SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

CONUEE
COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Eficiencia energética en el confort térmico en viviendas de clima cálido en México

Cuadernos de la CONUEE
Número 5/Nuevo Ciclo
Abril 2020

Eficiencia energética en el confort térmico en viviendas de clima cálido en México

Por Ing. Odón de Buen R.
Director General
Conuee

RESUMEN

En este documento se describe la relación entre el confort y la salud humana, los climas predominantes en México, la evolución del consumo eléctrico en el sector residencial en los últimos treinta y cinco años, los procesos que determinan la necesidad de usar energía para el confort térmico, las medidas de regulación técnica que se han adoptado en México para su mitigación, las implicaciones en varios aspectos de la vida social y económica del país, y recomendaciones para fortalecer las acciones realizadas a la fecha.

Las conclusiones señalan que el cumplimiento cabal de las regulaciones técnicas (NOM) servirá para reducir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica para confort térmico en viviendas al aplicarse en estas y equipos nuevos, pero también existe potencial de modificar, con alta rentabilidad para los usuarios y la hacienda pública, la envolvente de cientos de miles de viviendas y de sustituir millones de equipos acondicionadores de aire en las existentes.

I. AIRE, CONFORT Y SALUD HUMANA

Son varios los factores y condiciones que determinan si el aire interior de una vivienda lleva al confort térmico y a la salud de sus ocupantes.

En particular, es importante la forma en que el cuerpo humano gana o pierde calor.

El cuerpo gana calor de dos maneras:

- Calor producido por el cuerpo mismo a través de su metabolismo o
- Calor ganado de fuentes externas.

El cuerpo pierde calor a través de cuatro procesos:

- Conducción: cuando la temperatura de la superficie del cuerpo es mayor que el aire a su alrededor, el calor se conduce de la superficie del cuerpo al aire. El uso de ropa disminuye este proceso.
- Convección: el movimiento del aire remueve el calor del cuerpo.
- Radiación: cualquier objeto con una temperatura mayor a la que se encuentra a su alrededor radía calor hacia los objetos a menor temperatura.
- Evaporación: el cuerpo puede mantener su temperatura de equilibrio, ya sea por perspiración o por la respiración.

De esta manera y sin considerar la contaminación ambiental, son tres las variables más importantes que determinan los niveles de confort de una persona respecto de su ambiente inmediato: la temperatura del aire, la humedad relativa y el movimiento del aire.

a. La temperatura del aire

La temperatura ambiente tiene un efecto muy importante y variable en la salud humana.

La temperatura promedio del cuerpo, tomada abajo de la lengua, es de 37 °C y no varía más de una fracción de grado, aun cuando varíen las condiciones externas al cuerpo. El cuerpo humano gana, produce y pierde calor continuamente para mantener su equilibrio térmico.

Existen dos medidas relevantes de la temperatura ambiente: la temperatura de bulbo seco y la de bulbo húmedo y hacen referencia a la temperatura que marca un termómetro de mercurio en dos situaciones diferentes: lo que marca un termómetro sin modificar y lo que se observa al envolver el depósito de mercurio o bulbo en un trapo de algodón empapado con agua.

El registro que se obtiene por el termómetro húmedo, en conjunto con lo que se obtiene del termómetro seco, puede utilizarse para calcular la humedad relativa del aire. En este sentido, la temperatura de bulbo húmedo siempre será inferior a la del bulbo seco, ya que la evaporación de agua ejerce un efecto de enfriamiento y solo serán iguales cuando el aire está saturado de vapor de agua (100% de humedad relativa).

A medida que aumenta la temperatura de bulbo seco del aire ambiente, la transmisión de calor sensible[1] del cuerpo disminuye, mientras que la de calor latente[2] aumenta. Expresado físicamente, la evaporación del sudor ocurre porque el aire no está saturado y aporta la energía para la evaporación del sudor, lo cual enfría el aire en esa superficie.

La perspiración profusa, aunque esencial para enfriar al cuerpo, trae consigo la pérdida de ciertos minerales y sales que son necesarios para el organismo humano. Esta falta de sales se puede reflejar en la actividad muscular, la cual depende de electrolitos (que contienen estas sales) para operar adecuadamente. El corazón, que es también un músculo, se ve afectado por la falta de sales.

b. La humedad relativa.

El aire atmosférico está constituido por diferentes gases, como el nitrógeno y oxígeno, los cuales mantienen constante la composición del aire. El contenido de agua, en forma de vapor, es variable y, pese a que la proporción de vapor de agua en la atmósfera es relativamente baja, su variabilidad es uno de los factores que afecta al confort humano. La cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier

[1] El calor sensible es la cantidad de calor que absorbe o libera un cuerpo sin que en él ocurran cambios en su estado físico (cambio de fase).
[2] Cuando un líquido pasa al estado gaseoso, toma calor latente; cuando un gas se condensa y pasa al estado líquido, cede calor latente. Durante esos procesos la temperatura no experimentará cambio alguno.

momento determinado, es normalmente menor que el necesario para saturar el aire.

La humedad absoluta se define como la masa de vapor de agua respecto de la masa de aire seco en un volumen. La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente con relación a la densidad de vapor de saturación.

En el cuerpo humano, la baja humedad relativa del aire seco del verano ayuda al cuerpo a disipar calor por la evaporación de la perspiración.

A su vez, cuando la temperatura y la humedad relativa son altas (como ocurre en grandes regiones de México), el sudor no se evapora y, al no haber ese cambio de fase de líquido a gas (que toma calor del aire que rodea al cuerpo y enfría ese aire), el cuerpo no pierde calor y es más difícil tener confort térmico.

c. El movimiento del aire.

El movimiento del aire acelera la pérdida del calor del cuerpo y puede servir para mantener niveles aceptables de confort térmico.

Diferentes personas reaccionan de distintas maneras a las condiciones atmosféricas que las rodean. La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés)[3] ha conducido investigaciones a través de muchos años e involucrando a cientos de personas en un intento por relacionar los factores de temperatura, humedad y movimiento del aire al confort humano. De los resultados de estas pruebas se desarrolló el concepto de Temperatura Efectiva.

La Temperatura Efectiva es una medida del confort que involucra a los efectos combinados de temperatura, humedad y movimiento del aire en la manera en que son juzgados por los sujetos de los estudios de investigación, por lo que su relación con el confort varía según edad, peso, género, nivel de actividad y clima predominante en la localidad donde habitan, entre otros.

d. La calidad del aire interior.

Además de los factores anteriores, es también relevante el de la calidad del aire interior, que, entre otros factores, está determinado por el propio metabolismo de las personas que ocupan una vivienda y por una mezcla de contaminantes procedentes de diferentes fuentes.

De forma genérica podemos distinguir dos tipos de fuentes de contaminantes en el aire interior. Las fuentes primarias, que son aquellas que generan contaminación debido a su uso o presencia en el interior: uso de combustibles, humo de tabaco, bioefluentes de mascotas, cubiertas de suelos y paredes, pinturas sintéticas,

[3] ASHRAE. https://www.ashrae.org/about/ashrae-en-espa%C3%B1ol

pegamentos, barnices, ceras, plaguicidas, materiales de construcción, aire procedente del exterior. En general, cualquier producto químico usado o presente en el interior es, *a priori*, una fuente de contaminación. A su vez, las fuentes secundarias son los procesos químicos que transforman los contaminantes emitidos por fuentes primarias dando lugar a otros nuevos, que son conocidos como contaminantes secundarios (productos de oxidación, partículas, etc.) (Junta de Andalucía).

Una variable importante para establecer la calidad del aire interior es el nivel de dióxido de carbono (CO_2) que es exhalado como producto del proceso de respiración. El CO_2 es un gas incoloro e inodoro que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono. En ambientes interiores de una vivienda sus principales focos son la respiración humana y el fumar; aunque los niveles de dióxido de carbono también pueden incrementarse por la existencia de otras combustiones (cocinas y calefacción) o por la proximidad de vías de tráfico, garajes o determinadas industrias (Junta de Andalucía).

II. EL CLIMA DE MÉXICO

México cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio ambiente, en húmedo, subhúmedo y muy seco.

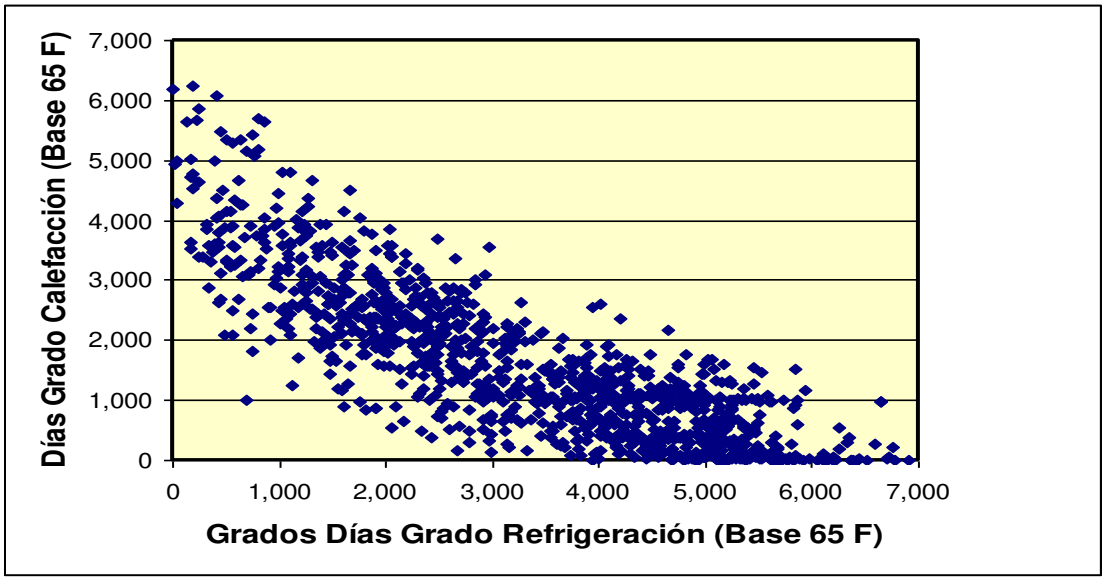
Las áreas al sur del paralelo 24 norte, con elevaciones por arriba de 1,000 metros (las partes meridionales de ambas planicies costeras, así como la Península de Yucatán), tienen una temperatura media anual entre 24 y 28 °C (75.2 y 82.4 °F). Allí las temperaturas permanecen altas durante todo el año, con solo una diferencia de 5 °C (9 °F) entre las temperaturas medias de invierno y verano. A su vez, las áreas bajas al norte del paralelo veinticuatro son cálidas y húmedas durante el verano.[4]

Una medida de las necesidades de confort térmico son los llamados Grados Días de refrigeración.[5] Un análisis realizado por la Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAEE) en 2006 y donde se estiman los grados día a partir de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, muestra un predominio de puntos con valores altos de Grados Día de refrigeración respecto de los que corresponden a calefacción (Fig. 1) (AEAEE, 2006).

[4] Clima de México. https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_M%C3%A9xico

[5] Los Grados Día (Degree Days) son un referente del peso que tiene la temperatura exterior sobre las necesidades de confort de un espacio interior, sobre las necesidades de confort en un espacio interior en una localidad dada. Los Grados Día se calculan a partir de mediciones diarias de temperatura y se establecen como la diferencia algebraica, expresada en grados, entre la temperatura media de un día determinado y una temperatura de referencia.

Figura 1 Grados día calefacción y refrigeración (Base 65 F) para 1170 localidades de México.



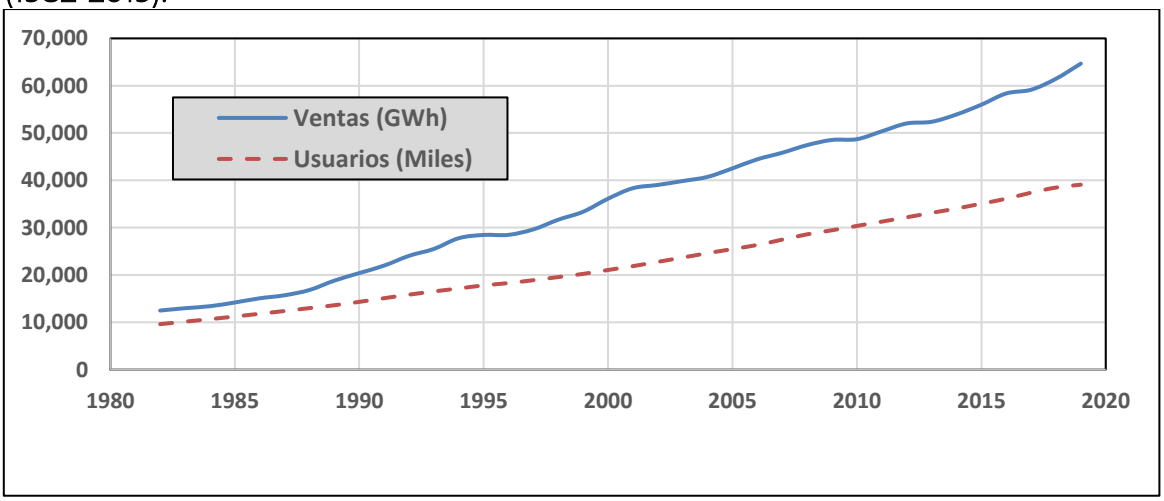
Fuente: ENTE SC, con datos de las Normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional

III. EL CONTEXTO DEL CONFORT TÉRMICO EN REGIONES DE CLIMA CÁLIDO EN MÉXICO

El consumo de energía eléctrica para confort térmico en México es creciente y ya muy importante, reflejando una tendencia de largo plazo (de Buen O., 2009).

Visto de manera agregada y en largo plazo, el sector residencial tiene continuo crecimiento de 1982 a 2020, con un número de usuarios cada vez mayor (creció 4.1 veces) y ventas (consumo) con un crecimiento mayor (5.2 veces) (Fig. 2).

Figura 2. Evolución del número de usuarios y ventas (consumo) de energía eléctrica de consumidores residenciales de Comisión Federal de Electricidad (1982-2019).



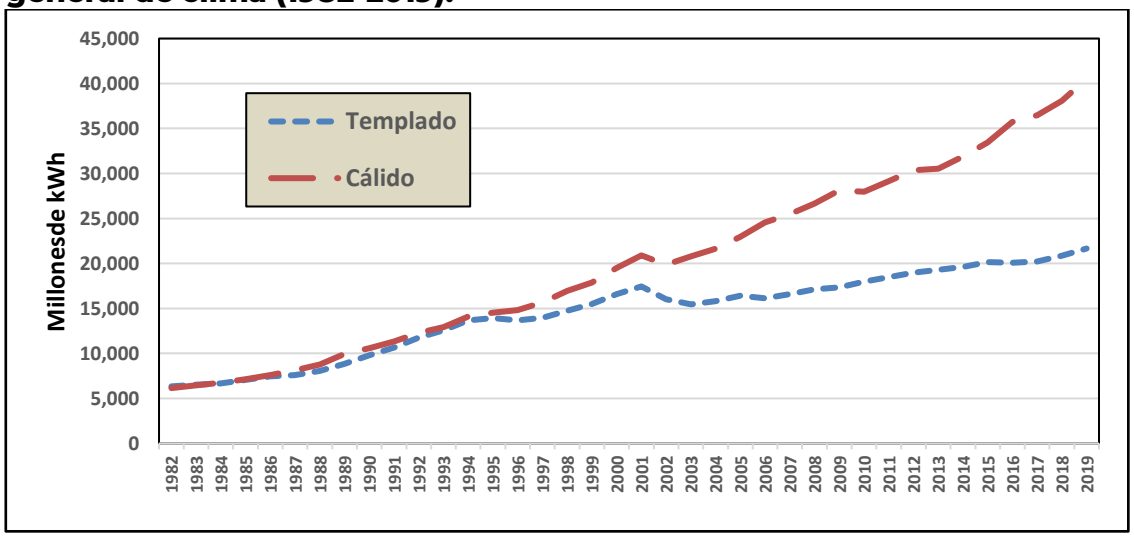
Fuente: CFE, varias fuentes.

Sin embargo, este proceso agregado esconde procesos particulares, en este caso el relacionado a los recorridos claramente diferenciados entre quienes usan la energía eléctrica en zonas de clima templado versus quienes están ubicados en regiones de clima cálido.

Si separamos por tipo de usuarios entre los que se encuentran en clima templado (Tarifa 1) y clima cálido (las otras tarifas de la 1a a la 1f)[6], nos encontramos con un proceso que es muy evidente e igualmente significativo: el despunte del consumo en zonas de clima cálido, particularmente a partir de mediados de los noventa, respecto de las de clima templado (Fig.3).

[6] Las tarifas del sector residencial de México se definen en función de la temperatura promedio máxima en dos meses consecutivos del verano.

Figura 3. Evolución de las ventas (consumo) de energía eléctrica de consumidores residenciales de Comisión Federal de Electricidad, por tipo general de clima (1982-2019).



Fuente: CFE, varias fuentes.

Tomando como referencia el año de 1982, el consumo en regiones de clima cálido ha crecido 6.6 veces mientras que en el templado solamente 3.2 veces. Asumiendo que no hay diferencias radicales entre los dos universos de usuarios en cuanto a crecimiento poblacional o de habitantes por vivienda, este crecimiento diferenciado tiene dos explicaciones:

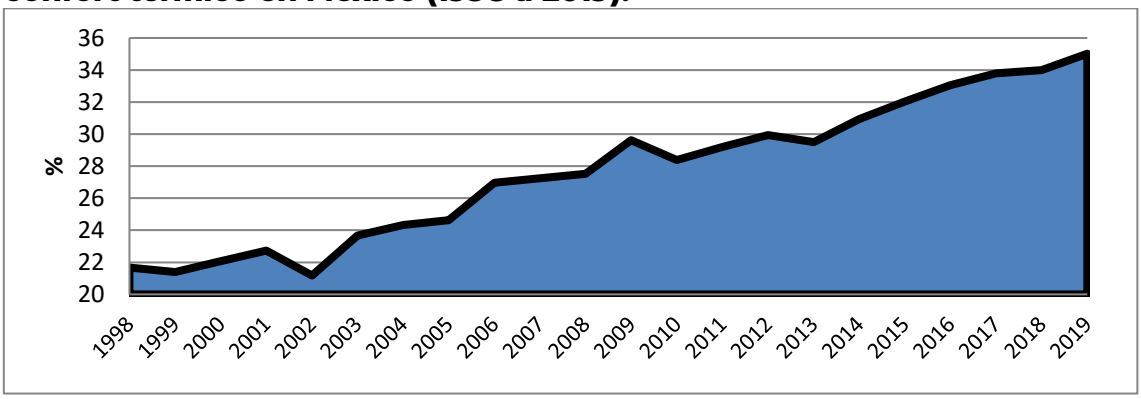
- La entrada en vigor de las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, que han sido muy efectivas en reducir el consumo en los enseres electrodomésticos mayores (refrigerador, lavadora de ropa, equipo de aire acondicionado) e iluminación (CEPAL, 2018).
- La creciente demanda de confort térmico en sectores de la población de ingresos medios, que coincide con la construcción de cientos de miles de viviendas de interés social en zonas de clima cálido y su equipamiento con AC.

La evolución claramente diferenciada del consumo de electricidad entre los dos universos de usuarios es evidencia del crecimiento de la demanda de confort térmico en regiones de clima cálido, el cual ya representa un porcentaje muy significativo del consumo total del sector residencial de México.

Un ejercicio que toma como consumo básico lo que utiliza un usuario promedio en clima templado para cada año de 1998 a 2019, lleva a una estimación de que, mientras que hace veinte años el consumo por confort térmico representaba una quinta parte del consumo total de electricidad de las viviendas en México, hoy ya

es de 35%, en una tendencia de crecimiento que no parece tener visos de aminorarse (Fig. 4).[7]

Figura 4. Evolución del estimado de porcentaje de consumo eléctrico para confort térmico en México (1998 a 2019).

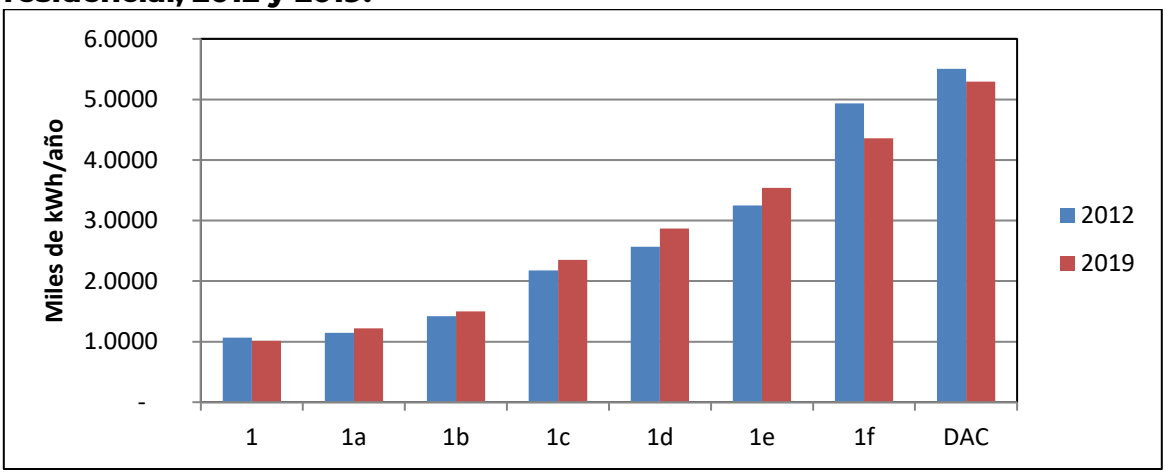


Fuente: Estimado del autor a partir de datos de CFE.

Otra perspectiva sobre el fenómeno nos la da la revisión por tarifas específicas, y que nos señalan cómo el fenómeno de crecimiento de la demanda de confort térmico ha dejado de ser un fenómeno de ciudades fronterizas al norte de México (como lo era en los ochenta y noventa) para llegar a la región del Golfo de México y el Sur de México.

Como nos muestra la Figura 5, entre 2012 y 2019, los usuarios en tarifa 1f (ubicados principalmente en Mexicali y Hermosillo y que representan el 8% de los usuarios en clima cálido) han tenido un decrecimiento de su consumo promedio, mientras que los ubicados en las tarifas 1a a 1e han tenido aumentos de hasta 12% en tan solo 7 años.

Figura 5. Consumo eléctrico promedio por usuario y por tarifa en sector residencial, 2012 y 2019.

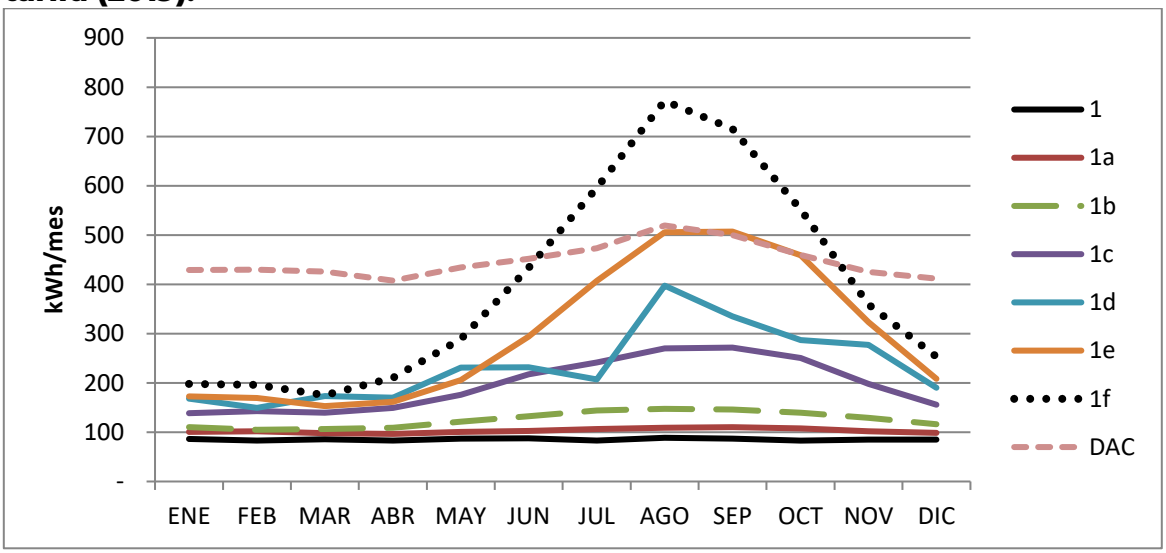


Fuente: Elaborado por el autor a partir de datos de CFE.

[7] Por supuesto, un factor importante es la propia reducción de los consumos en iluminación y refrigeración por la aplicación de las NOM.

Otra perspectiva relevante es la relacionada con el carácter estacionario del consumo. Para los usuarios en tarifas 1f y 1e (cálido en verano) el consumo en los meses de verano puede ser de más de 3 veces que en invierno, mientras que en las tarifas 1a a 1c no llega a duplicarse (Fig. 6).

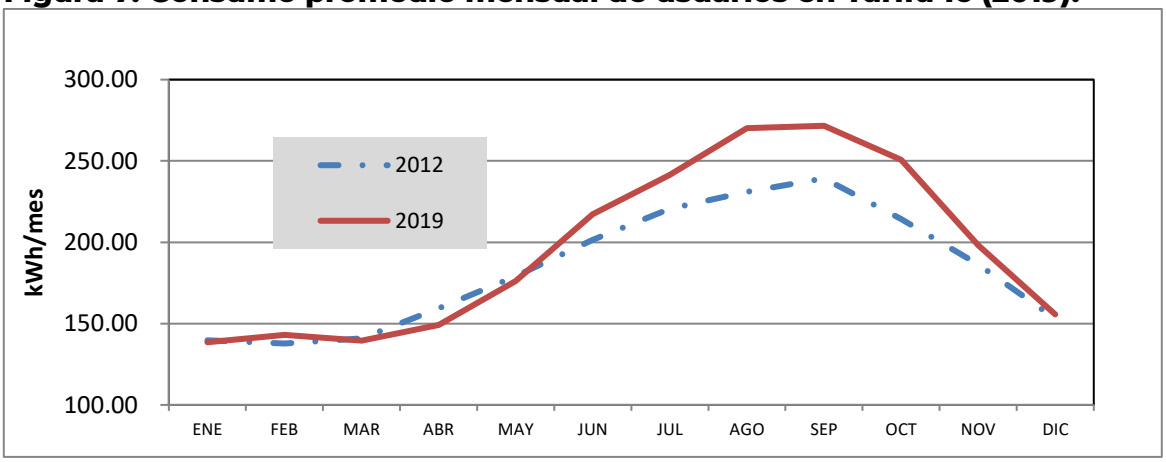
Figura 6. Consumo promedio mensual por usuario residencial por tipo de tarifa (2019).



Fuente: CFE.

En particular, en la tarifa 1-c, con la mayoría de usuarios ubicados en los estados de la región del Golfo de México, el Caribe y el sur de México) y que representa el 30% de los usuarios en regiones de clima cálido, el crecimiento de la demanda en verano es muy notable, lo que refleja que el uso de electricidad para confort térmico crece aceleradamente más allá de la frontera norte (Fig. 7).

Figura 7. Consumo promedio mensual de usuarios en Tarifa 1c (2019).



Fuente: CFE.

IV. LAS IMPLICACIONES

El crecimiento tan significativo del uso de energía eléctrica para confort térmico tiene implicaciones con suficiente peso como para ser considerado un tema prioritario en la agenda pública.

- Infraestructura eléctrica. Hoy día, el creciente equipamiento en los hogares y el crecimiento inmobiliario asociado al sector servicios a lo largo y ancho del país, la demanda de frío para confort térmico en edificaciones es el principal factor en la demanda eléctrica, no solo regionalmente y/o en ciertas partes del año, sino que ya está presente en regiones y en temporadas fuera de la época de calor y de las regiones con clima cálido.[8]
- Economía familiar. Como se ha mostrado arriba, el impacto del uso de electricidad para confort térmico en zonas de clima cálido es muy significativo. Esto se refleja en el hecho de que, bajo una definición que establece a un hogar en pobreza energética como aquel que gasta más del 10% de sus ingresos en energía, en México cerca del 11 por ciento del total de los hogares se ubica en esa definición, lo que representa alrededor de 3.5 millones de hogares. Sin embargo, no es en las zonas más pobres del país donde se presenta el mayor porcentaje de hogares en pobreza energética (con un 9.8 por ciento de los hogares), sino en la frontera norte, donde el 18 por ciento de los hogares (cerca de uno de cada cinco) tiene gastos energéticos superiores al 10 por ciento, lo cual es resultado de su necesidad de confort térmico (de Buen O., Navarrete J., & Hernández P., 2018).
- Finanzas públicas. Los subsidios al consumo de electricidad por confort térmico de usuarios en clima cálido representan una fuerte carga al erario público por más de 40 mil de millones de pesos al año. A costos actuales, se estima que cada año se agregan, solo por el consumo para confort térmico, 400 millones de pesos a lo que tiene que pagar el erario público (Conuee, 2017).
- Medio ambiente. Se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la operación de edificios residenciales y comerciales en México superan los 75 millones de toneladas de CO_2, representando alrededor del 12% del total de emisiones del país (de Buen O., 2009). Asimismo, se estima un crecimiento de hasta 6.7 veces a 2050 si no se hace nada.

[8] El pico de la demanda es muy relevante, ya que determina las necesidades de equipamiento del sistema eléctrico: cualquier sistema de servicio eléctrico debe tener equipos de generación y redes de transmisión y de distribución que respondan, de manera prácticamente instantánea y sin alteraciones en la calidad del servicio, a las condiciones cambiantes de la demanda de los usuarios segundo a segundo.

V. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS

El confort térmico es un servicio energético que se logra de varias maneras, ya sea con equipos que usan energía y/o con sistemas constructivos que permiten regular su flujo hacia los espacios interiores.

La energía es la capacidad de realizar trabajo y se mide, entre otros, como BTUs, Joules, Watts-hora (Wh). La energía puede tener muchas formas (potencial, cinemática, química y térmica, entre otras) y se transforma constantemente de una forma a otra.

La eficiencia energética es la acción de maximizar servicios energéticos con el mínimo posible de energía convencional, lo cual resulta en un ahorro energético, con los beneficios de menores gastos económicos y efectos ambientales por la producción y transformación de energía, en particular la eléctrica.

a. Intensidad energética eléctrica por vivienda en México.

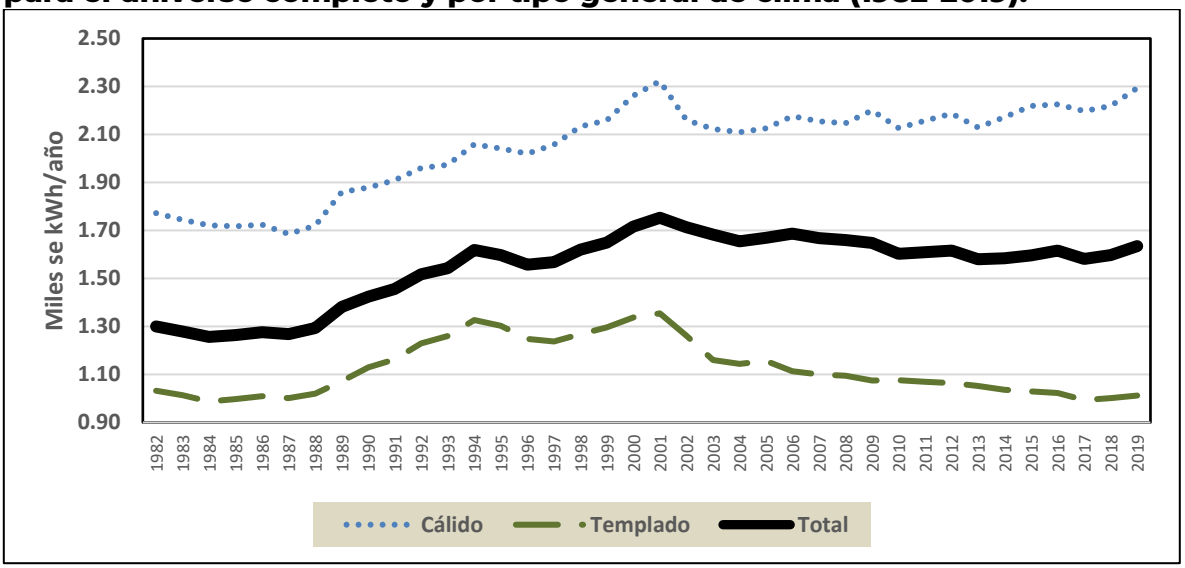
El nivel de consumo de energía de una vivienda depende de una gran variedad de factores que incluyen, entre otros, su nivel de equipamiento, la eficiencia de los equipos, la cantidad de ocupantes, los patrones y hábitos de uso de los equipos, el clima de la localidad donde se ubica y, para regiones con climas extremosos, de las características de la envolvente (que se integra por techo, paredes, ventanas y puertas) de las viviendas.

Esta diferencia y la evolución del consumo promedio de electricidad por vivienda se muestran en la Figura 8 (que muestra los valores promedios para tres universos de usuarios – templado, cálido y total) se puede observar que:

- Los ubicados en clima templado (55% del total) consumen, en promedio, cerca de 1,000 kWh/año. Este valor es 30% menor que al inicio del presente siglo, con un nivel de consumo promedio igual al de hace 35 años.

- Los ubicados en regiones de clima cálido (45% del total) consumen poco más del doble que los de clima templado y su crecimiento promedio se mantiene en un rango cuyo mayor valor es 2,300 kWh/año.

Figura 8. Evolución de las ventas (consumo) promedio por usuario residencial de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad, para el universo completo y por tipo general de clima (1982-2019).



Fuente: CFE, varias fuentes.

a. Eficiencia energética a nivel vivienda

La eficiencia en el uso de la energía en el confort térmico en una vivienda se puede establecer a dos niveles: a nivel vivienda y a nivel equipo utilizado para el confort.

Esta diferenciación es muy importante porque una vivienda puede estar equipada con equipo de muy alta eficiencia, pero tener condiciones de diseño que impliquen altas ganancias térmicas que llevan a un alto consumo de energía.

El nivel de eficiencia energética de una vivienda en clima templado depende de la eficiencia de los equipos que proveen de servicios energéticos (iluminación, refrigeración y confort térmico, entre otros) y de los patrones y hábitos de uso de los equipos por parte de los ocupantes (Conuee, 2016).

Para una vivienda en clima extremoso (frío o calor) el diseño de la envolvente es un factor determinante del nivel de ganancias térmicas que, a su vez, influye en la necesidad de energía, en particular de electricidad utilizada por equipos acondicionadores de aire y que puede reflejarse en un consumo hasta 30% mayor (Conuee, 2017).

Son cuatro los procesos por los que una vivienda gana calor y que determinan la cantidad de energía a extraer del espacio interior de una vivienda:[9] conducción, irradiación solar, cargas internas e infiltración.

[9] El flujo de calor es la cantidad de energía térmica que se transmite en un tiempo dado. Así, el flujo de calor se mide, entre otras unidades, como BTU/hr (BTUs por hora).

Como se anota en la Tabla 1, solo las cargas internas son independientes del diseño de la envolvente de la vivienda, ya que dependen de cómo se ocupa el espacio y de los hábitos de los ocupantes.

Tabla 1. Procesos de ganancia de calor de una vivienda.

Proceso	Explicación	Variables
Conducción	Flujo de calor a través de un medio por interacción molecular directa, donde se presentan temperaturas diferentes entre los dos lados de un material dado. Las moléculas del lado caliente irán excitando en cadena a las del material que los separa hacia el lado frío, buscando equilibrar la temperatura en los dos lados (y en el material).	El flujo de calor por conducción (qc) (o la cantidad de calor que atraviesa a un medio por interacción molecular directa) es función de tres factores: El diferencial de temperatura (ΔT) entre el exterior y el interior. La conductividad térmica (k) del material. El área expuesta al diferencial de temperatura.
Irradiación solar	La radiación se transmite como ondas electromagnéticas entre dos cuerpos a temperaturas distintas. Este es el caso de la radiación solar, que es emitida a varios miles de grados centígrados a los techos y paredes de las edificaciones. En una vivienda, la ganancia térmica se da al penetrar a su interior.	La ganancia térmica por radiación solar transmitida es función de: La transmitancia del vidrio[10] a la radiación solar directa e indirecta. El coeficiente de sombreado[11] del vidrio. El área de la superficie traslúcida.
Cargas internas	Son las cargas térmicas generadas por las personas y los equipos (lámparas, equipos eléctricos varios y equipos que emanan calor al interior de la vivienda).	En condiciones de actividad moderada, el cuerpo llega a generar tanto calor como un foco eléctrico de 200 watts.
Infiltración	La infiltración es el flujo incontrolado de aire (transferencia de masa) a través de aperturas no intencionales, tales como rupturas en paredes y techos, y a través de las aperturas en los perímetros de ventanas y puertas. La infiltración es causada por una presión mayor de aire en el exterior que en el interior de un edificio.	Diferencia de presión entre las presiones en las superficies interior y exterior del edificio.

Por otro lado, las ganancias por conducción, irradiación solar e infiltración sí dependen de las características del diseño, materiales y calidad de la construcción de la vivienda.

[10] La transmitancia es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie.
[11] El coeficiente de sombreado es una medida de la ganancia de calor, a través del vidrio, de la radiación solar. Un coeficiente de sombreado más bajo indica una menor ganancia de calor solar.

- En el proceso de conducción la conductividad térmica de los materiales es la variable más importante.
- En el proceso de ganancia por irradiación solar, la transmitancia y el coeficiente de sombreado son las variables relevantes.
- En el proceso de infiltración, es la calidad de la construcción y qué tan hermética es la envolvente.

b. Regulaciones técnicas aplicables para la eficiencia energética a nivel vivienda

Por lo arriba anotado, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) ha desarrollado y puesto en vigor dos Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que permiten tener certidumbre en cuanto a los parámetros asociados a aislantes térmicos para edificaciones y las características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones (Tabla 2) (Conuee, 2020).

Tabla 2. NOM relacionadas con elementos de envolvente de una vivienda.

NOMENCLATURA	Objetivo y campo de aplicación	Especificaciones
NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificaciones.	Establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones y aplica a los que sean de fabricación nacional. Se excluyen los aislantes térmicos para cimentaciones.	Densidad aparente Conductividad térmica Permeabilidad al vapor de agua Adsorción de humedad y absorción de agua.
NOM-024-ENER-2012 Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones.	Establece la obligación de certificar las características ópticas y térmicas de los vidrios y sistemas vidriados, homogéneos transparentes y translúcidos.	Transmitancia visible (τV) en %, Coeficiente de ganancia de calor solar (CGCS) (valor entre 0 y 1), Coeficiente de sombreado (CS) (valor entre 0 y 1), Coeficiente global de transferencia de calor (K) en W/m2 K, Coeficiente visible térmico (CVT) de acuerdo con el cálculo indicado en el apéndice normativo B de esta norma.

Fuente: (Conuee, 2020)

Asimismo, la Conuee ha desarrollado y puesto en vigor la NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional (Conuee, 2011) y que se apoya en las dos NOM señaladas arriba para dar certidumbre en los resultados que se obtienen por su cumplimiento.

Esta NOM limita la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento y aplica a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existentes.

Respecto de esta NOM, la Conuee llevó a cabo el análisis del impacto potencial de su cumplimiento cabal en 2017 considerando cinco tipologías de envolvente que parten de un edificio de concreto sin medidas de eficiencia energética hasta el que integra el equivalente a aislamiento de 2" de poliestireno expandido (EPS) en techo, el equivalente a aislamiento a 1" de poliestireno expandido en muros, ventanas con vidrios con Factor de Sombreado (FS) de 0.6, y Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) de 0.9 para las cuatro orientaciones.

Del estudio, resaltan las siguientes conclusiones (Conuee, 2017):

- Las viviendas proyectadas (con techo y paredes de concreto y sin medidas de reducción de ganancias térmicas) tienen ganancias térmicas que triplican lo permitido por la NOM-020-ENER.
- Cumplir con la NOM-020-ENER implica la aplicación de cuando menos las tres primeras medidas consideradas, lo que representa costos adicionales de poco más de 13 mil a cerca de 27 mil pesos para viviendas de 39 a 100 m2.
- En el supuesto de que el costo adicional fuera cubierto al 100% por la hacienda pública, se sugiere que se cubra solamente el costo adicional de los elementos que se aplican a muros y ventanas, ya que la práctica de vigueta y bovedilla con aislamiento está lo suficientemente generalizada en las zonas con clima cálido como para considerarlo como costo de la vivienda actual. Esta inversión se recuperaría en un período de 3 a 5 años.
- Se estima que al año se construyen 500,000 viviendas formales en México. De acuerdo con una desagregación basada en el número de usuarios de la CFE, el 26% se ubica en zonas en las que aplica la NOM-020-ENER, por lo que se estima que 132 mil viviendas se encuentran bajo su alcance.
- En caso de no cumplirse con la NOM-020-ENER, se tendrá una insuficiencia tarifaria de 383 millones pesos por año a lo largo de la vida útil de las viviendas construidas en un año. Asimismo, se emitirán, adicionalmente, 77 mil toneladas de emisiones CO_2eq por año y cerca de 2.3 millones de toneladas de CO_2eq en su vida útil por cada año que no se cumpla con la NOM-020-ENER.
- A su vez, no cumplir con la NOM-020-ENER en 132 mil viviendas por año por veinte años resultará en una emisión de gases de efecto invernadero de más de 37 millones de toneladas de CO_2eq en esos veinte años.

c. Eficiencia energética a nivel equipo

Una de las formas para obtener confort térmico es con equipos que usan energía, ya sea para darle movimiento al aire o a través de su enfriamiento.

De manera muy general, son tres tipos de equipos los utilizados para proveer confort térmico: ventiladores, enfriadores evaporativos y equipos que utilizan compresor (o acondicionadores de aire).

- Los ventiladores son dispositivos que funcionan con energía eléctrica para generar la presión necesaria con la que se mantiene un flujo continuo de aire. Son de uso común, pero con capacidad muy limitada de confort térmico en altas temperaturas.
- Los enfriadores evaporativos (también conocidos como "coolers") son dispositivos que operan con energía eléctrica con la que se alimenta un ventilador para flujo de aire y una bomba de agua pequeña para mover cantidades relativamente pequeñas de agua. Estos dispositivos funcionan bien en climas secos, donde el aire absorbe la humedad y se enfría. Tiene la desventaja del consumo de agua, de su uso limitado a climas secos, pero también están limitados en espacios pequeños sin ventilación, donde el aumento de la humedad relativa disminuye el confort.
- Los aires acondicionados son los equipos más comunes en climas secos o húmedos con condiciones extremas Estos operan con dos serpentines que funcionan como intercambiadores de calor (uno dentro de la vivienda y otro en el exterior) que se encuentran interconectados y contienen un fluido refrigerante con la propiedad de absorber y emitir el calor fácilmente cambiando de fase de líquido a vapor (cuando toma calor) y de vapor a líquido (cuando lo entrega al exterior). El refrigerante es bombeado dentro del circuito cerrado y utiliza el compresor para recuperar la condición líquida. Cada intercambiador de calor (también llamados evaporador y condensador, según su función) incluye un ventilador para facilitar el intercambio de calor y su distribución al interior del espacio refrigerado.

La capacidad de enfriamiento se establece en función de la cantidad de calor que un equipo dado puede extraer del espacio por refrigerar y la referencia más común es la Tonelada de Refrigeración (TR).

Una Tonelada de Refrigeración (TR) es la potencia frigorífica capaz de congelar una tonelada de agua hasta hielo a 0°C, en un intervalo de tiempo de 24 horas. Una tonelada de refrigeración es igual a 12,000 BTU/h[12] o a 3.517 kWt.

[12] Un BTU es una *British Thermal Unit*, unidad de medida del calor en el sistema británico. Es la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1 °F la temperatura de una libra (1 libra = 0,4536 kg) de agua destilada.

Como se ha referido arriba, la eficiencia energética es la acción de maximizar servicios energéticos con el mínimo posible de energía convencional, lo cual resulta en un ahorro energético.

La eficiencia de equipos acondicionadores de aire se puede definir de las siguientes maneras:

- Coeficiente de Rendimiento (o COP, por sus siglas en inglés): es la relación entre la potencia (kW) que sale de la bomba de calor como refrigeración o calor, y la potencia (kW) que se suministra al compresor.
- Coeficiente de Eficiencia Energética (EER): es la relación entre la capacidad de refrigeración y el consumo de energía utilizado para obtenerlo. Cuanto más alto es el EER, mejor rendimiento tendría la máquina.
- Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE): es la relación del enfriamiento total de un equipo acondicionador de aire tipo central en watts térmicos (Wt), transferidos del interior al exterior, durante un año de uso, dividido entre la potencia eléctrica total suministrada al equipo en watts eléctricos (We) durante el mismo lapso.
- Eficiencia Energética Combinada (REEC): Especifica la eficiencia energética de un acondicionador de aire tipo cuarto considerando el consumo de energía en modo de espera y se expresa en Wt/We.

d. Regulaciones técnicas aplicables para la eficiencia energética a nivel equipo

En México y desde hace más de 20 años, la Conuee ha desarrollado y puesto en vigor cuatro Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que definen características, límites, métodos de prueba y etiqueta a equipos acondicionadores de aire. Estas NOM aplican a sistemas de hasta 19,050 Watts (65 000,505 BTU/hr) e incluyen (Tabla 3):

- Acondicionadores de aire tipo central, tipo paquete o tipo dividido.
- Acondicionadores de aire tipo cuarto, con o sin calefacción, con condensador enfriado por aire.
- Acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire (conocidos como minisplit y multisplit); de ciclo simple (solo frío) o con ciclo reversible (bomba de calor), que utilizan condensadores enfriados por aire.
- Acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter)[13] con flujo de refrigerante variable y aplica para los acondicionadores de aire tipo

[13] La tecnología Inverter regula el mecanismo del aire acondicionado mediante el cambio de la frecuencia de ciclo eléctrico. En lugar de arrancar y parar frecuentemente, el compresor gira de forma continua, evitando consumos innecesarios y prolongando la vida del compresor.

dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, operados con energía eléctrica, que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor de frecuencia y/o flujo de refrigerante variable y un serpentín condensador enfriado por aire.

Tabla 3. NOM relacionadas a equipos acondicionadores de aire (AA).

NOMENCLATURA	**Objetivo y campo de aplicación**
NOM-011-ENER-2006 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo central*, paquete o dividido.	Establece el nivel mínimo de REEE que deben cumplir los AA tipo central y aplica para los AA tipo central, tipo paquete o tipo dividido, operados con energía eléctrica, en capacidades nominales de enfriamiento de 8,800 W hasta 19,050 W, que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor y un serpentín condensador enfriado por aire o por agua.
NOM-021-ENER/SCFI-2017 Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en *acondicionadores de aire tipo cuarto*.	Establece las especificaciones y los métodos de prueba de la REEC y modo de espera y aplica a los AA tipo cuarto nuevos, con o sin calefacción, con condensador enfriado por aire y con capacidades de enfriamiento hasta de 10,600 Wt. Los acondicionadores de aire tipo cuarto que operen con el modo de calefacción y sin calefacción en un mismo aparato (ciclo inverso), solo aplican las especificaciones de la REEC para su modo de enfriamiento.
NOM-023-ENER-2018 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo dividido*, descarga libre y sin conductos de aire.	Establece el nivel mínimo de REEE que deben cumplir los AA tipo dividido, descarga libre y sin conductos, y aplica para los acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire (conocidos como minisplit y multisplit); de ciclo simple (solo frío) o con ciclo reversible (bomba de calor), que utilizan condensadores enfriados por aire, operados con energía eléctrica, en capacidades nominales de enfriamiento de 1 Wt hasta 19 050 Wt que funcionan por compresión mecánica.
NOM-026-ENER-2015 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter)* con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire.	Establece el nivel mínimo de REEE que deben cumplir los AA tipo dividido (Inverter)[14] con flujo de refrigerante variable y aplica para los AA tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, operados con energía eléctrica, en capacidades nominales de enfriamiento de 1 Wt hasta 19 050 Wt que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor de frecuencia y/o flujo de refrigerante variable y un serpentín condensador enfriado por aire.

[14] La tecnología Inverter regula el mecanismo del aire acondicionado mediante el cambio de la frecuencia de ciclo eléctrico. En lugar de arrancar y parar frecuentemente, el compresor gira de forma continua, evitando consumos innecesarios y prolongando la vida del compresor.

Como medida de eficiencia energética estas NOM utilizan la Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) o la Eficiencia Energética Combinada (REEC) como medidas de la eficiencia energética de los equipos, y cuyos valores mínimos varían de 2,55 a 4,68 Wt/We, esto según el tipo de equipo y su tamaño (Tabla 3).

Tabla 4. NOM relacionadas con equipos acondicionadores de aire (AA).

NOMENCLATURA	**Eficiencia energética mínima**
NOM-011-ENER-2006 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo central*, paquete o dividido.	REEE en Wt/We de 3,81 para capacidades de enfriamiento de 8 800 a 19 050 watts.
NOM-021-ENER/SCFI-2017 Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en *acondicionadores de aire tipo cuarto*.	REEC en de 2,55 a 3.22 Wt/We para 18 clases de equipos hasta de 10 600 Wt.
NOM-023-ENER-2018 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo dividido*, descarga libre y sin conductos de aire.	REEE de 3,28 a 3,37 Wt/We para equipos en 4 capacidades de enfriamiento hasta 19 050 Wt.
NOM-026-ENER-2015 Eficiencia energética en *acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter)* con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire.	REEE de 4,10 a 4,68 Wt/We para equipos en 4 capacidades de enfriamiento hasta 19 050 Wt.

En términos de lo que estas eficiencias pueden representar respecto a equipos eficientes, ponemos el siguiente ejemplo para un equipo de una Tonelada de refrigeración:[15]

Tabla 5. Consumos estimados de energía eléctrica para equipos de AA de una Tonelada de Refrigeración.

Equipo AA	**Eficiencia (Wt/We)**	**Período**			
		Al día	**Al mes**	**Al semestre[16]**	**Al año[17]**
Equipo usado[18]	1.91	22	662	3,969	7,938
Equipo ventana NOM-021-ENER/SCFI-2017	3.19	13	397	2,381	4,763
Split NOM-023-ENER-2018	3.37	13	376	2,254	4,508
Split Inverter NOM-026-ENER-2015	4.68	9	271	1,623	3,246

[15] 1 Tonelada de refrigeración = 3.517 kWt

[16] Aplica para sistemas que operan en regiones de clima cálido seco, donde la demanda de confort térmico es solo para una parte del año.

[17] Aplica para sistemas que operan en regiones de clima cálido húmedo, donde la demanda de confort térmico dura todo el año.

[18] De acuerdo con estudios realizados en Mexicali, un equipo usado tiene una eficiencia promedio de 60% respecto a un equipo nuevo. de Buen O. 1993. Residential Air-Conditioning in Northern México: Impacts and Alternatives. University of California at Berkeley, Berkeley..

Esto significa que una vivienda que utiliza un equipo nuevo en lugar de uno usado, consumirá entre 40 y 60% menos energía eléctrica para confort térmico, lo que puede representar ahorros promedio de 30% en la facturación total de un hogar ubicado en una localidad de clima cálido.

VI. LA POLÍTICA PÚBLICA

La respuesta al reto que nos representa la creciente demanda de confort térmico se ubica en tres grandes líneas de acción:

Obligación de incluir elementos de reducción de ganancias térmicas en reglamentos locales de construcción

La envolvente de la vivienda es un elemento que, a diferencia de otros que se relacionan con el consumo de energía, permanece a lo largo de la vida útil de la vivienda, que fácilmente supera los 30 años. Igualmente, integrar elementos que atenúen las ganancias térmicas en la vivienda tiene un costo significativamente menor cuando se integran como parte de su diseño original, que el tener que hacerlo una vez terminada la edificación y que ha sido ocupada.

Sin embargo, de acuerdo con información del INEGI, en México menos del 5% de las viviendas incorporan aislamiento térmico a su envolvente, mientras que un porcentaje tres veces mayor (cerca del 15%) de las viviendas cuenta con equipos acondicionadores de aire (de Buen O., Navarrete J., & Jaime E, 2017).

Continuar con la actualización y fortalecimiento de las NOM para equipos

En este terreno hay mucha fortaleza, ya que en México tenemos, como se anota más arriba, NOM para todos los equipos que se utilizan en vivienda. Asimismo, existe un robusto sistema de evaluación de la conformidad que asegura su cumplimiento (Conuee, 2020).

Ampliar programas de financiamiento para mejora de envolvente de viviendas y modernización de equipamiento.

Los programas que apoyan la mejora de las envolventes de las viviendas y/o de sus equipamientos no tienen el alcance para aprovechar a cabalidad el potencial de ahorro de energía, que se tiene en el confort térmico por la posible mejora de cientos de miles de viviendas y de equipos de aire acondicionado.

Inclusive y dado que lo que ahorran los usuarios trae consigo un ahorro a la hacienda pública al dos por uno (dos pesos ahorrados de subsidio por cada peso ahorrado por el usuario), un programa de este tipo puede tener apoyo de la propia hacienda pública que, además, puede formar parte de las acciones para reactivar la economía y, al mismo tiempo, cuidar la economía de las familias.

VII. CONCLUSIONES

El confort térmico se ha convertido en un servicio energético de peso importante en la demanda de electricidad del sector residencial en México.

De acuerdo con estimados hechos en la Conuee, ya más del 35% del consumo eléctrico total del sector residencial de México se consume en obtener confort térmico. Asimismo, los usuarios de servicio eléctrico en localidades con clima cálido consumen en promedio el doble que el promedio de los ubicados en clima templado, reflejando un peso de 50% del uso para confort térmico en su consumo.

Este crecimiento es relevante no solo para los propios usuarios de energía eléctrica, cuya economía es presionada para cubrir un gasto mayor que, para ciertas partes del país, se concentra en los meses de verano. Lo es también para la propia infraestructura que provee el servicio, que tiene su mayor demanda en el verano para atender esta necesidad. Asimismo, el nivel de subsidio actual pesa en la hacienda pública, además del impacto ambiental que resulta de los altos niveles de uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad.

El mitigar el crecimiento de la necesidad de energía para confort térmico en viviendas ubicadas en regiones de clima cálido, la Conuee ha elaborado y puesto en vigor siete Normas Oficiales Mexicanas: dos que permiten tener certidumbre en cuanto a los parámetros asociados a aislantes térmicos para edificaciones y las características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones; una que, apoyada en las anteriores, limita la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente; y cuatro que definen características, límites, métodos de prueba y etiqueta a equipos acondicionadores de aire hasta 19,050 watts de capacidad.

El cumplimiento cabal de estas regulaciones servirá para reducir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica para confort térmico en viviendas al aplicarse en viviendas y equipos nuevos, pero también existe potencial de modificar, con alta rentabilidad para los usuarios y la hacienda pública, la envolvente de cientos de miles de viviendas y de sustituir millones de equipos acondicionadores de aire en viviendas existentes.

REFERENCIAS

AEAEE. 2006. Grados día y zonas climáticas para poblaciones con más de 100 mil habitantes: 14. Mexico DF: Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación.

CEPAL. 2018. Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México, 2018. In CEPAL (Ed.): 200: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Conuee. 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional. : 47.

Conuee. 2016. Ahorros de energía por tecnologías consideradas en la Hipoteca Verde de INFONAVIT 40. CDMX.

Conuee. 2017. COSTOS Y BENEFICIOS DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA PARA ENVOLVENTE DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES (NOM-020-ENER): 24: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

Conuee. 2020. Normalización. In Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (Ed.), Vol. 2020.

de Buen O. 1993. ***Residential Air-Conditioning in Northern México: Impacts and Alternatives***. University of California at Berkeley, Berkeley.

de Buen O. 2009. REGIONAL REPORT ON GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION POTENTIALS FROM BUILDINGS: MEXICO: 52. Mexico City: UNEP-SBCI.

de Buen O., Navarrete J., & Hernández P. 2018. Análisis del impacto de las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética en el ingreso-gasto del sector residencial de México a partir de datos de INEGI (1990-2016). In Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Ed.), Vol. 6: 15. CDMX: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía,.

de Buen O., Navarrete J., & Jaime E. 2017. Resultados relevantes relativos a eficiencia energética del Módulo Hogares y Medio Ambiente de la Encuesta Nacional de los Hogares de INEGI, 2015. In C. N. p. e. U. E. d. l. Energía (Ed.), ***Cuadernos***: 8. CDMX: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

Junta de Andalucía. Calidad del aire interior: 134. Sevilla,: Junta de Andalucía,.