorio Lenor, por su apoyo y colaboración. Asimismo, agradecemos al Ing. Javier Mariani, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

APÉNDICE 1: MEDICIÓN DE LOS VALORES DE COP PARA UNA BOMBA DE CALOR

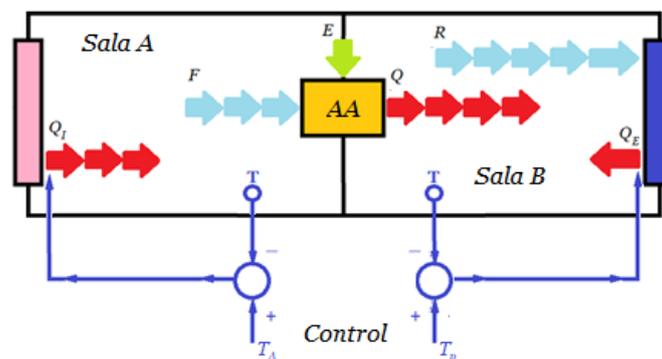


Figura 12. Esquema simplificado de un ensayo de un acondicionador de aire en modo refrigeración, el calorímetro se considera absolutamente adiabático. Experimentalmente se miden: Q_I , Q_E , E y R . En modo frío las salas A y B representan el interior y el exterior de la vivienda respectivamente. En modo calor se invierten los papeles.

En la Figura 12 se presenta un esquema que describe a grandes rasgos el ensayo de un equipo acondicionador. Cuando el equipo se ensaya en modo frío la *sala A* funciona como el interior de la vivienda y la *sala B* como el exterior. En modo calor se invierten los roles y la sala A funciona como exterior y la B como interior. Cada sala cuenta con sistema de humidificación, deshumidificación, refrigeración, y sistema de calefacción, así como un dispositivo de control y sensores de temperatura y humedad, similar al usado por otros laboratorios de ensayos. (Andrade et al., 2021)

El equipo en cuestión, AA (en amarillo), bombea calor desde la sala A hacia la B utilizando energía eléctrica E (flecha verde). El calor F que extrae de la sala A (3 flechas celestes) más la energía eléctrica (1 flecha verde) se vuelcan en forma de calor Q (4 flechas rojas) en la sala B, es decir: $Q = F + E$. Para mantener en condiciones estables la sala A, su equipo re-acondicionador (calefactor a resistencias en rosa) debe suministrar a la sala una cantidad de calor Q_I (3 flechas rojas) igual a la que extrae el acondicionador, $Q_I = F$, lo que hace ajustando la potencia entregada por unas resistencias calefactoras para mantener la temperatura en el valor especificado T_A . Dado que es simple medir la potencia suministrada a una resistencia los valores de Q_I y F se conocen fácilmente. Asimismo, el re-acondicionador de la sala B, en azul, debe extraer el calor que entrega el equipo ensayado, para lo cual extrae en exceso R por medio de un intercambiador de calor con agua (4 flechas celestes) y ajusta con Q_E mediante un calefactor a resistencias eléctricas (1 flecha roja) para que la temperatura de la sala B, T_B , queda estable. En estas condiciones de estabilidad $Q = R - Q_E$.

De esta manera el re-acondicionador B controla agregando calor por resistencias eléctricas (Q_E) a una base de frío más o menos constante (R) suministrada por el intercambiador.

El objetivo principal del ensayo para un equipo en modo frío es la determinación del índice de *Eficiencia Energética de Refrigeración* (EER) del equipo (Ecuación 5), este es:

$$EER = \frac{F}{E}. \quad (5)$$

y en modo calor el índice de *Eficiencia Energética de Calefacción* (Ecuación 6), o COP (*Coefficient Of Performance*).

$$COP = \frac{Q}{E}. \quad (6)$$

Para la determinación de estos índices, vemos que $F = Q_I$ y E se miden fácilmente, ya que son simples potencias eléctricas integradas en el tiempo (Ecuación 7). Claro está que esto debe realizarse en condiciones de estabilidad.

Por otra parte, debe ocurrir que:

$$F + E = Q_I + E = Q = R - Q_E. \quad (7)$$

Como las potencias E, Q_I , Q_E , y R son medibles directa o indirectamente, la determinación de todas ellas es necesaria para establecer la coherencia del ensayo mediante la validez de la igualdad (7) dentro de las tolerancias debidas a los errores de medición. Además, se cumple aproximadamente (Ecuación 8):

$$COP \approx 1 + EER \quad (8)$$

REFERENCIAS

- Almogbel, A., & et al. (2020). Comparison of energy consumption between non-inverter and inverter-type air conditioner in Saudi Arabia. *Energy Transitions*, 4, 191-197. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s41825-020-00033-y>
- Andrade, A., Restrepo, A., & Tibaquirá, J. (2021). EER or Fcsp: A performance analysis of fixed and variable air conditioning at different cooling thermal conditions. *Energy Reports*, 7, 537-545.
- Carrizo, S., Azqueta, P., Strier, D., & Gil, S. (2022). Futuros Urbanos - Vivienda social asequible y sostenible. En *Serie Futuros- URBANOS* (págs. 119-160). Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias y Fundación UNSAM .
- Consumer Reports. (2024). *Are Smart Thermostats Worth It?* <https://www.consumerreports.org/appliances/thermostats/are-smart-thermostats-worth-it-a7822875275/>
- Department of Energy USA, (DOE). (2013). *Department of Energy USA, (DOE) Energy saving-Thermostat. Thermostat Operation.* <http://energy.gov/energysaver/articles/thermostats>.

- ENARGAS. (2024). *Ente Nacional Regulador del Gas - Argentina*. (Ente Nacional Regulador del Gas en Argentina) Ente Nacional Regulador del Gas: <https://www.enargas.gob.ar/>
- Energy Saver . (2024). *Programmable Thermostats*. (US Department of Energy) <https://www.energy.gov/energysaver/programmable-thermostats>
- Hoyt, T., Arens, E., & Zhang, H. (2014). *Extending air temperature setpoints: Simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings*. Center for the Built Environment, University of California at Berkeley, USA. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.010>
- Iannelli, L., & Gil, S. (2022). Eficiencia en climatización I, Sugerencias para optimizar su consumo - Medidas de bajo costo para el invierno. *Petrotecnica, LXII*(2), 52-59.
- Iannelli, L., & Gil, S. (2022). Eficiencia en climatización II. Eficiencia en climatización, Acondicionamiento térmico de interiores-Medidas de bajo costo para períodos estivales. *Petrotecnica Suplemento Tecnico, Nov. 2022*, 1-11.
- Iannelli, L., Fiora, J., y Gil, S. (2015). Indicador de eficiencia energética en una vivienda modelado de la temperatura interior. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 3, 08.399-08.406.
- Indec. (2022). *Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2017-2018- Energía*. https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/sociedad/engho_2017_2018_uso_energia.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Heat Pumps*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps#overview>
- Peffer, T., y otros. (2011). How people use thermostats in homes: A review. *Building and Environment*, 46, 2529e2541.
- Prieto, R., y Gil, S. (2013). ¿Cómo se distribuye el consumo residencial de gas? Modos de promover un uso más eficiente del gas,. *Petrotecnica, LIV*(6), pag. 81-92.
- Prieto, R., y Gil, S. (2014). Regulación del termostato: un modo simple y racional de ahorrar energía en calefacción y refrigeración. *Petrotecnica (Revista del IAPG)*, V(5), 102-104.
- Prieto, R., Carrizo, S., Codeseira, L., & Gil, S. (2022). Relevancia del Gas Natural para una Transición Energética Justa. *Petrotecnica, XXVI*(51), 4-20.
- Observatorio de Vivienda CABA. (2023). *Proyecto de Fortalecimiento del Observatorio de Vivienda de la CABA*. <https://vivienda.buenosaires.gob.ar/informe-final>
- S.A. Al-Sanea, M. Z. (2008). Optimized monthly-fixed thermostat-setting scheme for maximum energy-savings and thermal comfort in air-conditioned spaces. *Applied Energy*, 85, 326–346.
- Staffell, I., y otros. (2012). A review of domestic heat pumps. *Energy Environ. Sci.*, 5, 9291. <https://doi.org/10.1039/c2ee22653g>
- U.S. Energy Information Administration-DOE. (2024). *Degree days*. <https://www.eia.gov/energyexplained/units-and-calculators/degree-days.php#:~:text=A%20high%20number%20of%20degree,%C2%B0F%20has%2025%20HDDs>.
- US Dept of Commerce. (2024). *What Are Heating and Cooling Degree Days*. (National Weather Service) https://www.weather.gov/key/climate_heat_cool
- USA Department of Energy. (2024). *Energy Saver*. <https://www.energy.gov/energysaver/energy-saver>
- Wikipedia. (2024). *Heating degree day*. https://en.wikipedia.org/wiki/Heating_degree_day
- Yan, H., y otros. (2022). Thermal adaptation of different set point temperature modes and energy saving potential in split air-conditioned office buildings during summer. *Building and Environment, September 2014*, 225(Nov), 109565.
- Yon, M., y otros. (2018). Experimental Study on Comparison Of Energy Consumption Between Constant and Variable Speed Air Air-Conditioners In Two Different Climates. *Proceedings of the 9th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning ACRA2018*. Sapporo, JAPAN.
- Zavalía Lagos, R., y otros. (2023). Calefacción eficiente, ¿Bombas de calor o sistemas tradicionales de calefacción? *Petrotecnica, IAPG., LXIII*(4), 92-104. <https://www.petrotecnica.com.ar/>
- Zavalía Lagos, R., Iannelli, L., y Gil, S. (2022). Anatomía del Consumo Residencial Argentino -Uso Racional y Eficiente del Acondicionamiento Térmico. En *Futuros Energía - Fundación UNSAM - N.Coppari y otros*. San Martín - Buenos Aires: Fund. UNSAM y ASSoc. Argentina para el Progreso de las Ciencias. . <https://aargentinapciencias.org/serie-futuros/>

USE OF THE THERMOSTAT: STRATEGIES FOR ENERGY SAVING IN HOMES AND BUILDINGS

ABSTRACT: This study explores the potential for energy savings in the thermal conditioning of homes and buildings through efficient thermostat use for both heating and cooling. It compares the performance of conventional heaters with hot/cold air conditioners (heat pumps), assessing the performance coefficients of equipment available in the Argentine market. The findings show that reducing the thermostat setting by 2°C in winter can lower heating consumption by about 30%, with even greater savings for heat pumps. Similarly, raising the thermostat by just 1°C in summer can reduce cooling consumption by around 33%. Additionally, homes with heat pumps consume significantly less energy for heating compared to those using natural gas systems, with consumption differences of up to sevenfold per square meter in the Buenos Aires Metropolitan Area and likely throughout the central-northern region of the Southern Cone.

Keywords: energy efficiency, building thermal conditioning, heat pumps, thermostat, inverter.