



Ministerio de Energía

Informe Técnico

Estándar Mínimo de Eficiencia Energética

Equipos de Aire Acondicionado

DIVISIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

2017

Santiago - Chile

Versión Consulta Pública

Nota previa: el presente informe técnico se basa en el estudio denominado “Evaluación de medidas de eficiencia energética en artefactos: impacto técnico-económico para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en acondicionadores de aire y propuesta de nuevos productos para ser etiquetados en eficiencia energética” elaborado por ATS Energía después de adjudicarse la licitación ID: realizada por el Ministerio de Energía.

Tabla de contenido

1.	Introducción	4
1.1	La importancia de la eficiencia energética y de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética.....	4
1.2	Tecnología de Aire Acondicionado.....	6
1.3	Chile: Consumo de energía en acondicionadores de aire	11
2.	Antecedentes nacionales que facilitan la definición de estándares mínimos de eficiencia energética.....	15
2.1	Etiquetado de eficiencia energética.....	15
2.2	Categorías de eficiencia energética para aires acondicionados a nivel internacional.....	17
2.3	Contexto nacional del mercado de aire acondicionado en Chile y de la eficiencia energética en estos productos.....	18
3.	Antecedentes internacionales de MEPS	19
3.1	Argentina.....	19
3.2	Brasil.....	22
3.3	China.....	24
3.4	Colombia	27
3.5	Estados Unidos	29
3.6	México.....	33
3.7	Unión Europea.....	37
3.8	Uruguay.....	42
3.9	Nueva Zelanda.....	43
4.	Evaluación de alternativas para estándar mínimo de eficiencia energética para aires acondicionados	46
4.1	Antecedentes	46
4.2	Análisis de Impacto: Modelo PAMS	47
4.3	Datos de entrada para PAMS	49
4.4	Consideraciones para una propuesta de estándar mínimo de eficiencia energética	64
4.5	Recomendaciones derivadas del estudio.....	67
5.	Propuesta de implementación de un estándar mínimo de eficiencia energética para Chile ...	70
6.	Anexos.....	72

1. Introducción

1.1 La importancia de la eficiencia energética y de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética

Mejorar la eficiencia energética de los artefactos domésticos e industriales es un tema relevante para avanzar en las políticas de sustentabilidad en nuestro país. De acuerdo a diversos expertos, estudios y recomendaciones internacionales¹, el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS por sus siglas en inglés), son las políticas más costo-efectivas para mejorar el parque tecnológico disponible en un país, y de esta manera avanzar en el desarrollo de una política pública que incremente la eficiencia energética a nivel residencial.

El Lawrence Berkely National Lab de California en conjunto con el Programa Colaborativo de Etiquetado y Estándares de Eficiencia Energética (CLASP por sus siglas en inglés) han desarrollado una metodología para evaluar los impactos de implementar políticas de estándares mínimos de eficiencia energética en artefactos. Esta metodología se basa en la modelación de escenarios en base al “Modelo PAMS”² (Policy Analysis Modeling System) y es reconocida como un instrumento de gran ayuda para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas públicas en eficiencia energética. Esta herramienta es utilizada actualmente por ONU Ambiente³ en la evaluación de políticas de eficiencia energética.

En cuanto a los aires acondicionados, a nivel internacional, la demanda por este tipo de equipo se está incrementando rápidamente especialmente en regiones con clima caluroso. A medida que el nivel de ingreso crece y aumenta la calidad de vida, las ventas y uso de aires acondicionados crecen significativamente, como es el caso de las economías emergentes de India, Indonesia, México y Brasil. Los aires acondicionados son una importante fuente de consumo energético en los hogares que los utilizan y son causa de peaks de demanda eléctrica, especialmente en los días calurosos del verano. Estos equipos son un factor clave en el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido al uso de refrigerantes que tienen un impacto climático significativo, así como el consumo eléctrico que lidera las emisiones de gases de efecto invernadero debido al funcionamiento de plantas de generación eléctricas que utilizan combustibles fósiles.

En 2015, los aires acondicionados de viviendas representaron aproximadamente el 20% de la demanda eléctrica residencial de 150 países en desarrollo y emergentes. El stock global de equipos de aire acondicionado se espera que se incremente desde los 660 millones de unidades en 2015 a más de 1,5 billones de unidades en 2030, incrementando con ello de manera significativa las emisiones de CO2 del sector.

¹ Se puede nombrar: Recomendaciones APEC – Revisión de Expertos 2009; Informe Comisión Ciudadana Tecnico-Parlamentaria; Informe Comisión Asesora Desarrollo Eléctrico; Especialistas Lawrence Berkeley Lab Universidad de California.

² <https://ies.lbl.gov/project/policy-analysis-modeling-system>

³ <http://united4efficiency.org/>

Más de 40 países a nivel mundial han implementado estándares y etiquetados para aire acondicionado como una manera de impulsar la eficiencia energética y el ahorro de energía, pero con la rápida evolución de las tecnologías de aire acondicionado y el crecimiento de la demanda, es posible ahorrar una mayor cantidad de energía ya sea expandiendo a más países regulaciones similares a las ya desarrolladas, o bien mejorando la rigurosidad de las regulaciones existentes junto con las mejoras en curso en la tecnología del acondicionador de aire.

Los múltiples beneficios de la transición a aires acondicionados de alta eficiencia y bajos niveles de refrigerantes están bien documentados. Los siguientes son algunos ejemplos de los beneficios, como por ejemplo, ahorros de energía, reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero y beneficios del consumidor⁴:

- Se estima que 369 THh/año de electricidad (equivalente a cerca de 123 plantas generadores de tamaño medio) pueden ser ahorrados por las 12 mayores economías en 2020 si se adoptan las mejores tecnologías de aire acondicionado disponibles actualmente.
- Mejorando la eficiencia de los aires acondicionados de habitación (~30% más eficiente que la tecnología actual) en paralelo con refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global en estos productos se podrían evitar por sobre los **~25 billones de toneladas** de CO₂ en 2030, ~33 billones en 2040, y ~40 billones en 2050, i.e. ahorros acumulados sobre los 98 billones de toneladas de CO₂ al 2050.

Con el objetivo de contar con una evaluación independiente y objetiva de los diferentes impactos de implementar un estándar mínimo de eficiencia energética en aires acondicionados en nuestro país, el Ministerio de Energía licitó el estudio denominado “Evaluación de medidas de eficiencia energética en artefactos: impacto técnico-económico para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en acondicionadores de aire” (en adelante “el estudio”). La licitación se adjudicó a ATS Energía S.A., quienes realizaron el estudio con el apoyo del Lawrence Berkeley National Laboratory⁵. El presente informe técnico utiliza los resultados de ese estudio y los análisis allí realizados para proponer un estándar mínimo de eficiencia energética para aplicar en nuestro país. El estudio se encuentra disponible en la Web del Ministerio de Energía.

La experiencia internacional muestra que la introducción de MEPS ha sido efectiva para mejorar los niveles de eficiencia energética, sobre todo en mercados donde la autorregulación, la información al consumidor y la racionalidad de los beneficios económicos esperados, la competencia o el propio avance tecnológico no logran alterar la decisión de compra masiva de productos ineficientes versus productos alternativos con mayores niveles de eficiencia energética, en particular en aquellos productos que representan un importante porcentaje del consumo final

⁴ Datos de la Iniciativa “United for Efficiency”.

⁵ Laboratorio perteneciente a la Red de Laboratorios Nacionales del Departamento de Estado de los Estados Unidos, que es administrado por la Universidad de California.

y donde dicha elección se traduciría durante el ciclo de vida en menores costos de operación que cubren adecuadamente los mayores costos de inversión.

En nuestro país, ya están vigentes tres estándares de eficiencia energética, el primero publicado en diciembre de 2013 para lámparas no direccionales para iluminación general; el segundo estándar definido para refrigeradores de uso doméstico en diciembre de 2014, y un estándar mínimo de eficiencia energética para motores eléctricos de entre 0,75 y 7,5 kW en febrero de 2017.

Gracias a la aplicación de estas medidas, la tecnología ha avanzado más rápido, se cuenta con mejores productos, más eficientes y amigables con el medio ambiente. En Chile, de acuerdo a opinión de expertos del sector energético, la entrada en vigencia de los MEPS para ampollas y otros equipos, en conjunto con el etiquetado de eficiencia energética y otras medidas de buen uso de la energía, ha logrado “aplanar” la demanda eléctrica en los últimos años⁶.

1.2 Tecnología de Aire Acondicionado

Un Aire Acondicionado⁷ es un aparato capaz de refrigerar o de calentar aire, o ambas cosas, en espacios interiores, mejoran el confort térmico y la calidad del aire, por medio de la disminución de la temperatura y la humedad. El proceso de enfriamiento está basado en la aplicación de un ciclo de refrigeración que elimina el calor no deseado de un área y lo transfiere a otra área, por medio del uso de una fuente de energía externa.

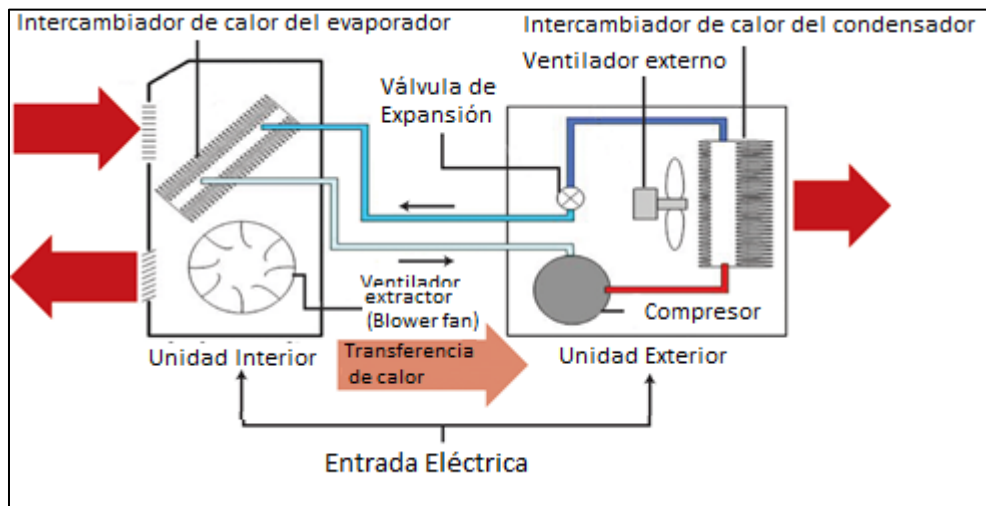
En general, los aires acondicionados usan un ciclo de compresión de vapor accionado por un compresor eléctrico, incluidos los acondicionadores de aire que ejercen además otras funciones, como las de deshumidificación, purificación del aire, ventilación o calentamiento complementario del aire mediante resistencia eléctrica, así como los aparatos que puedan utilizar agua para evaporación en el condensador (ya sea agua condensada formada en el evaporador, o bien agua añadida desde el exterior), siempre que el aparato pueda funcionar también sin utilizar agua adicional, sino tan solo con aire.

El ciclo de compresión de vapor se realiza por refrigerantes, en un proceso de compresión de cuatro pasos secuenciales: 1) compresión, 2) condensación, 3) expansión y 4) evaporación. En los acondicionadores de aire, el efecto de enfriamiento se utiliza para reducir la temperatura del aire interior que pasa a través de la bobina del evaporador, mientras que el calor absorbido es enviado al aire libre por la bobina del condensador (ver figura 1).

⁶ <http://www.revistaiei.cl/2017/03/06/demanda-electrica-residencial-cierra-plana-en-2016-por-recambio-de-ampollas/#> Revisado el 16/03/2017

⁷ Se utilizará indistintamente el concepto de “aire acondicionado” o “acondicionador de aire”.

Figura 1: Ciclo básico de compresión de vapor del aire acondicionado



A continuación se presenta una breve descripción de los componentes de estos equipos.

Unidad externa

La unidad externa contiene algunas partes del aire acondicionado de tipo dividido (split): compresor, condensador (también se hace referencia como intercambiador de calor), ventilador de refrigeración del condensador y válvula de expansión.

- El compresor es utilizado para comprimir el refrigerante e incrementar su presión antes de enviarlo al condensador. Durante este proceso, se genera calor en el compresor, el que es eliminado a través de intercambiadores de calor con el ambiente externo.
- El condensador es usado para remover el calor desde el refrigerante. Este es hecho por tubos de cobre o aluminio en espiral, el cual tiene una alta tasa de conductividad, y es cubierto típicamente con una rejilla de aluminio (aluminium fins) para que el calor del refrigerante pueda ser removido a un ritmo más rápido.
- El ventilador de refrigeración del condensador, localizado frente al compresor y de la bobina del condensador, hace circular el aire cercano que proviene desde el espacio abierto sobre el compresor y el condensador.
- La válvula de expansión es usada para bajar la temperatura y presión del refrigerante.

Unidad interior

La unidad interior produce el efecto de enfriamiento al interior de la habitación, es una carcasa tipo caja en la que algunas partes del acondicionador del aire están encerradas: la bobina del evaporador, el filtro de aire, el ventilador de enfriamiento, tubería de drenaje, y las rejillas o aletas.

- Ventilador (blower) aspira el aire caliente y sucio de la habitación y suministra aire fresco y limpio, pasándolo sobre la bobina de enfriamiento y el filtro de aire.
- El filtro de aire, localizado justo antes del ventilador, remueve las partículas sucias desde el aire de la habitación y ayuda a entregar aire limpio a la habitación.
- El evaporador o serpentín de enfriamiento es usado para ingresar aire frío a la habitación. El ventilador de refrigeración sopla el aire caliente de la habitación sobre la bobina de refrigeración, evaporando el refrigerante y enfriando el aire. Mientras que el refrigerante se evapora, absorbe el calor. El serpentín del evaporador está cubierta con aletas de aluminio para mejorar la transferencia de calor entre la bobina y el aire dentro de la habitación.
- El tubo de drenaje ayuda a eliminar el condensado recogido dentro de la unidad interior.
- Las persianas ayudan a cambiar el ángulo o la dirección en la que el aire necesita ser suministrado en la habitación.
- Finalmente, la tubería de refrigerante, cubierta con aislamiento, conecta las unidades interior y exterior

Los tipos de aires acondicionados más populares en el sector residencial incluye aires acondicionados tipo ventana, aires acondicionados divididos no inverter (non-inverter Split), aires acondicionados divididos inverter (inverter split), aires acondicionados de división múltiple (multi-split) y aires acondicionados portátiles.

Acondicionador de aire de conducto doble: acondicionador de aire en el que, durante la refrigeración o la calefacción, el aire se introduce en el condensador (o el evaporador) desde el exterior a la unidad a través de un conducto y se expulsa al exterior a través de un segundo conducto, y que está colocado íntegramente dentro del espacio que se va a acondicionar, junto a una pared;

Acondicionador de aire de conducto único: acondicionador de aire en el que, durante la refrigeración o la calefacción, el aire se introduce en el condensador (o en el evaporador) desde el espacio que contiene la unidad y se descarga en él.

Por lo general, los equipos de aire acondicionado se clasifican según las siguientes categorías:

Aire Acondicionado tipo Ventana:

En los aires acondicionados tipo ventana o pared (también llamados acondicionadores de aire de un solo paquete o empaquetados) todos los componentes, es decir, el compresor, condensador, válvula de expansión y el ventilador de enfriamiento están contenidos en un solo compartimiento. Estos equipos son fácilmente instalables, algunas veces pueden ser auto-instalados, y pueden ser removidos y guardados cuando termina la temporada. La capacidad de enfriamiento tiende a ser menor y algunas unidades pueden



ser más ruidosas que otros tipos de aires acondicionados cuando están en operación. Ellos son generalmente menos eficientes y debido a las restricciones en el tamaño tienen menos opciones para mejorar su eficiencia.

Ventajas

- Bajo precio de compra
- Fácil de instalar
- Se pueden instalar en ventanas o en orificios de las paredes.

Desventajas

- Baja eficiencia
- Operación ruidosa
- Instalación inadecuada pueden provocar significativas fugas de aire.

Aires acondicionados divididos no-inverter:



Los aires acondicionados divididos tienen una unidad interna y otra externa, conectadas por una tubería que contiene el refrigerante. Este tipo de aire acondicionado domina las ventas y en general tienen una eficiencia 30% superior, con respecto al tipo ventana, dado que el lado caliente está separado del lado frío, sin transmisión de calor entre ellos (a diferencia de los acondicionadores de aire tipo ventana). Estos sistemas suelen tener mayor capacidad de enfriamiento y en general son

instalados por técnicos entrenados. Los acondicionadores de aire divididos “no inverter” se refieren a sistemas con un compresor de velocidad fija donde la unidad se enciende y se apaga para mantener la temperatura ambiente.

Ventajas

- Más eficientes que aires acondicionados tipo ventana
- Funcionamiento más silencioso cuando el compresor se encuentra en la unidad exterior.

Desventajas

- Típicamente tienen un precio superior a los equipos de aire acondicionado de ventana.
- Tiene requisitos de instalación
- Requerimientos de espacio para la unidad exterior.

Aire acondicionado dividido “Inverter”:

Aires acondicionados que utilizan un compresor controlado con un variador de velocidad (VSD) se conocen como unidades “inverter”. La diferencia entre aires acondicionados inverter y los de velocidad fija es que los primeros pueden variar la velocidad del compresor, proporcionando un enfriamiento preciso según sea necesario. Las unidades inverter son más eficientes cuando operan con carga parcial (i.e., no a su máxima capacidad). Dado que la mayoría de los sistemas están diseñados para satisfacer condiciones de enfriamiento que ocurren rara vez, el funcionamiento a

carga parcial es más frecuente, haciendo de esta manera a los aires acondicionados divididos tipos “inverter” más eficientes que las unidades “no inverter”.

Ventajas

- Más eficientes que unidades divididas no inverter.
- Se alcanza la temperatura deseada más rápido y no hay fluctuaciones de temperatura.
- Operación silenciosa cuando el compresor se encuentra en la unidad exterior.

Desventajas

- Típicamente tienen un precio superior comparado con la tecnología no-inverter
- Se requiere instalación
- Requerimiento de espacio para la unidad exterior.

Aire acondicionado con división múltiple (Multi-split air conditioners):

Aires acondicionados con divisiones múltiples tienen numerosas unidades interiores (típicamente sobre 4) conectadas a una sola unidad externa y es usada para enfriar varias habitaciones.



Ventajas

- Varias unidades interiores usando solo una unidad exterior.
- Puede ser instalada en varias zonas/habitaciones.
- Controles separadas para cada zona/habitación diferentes.
- Fácil instalación sin la necesidad de cañerías
- Fácil de personalizar para satisfacer diferentes necesidades

Desventajas

- No hay soporte adicional en caso de fallar la unidad externa (no hay redundancia) ya que todas las unidades interiores dependen de la única unidad exterior.
- Alto precio de compra.

Equipos portátiles:

Un aire acondicionado portátil es una unidad autónoma, similar al aire acondicionado tipo ventana, pero que típicamente está diseñado con ruedas para moverlo fácilmente. El agua que se condensa desde el aire acondicionado portátil se puede recoger en un cubo para la eliminación manual, drenada a través de una manguera por medio de la fuerza de gravedad, o evaporada y eliminada con el proceso de condensando del aire.

Ventajas

- Bajo precio de compra.
- Puede ser trasladado de una habitación a otra.
- Fácil de instalar.

Desventajas

- Típicamente menos eficiente: Menor eficiencia en climas cálidos / Mejor eficiencia si la temperatura del aire exterior es baja.
- Operación ruidosa.
- El agua debe ser removida de manera manual.

1.3 Chile: Consumo de energía en acondicionadores de aire

Los equipos de aire acondicionado han tenido un importante incremento en el mercado nacional durante los últimos años. De acuerdo a estimaciones del estudio “Usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial”, el año 2010 en Chile cerca de 42.000 viviendas contaban con aire acondicionado.

Gracias a información recopilada del etiquetado de eficiencia energética y de importaciones, las ventas en Chile de estos equipos, y que son aquellos certificados, han aumentado sus ventas y se proyecta que las ventas sigan en aumento debido a las temperaturas extremas en verano han ido al alza.

Tabla 1: Venta de equipos de aire acondicionado en Chile 2011 – 2015

Aire Acondicionado	2011	2012	2013	2014	2015
Unidades Vendidas	16.166	32.070	40.808	64.123	54.695

Fuente: elaboración propia en base a información SEC

Los equipos Split, en sus distintas opciones, representan un 76% de las importaciones totales de equipos de aire acondicionado en el año 2014. En la tabla siguiente, se presenta la evolución de las importaciones de estos equipos para el período 2011 al 2014, para facilitar su lectura, las categorías han sido agrupadas en categorías de carácter más general.

Tabla 2: Importaciones de Equipos de Aire Acondicionado en Chile⁸

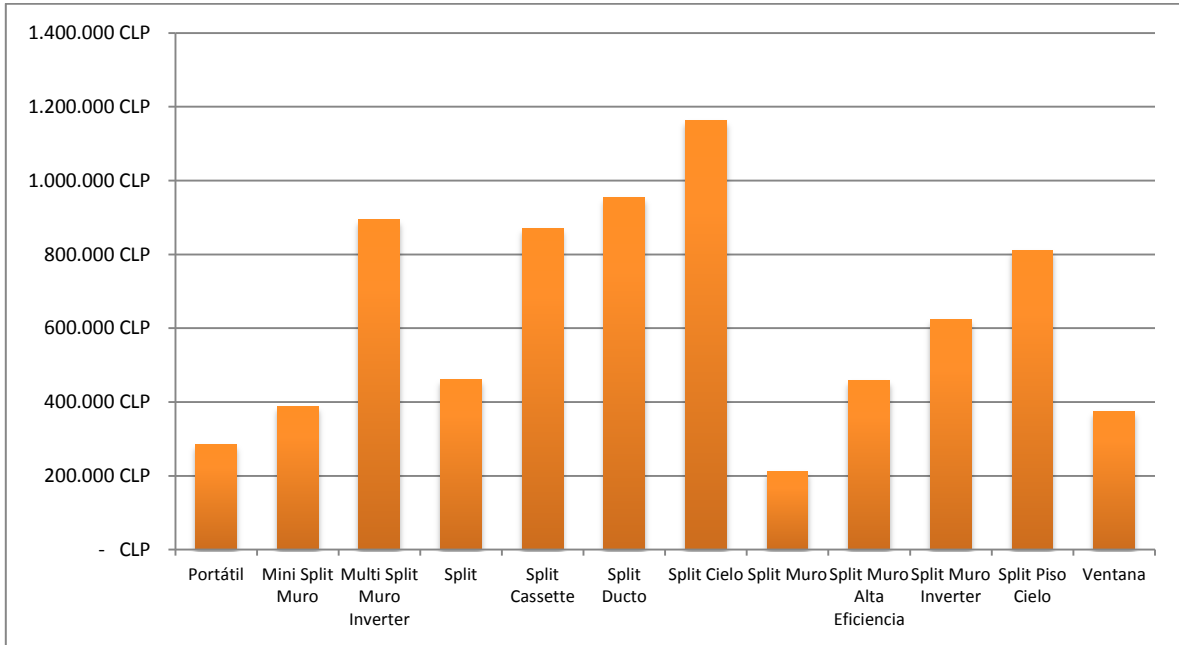
	2011	2012	2013	2014
Split	12.461	22.587	30.406	47.882
Cassette	4	16	16	69
Ventana	2.793	3.602	2.715	5.152
Portátil	908	5.865	7.282	4.291
Ducto	0	0	0	57
Comercial ligera	0	0	389	0
Otros en BD	0	0	0	6.672
Total	16.166	32.070	40.808	64.123

Fuente: elaboración propia en base a información SEC

Con respecto a lo precios, el estudio encontró una diversidad de precios, dependiendo de la tecnología disponible.

⁸ Equipos Sin Información incluidos en la segunda entrega, han sido identificados y catalogados bajo las categorías existentes

Figura 2: Precios promedio en la oferta nacional



Si bien la cantidad de equipos de aire acondicionado es bastante menor en comparación con otros electrodomésticos que prácticamente llegan a una penetración superior al 90% de los hogares, como es el caso de refrigeradores o televisores, las condiciones climáticas y económicas de nuestro país son razones para incluir los aires acondicionados entre los artefactos prioritarios para establecer un estándar mínimo de eficiencia energética, ya que sin duda las altas temperaturas que se han presentado durante los últimos años y la disponibilidad presupuestarias de las familias incidirán en el aumento de las ventas de estos artefactos.

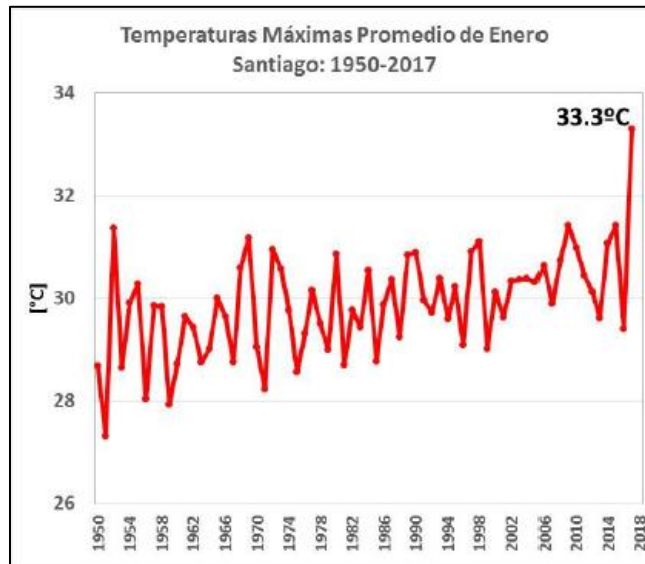
De acuerdo al “Informe Climático Especial. Enero 2017: un mes de records⁹” elaborado por el Subdepartamento de Climatología y Met. Aplicada de la Dirección Meteorológica de Chile, enero de 2017 ha sido el mes más cálido en la historia del país. Durante ese mes se alcanzaron temperaturas máximas históricas en varias ciudades del país, como Santiago, Curicó, Chillán, Los Ángeles y Valdivia, superando récords de 50, 70 o inclusive 100 años al registrarse temperaturas nunca antes vistas.

El gráfico de temperaturas máximas promedio de Santiago entre 1950 y 2017 muestra una tendencia al alza con un peak que se registra precisamente en enero de 2017.

9

<http://archivos.meteochile.gob.cl/portaldmc/meteochile/documentos/InformeClimatologicoEnero2017.pdf>

Figura 3: Registro de temperaturas Enero 1950-2017



Durante el periodo 1950-2010, la temperatura máxima promedio de enero fue de 30,1°C, para enero de 2017 la temperatura máxima promedio alcanzó los 33,3°C, es decir, superior en 3,2°C a lo normal. De acuerdo a la Dirección Meteorológica, las temperaturas mínimas, medias y máximas de todas las estaciones de la región central del país fueron las más altas alguna vez medidas.

Otro ejemplo más de esto se da con las temperaturas máximas registradas durante el mes en las diferentes ciudades del país:

Los Ángeles, Región del Biobío: 42,2°C, temperatura máxima más alta alguna vez en 57 años.

Chillán, Región del Biobío: 41,5°C, temperatura máxima más alta alguna vez medida en 71 años.

Santiago, Región Metropolitana: 37,4°C, temperatura máxima más alta alguna vez medida en 104 años.

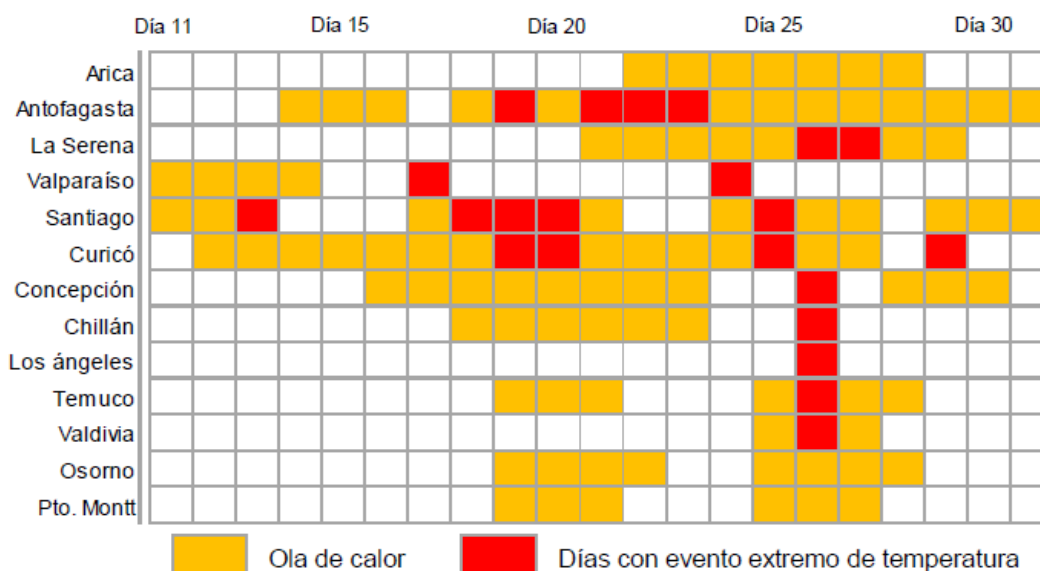
Curicó, Región del Maule: 37,3°C, temperatura máxima más alta para enero y segunda más alta a nivel anual en 91 años.

Valdivia, Región de los Ríos: 35,2°C temperatura máxima más alta para enero en 52 años.

Desde Arica a Puerto Montt se registraron olas de calor y olas extremas de calor¹⁰, en la siguiente figura se muestran los eventos ocurridos entre el 11 y 31 de enero en Chile:

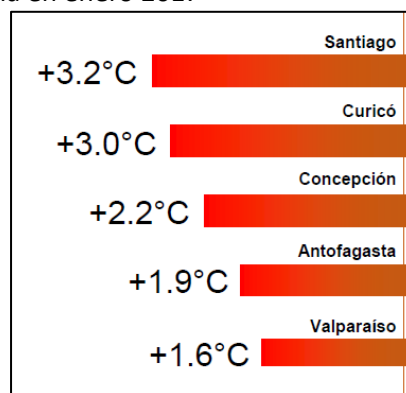
¹⁰ Se define ola de calor cuando la temperatura máxima es igual o mayor al percentil 90 por tres días consecutivos o más, en el período comprendido entre noviembre y marzo del año siguiente. Una ola de calor extrema se produce cuando la temperatura máxima es igual o mayor al percentil 90 durante cinco o más días consecutivos.

Figura 4: Precios promedio en la oferta nacional



Una ola de calor en Antofagasta duró cerca de 14 días, mientras que en Curicó alcanzó a 17 días consecutivos con temperaturas sobre el umbral mensual (Percentil 90). En Santiago hubo 4 olas de calor y en Chillán solo una. El percentil 90 es un umbral de temperatura que varía de ciudad en ciudad y permite identificar los días más cálidos de cada mes.

Figura 5: Anomalias de temperatura máxima media en enero 2017



En prácticamente todo el país se registraron anomalías positivas de temperaturas, las más importantes se registraron en Santiago y Curicó con poco más de 3°C sobre la media normal. En Concepción, Antofagasta y Valparaíso también se presentaron condiciones más cálidas de lo normal.

Tanto lo ocurrido en Chile, como la evidencia internacional, que indica que las temperaturas podrían subir y que los eventos climáticos extremos podrían ser más frecuentes, lo cual incluye olas de calor más extensas, lo cual sin duda son incentivos para la compra de equipos de aire acondicionado.

2. Antecedentes nacionales que facilitan la definición de estándares mínimos de eficiencia energética

2.1 Etiquetado de eficiencia energética

En Chile el etiquetado de eficiencia energética para acondicionadores de aire se oficializa con el Protocolo Análisis y/o Ensayos de Eficiencia Energética de Producto Eléctrico PE N°1/26/2, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, del 1 de diciembre de 2009.

En el Protocolo antes mencionado se establece el procedimiento de certificación y etiquetado de los equipos de aire acondicionado que son parte de su alcance.

A continuación se entrega la caracterización del alcance del etiquetado de eficiencia energética, en términos de alcance y clases de productos.

Campo de aplicación del etiquetado de eficiencia energética

El campo de aplicación definido en el Protocolo PE N° 1/26/2 establece que el procedimiento de certificación y etiquetado de eficiencia energética alcanza a *“Acondicionadores de aire, de acuerdo al alcance y campo de aplicación de la norma ISO 5151:1994, monofásicos, de expansión directa de gas refrigerante, tipo dividido o tipo unidad, sin distribución de aire por ductos, hasta una potencia térmica de 12 kW (42000 Btu/h) y que sean condensados por aire”*.

En dicho protocolo se establece que la clasificación y etiquetado de eficiencia energética en Chile debe ser llevado a cabo de acuerdo a la norma chilena NCh3081:2007 Eficiencia energética - Equipos de aire acondicionado - Clasificación y etiquetado. Además indica que los ensayos de enfriamiento y calefacción deberán ser consistentes con las cláusulas 4 y 5 de la norma ISO 5151:1994¹¹, respectivamente.

La NCh3081:2007 identifica su alcance y campo de aplicación de acuerdo a los siguientes puntos:

- i. La norma “establece las características de la etiqueta de eficiencia energética para los equipos de aire acondicionado de uso doméstico, e indica el método de ensayo de éstos haciendo referencia a las normas que lo establecen”.
- ii. Además, “establece las clases de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado”.
- iii. Finalmente, se estipula que la norma “se aplica a equipos de aire acondicionado refrigerados por aire”.

¹¹ Esta normativa cuenta con una versión actualizada al año 2010, y es conocida como ISO 5151:2010 Non-ducted air conditioners and heat pumps -- Testing and rating for performance

Clases de eficiencia equipos acondicionadores de aire

La norma chilena NCh3081:2007, tomando en consideración a la Directiva 2002/31/CE de la Comisión de la Unión Europea en lo que respecta al etiquetado de eficiencia energética, define, entre otras cosas las siguientes razones:

- i. Coeficiente de rendimiento, COP: razón entre la capacidad de calefacción y la potencia de entrada efectiva en cualquier grupo de condiciones de clasificación dadas (cuando COP aparezca sin indicación de unidades, se debe entender que esto se deriva de unidades watt/watt).
- ii. Índice de eficiencia energética, IEE: razón entre la capacidad de enfriamiento total y la potencia de entrada efectiva en cualquier grupo de condiciones de clasificación dadas (cuando IEE aparezca sin indicación de unidades, se debe entender que esto deriva de unidades watt/watt). El índice de eficiencia energética también es conocido como razón de eficiencia energética (EER, por sus siglas en inglés).

De acuerdo a lo anterior, se establecen las clases de eficiencia energética, indicadas en las tablas siguientes:

Tabla 3. Clases de eficiencia energética para acondicionadores de aire refrigerado por aire en modo enfriamiento

Clase de EE	Divididos con una unidad interior y una unidad exterior	Compactos
A	$3,20 < IEE$	$3,00 < IEE$
B	$3,20 \geq IEE > 3,00$	$3,00 \geq IEE > 2,80$
C	$3,00 \geq IEE > 2,80$	$2,80 \geq IEE > 2,60$
D	$2,80 \geq IEE > 2,60$	$2,60 \geq IEE > 2,40$
E	$2,60 \geq IEE > 2,40$	$2,40 \geq IEE > 2,20$
F	$2,40 \geq IEE > 2,20$	$2,20 \geq IEE > 2,00$
G	$2,20 \geq IEE$	$2,00 \geq IEE$

Fuente: NCh3081.Of2007, Tablas A.1.1 y A.1.2

Tabla 4. Clases de eficiencia energética para acondicionadores de aire refrigerado por aire en modo calefacción

Clase de EE	Divididos con una unidad interior y una unidad exterior	Compactos
A	$3,60 < COP$	$3,40 < COP$
B	$3,60 \geq COP > 3,40$	$3,40 \geq COP > 3,20$
C	$3,40 \geq COP > 3,20$	$3,20 \geq COP > 3,00$
D	$3,20 \geq COP > 2,80$	$3,00 \geq COP > 2,60$
E	$2,80 \geq COP > 2,60$	$2,60 \geq COP > 2,40$
F	$2,60 \geq COP > 2,40$	$2,40 \geq COP > 2,20$
G	$2,40 \geq COP$	$2,20 \geq COP$

Fuente: NCh3081:2007, Tablas A.2.1 y A.2.2

2.2 Categorías de eficiencia energética para aires acondicionados a nivel internacional

El estándar ISO 5151 (de la Organización Internacional de Normalización - ISO), ha sido adoptado por la mayoría de los países como norma de referencia para la medición de la capacidad de enfriamiento y eficiencia de los aires acondicionados. Sin embargo, no todas las economías están alineadas con la ISO 5151 y cuentan con métodos de ensayo con algunas diferencias. Países de América del Norte siguen estándares desarrollados por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), por lo que también otros países del continente siguen esas normas.

El Índice de Eficiencia Energética (también traducido como Razón o Tasa de Eficiencia Energética - Energy Efficiency Ratio (EER)), y la Relación de Eficiencia Energética Estacional (SEER por las siglas de Seasonal Energy Efficiency Ratio) son dos de las principales métricas utilizadas a nivel internacional para medir la eficiencia energética de los aires acondicionados. Tal como se señaló anteriormente, el Índice de Eficiencia Energética es la razón entre la capacidad de refrigeración y la potencia consumida medida a plena carga. El SEER está diseñado para evaluar el rendimiento de carga parcial, es decir, la eficiencia es medida considerando variaciones en la temperatura externa y el efecto de la carga de enfriamiento. Una denominación alternativa a la Relación de Eficiencia Energética Estacional - SEER - es Factor de Rendimiento Estacional de Refrigeración (cooling seasonal performance factor - CSPF).

Tabla 5: Mirada general de estándares y métricas para medir la eficiencia energética de aires acondicionados en el mundo

Economía	Estándar Nacional para Ensayo	Estándar Internacional de Referencia	Métrica utilizada
Australia	AS/NZS: 3823-2013	ISO 5151	AEER*
China	Velocidad fija : GB/T 7725-2004 Velocidad variable: GB/T 7725-2004, GBT 17758-2010	ISO 5151	EER para velocidad fija SEER** para velocidad variable
EU	EN 14825	ISO 5151	EU SEER
India	Velocidad fija: IS 1391-1992 con todas sus adendas Velocidad variable: 16358-1:2013	ISO 5151	EER*** para velocidad fija Indian SEER para velocidad variable

Economía	Estándar Nacional para Ensayo	Estándar Internacional de Referencia	Métrica utilizada
Japan	JIS B 8616:2015 para aires acondicionados comerciales JIS C 9612: 2013 para equipos en viviendas	ISO 5151, ISO 16358*****	APF****
Korea	KS C 9306:2011	ISO 5151, ISO 16358*****	CSPF
US	10 CFR 430, Subpart B, Appendix F	Consistente con Estándar ASHRAE 16/69	US SEER
Viet Nam	TCVN 7830:2015	ISO 5151, ISO 16358*****	CSPF

* Versión anualizada de EER que descuenta el consumo en espera

**SEER es usado para aires acondicionados que solo tienen la función de enfriamiento; El Factor Anual de Desempeño (Annual performance factor - APF) es usado para aires acondicionados con las funciones de enfriamiento y calefacción.

***El estándar para aires acondicionados de velocidad fija y variable será fusionado en 2018, y el ISEER será usado para ambas categorías.

**** Factor Anual de Desempeño (APF) es similar al SEER

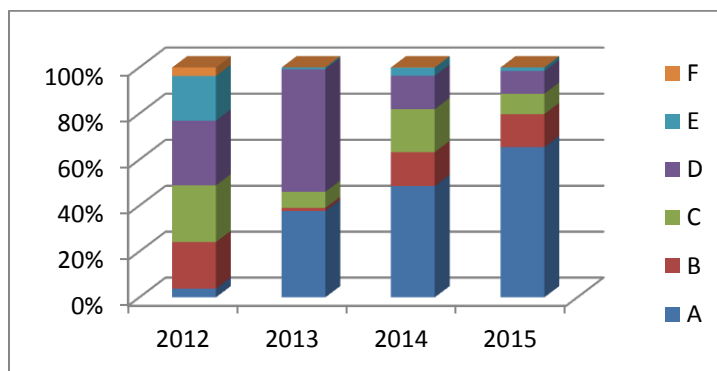
***** ISO 16358 entrega un método de cálculo para el factor de desempeño estacional y refiere a la ISO 5151 como método de ensayo.

2.3 Contexto nacional del mercado de aire acondicionado en Chile y de la eficiencia energética en estos productos

Evolución en base a los resultados de la etiqueta de EE

Utilizando la información disponible de las ventas de equipos de aire acondicionado que cuentan con etiqueta de eficiencia energética, entre los años 2012 y 2015 se puede apreciar como el mercado ha evolucionado en eficiencia energética, con una mayor proporción de equipos eficientes en los últimos años.

Figura 6: Evolución de las ventas de aires acondicionados por clase de eficiencia energética



De acuerdo a lo que se aprecia en el gráfico, en 2012 tan sólo el 24% de los aires acondicionados comercializados eran de clase A o B, en 2013 aumentaron su participación al 38%, en 2014 ya superan el 60% y en 2015 llegan al 79% de la participación del mercado.

3. Antecedentes internacionales de MEPS

El acrónimo de “MEPS” ha sido utilizado por décadas para hacer referencia a los requisitos obligatorios de desempeño que deben cumplir los productos regulados. MEPS deriva de la frase en inglés “minimum energy performance standards”, que puede ser traducida como “estándar mínimo de rendimiento energético”, o “estándar mínimo de eficiencia energética”. Originalmente los MEPS estuvieron focalizados casi exclusivamente en la reducción del consumo energético, sin embargo, con el paso del tiempo y la expansión de los programas regulatorios tendientes a la mejora de la calidad y rendimiento, los MEPS se han asociado a algo más que el simple consumo energético.

A continuación se presentará una revisión internacional con países que ya han implementado un estándar de eficiencia energética para aire acondicionado, que entregan antecedentes para el proceso a implementar en el país.

3.1 Argentina

En el marco del Programa de Calidad de Artefactos Energéticos (PROCAE), que impulsa la Secretaría de Energía, dependiente del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios se definen los estándares que deben cumplir de consumo máximo o eficiencia mínima para artefactos. Mediante el Decreto N° 140 de fecha 21 de diciembre de 2007¹², se aprobaron los lineamientos del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE). El Artículo 1° bis de la Ley N° 22.802, establece que la Secretaría de Energía ha de definir para cada tipo de producto estándares de eficiencia energética.

¹² Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/220000-224999/221800/texact.htm>

Originalmente, la norma IRAM 62406:2007¹³ fue utilizada para regular el etiquetado y las condiciones mínimas de eficiencia energética, a través de 7 clases de eficiencia identificadas por las letras A a G, donde la letra A se le adjudica a los más eficientes y la G a los menos eficientes.

La Disposición Nº 859 de fecha 11 de noviembre de 2008¹⁴, de la Dirección Nacional de Comercio Interior de la Secretaría de Comercio Interior, establece la obligatoriedad de la certificación relativas al rendimiento o eficiencia energética para los sistemas de aire acondicionado de capacidad de refrigeración menor o igual a 10,5 kW, a partir del 18 de octubre de 2009 para equipos divididos (Split) y a partir del 17 de diciembre de 2009 para equipos Compactos.

La aplicación de los estándares de mínima eficiencia fue gradual y fijada por la Resolución Nº1542 de 2010, de la Secretaría de Energía, pero modificada por la Resolución 1407 de 2011 de la Secretaría de Energía, suspendiendo la implementación de MEPS para equipos de capacidad de refrigeración superior a 7 kW, debido a su baja participación en el mercado, aproximadamente 1% y el comunicado emitido por la ASOCIACIÓN DE FÁBRICAS ARGENTINAS TERMINALES DE ELECTRÓNICA(AFARTE), en el cual manifiestan que dichos dispositivos poseen características técnicas y constructivas que no permitirían a los fabricantes nacionales alcanzar los niveles máximos de consumo de energía y/o niveles mínimos de eficiencia energética en los plazos establecidos en el cronograma.

Tabla 6. Clasificación de eficiencia energética para tipo Split y Compacto.

Clase	EER	
	Split	Compacto
A	3,20 < EER	3,00 < EER
B	3,00 < EER ≤ 3,20	2,80 < EER ≤ 3,00
C	2,80 < EER ≤ 3,00	2,60 < EER ≤ 2,80
D	2,60 < EER ≤ 2,80	2,40 < EER ≤ 2,60
E	2,40 < EER ≤ 2,60	2,20 < EER ≤ 2,40
F	2,20 < EER ≤ 2,40	2,00 < EER ≤ 2,20
G	2,20 < EER	2,00 < EER

Fuente: Fundación Vida Silvestre Argentina¹⁵

¹³ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/Busqueda?readForm&Norma%20IRAM%2062406:2007Start=1Tot=0>

¹⁴ Revisado online el 03 de mayo de 2016 en <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3446>

¹⁵ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en http://www.fvsa.org.ar/ecoeficiencia/ayuda_aires.php

El 20 de noviembre de 2013 la Asociación de Fábricas Argentinas Terminales de Electrónica (AFARTE) manifestó que los equipos de aire acondicionado de capacidad inferior a 7kW no podrían alcanzar los niveles exigidos en los plazos establecidos. Esto tuvo como respuesta la modificación de la Resolución SE 0814/2013, la cual establecía el cronograma de implementación de los MEPS, mediante la Resolución SE 0228/2014¹⁶. A continuación se cita el texto de esta última y la Tabla 7, a continuación, presenta las fechas de implementación a modo de resumen.

ARTICULO 1°.- Apruébase como nivel máximo de consumo específico de energía, o mínimo de eficiencia energética, el correspondiente a la clase B de eficiencia energética en modo refrigeración establecido en la Norma IRAM 62406:2007, para los acondicionadores de aire alcanzados por la Disposición N° 859 de fecha 11 de noviembre del año 2008 de la DIRECCION NACIONAL DE COMERCIO INTERIOR de la SECRETARIA DE COMERCIO INTERIOR dependiente del MINISTERIO DE ECONOMIA Y FINANZAS PUBLICAS, cuya capacidad de refrigeración sea menor o igual a SIETE KILOVATIOS (7 kW), a partir del 1° de agosto de 2014”.

ARTICULO 2°.- Apruébase como nivel máximo de consumo específico de energía, o mínimo de eficiencia energética, el correspondiente a la clase C de eficiencia energética en modo calefacción establecido en la Norma IRAM 62406:2007, para los acondicionadores de aire alcanzados por la Disposición N° 859 de fecha 11 de noviembre del año 2008 de la DIRECCION NACIONAL DE COMERCIO INTERIOR de la SECRETARIA DE COMERCIO INTERIOR dependiente del MINISTERIO DE ECONOMIA, Y FINANZAS PUBLICAS, cuya capacidad de refrigeración sea menor o igual a SIETE KILOVATIOS (7 kW), a partir del 1° de agosto de 2014”.

Art. 3° — Apruébase como nivel máximo de consumo específico de energía, o mínimo de eficiencia energética, el correspondiente a la clase A de eficiencia energética en modo refrigeración establecido en la Norma IRAM 62406:2007, para los acondicionadores de aire alcanzados por la Disposición N° 859 de fecha 11 de noviembre del año 2008 de la DIRECCION NACIONAL DE COMERCIO INTERIOR, cuya capacidad de refrigeración sea menor o igual a SIETE KILOVATIOS (7 kW), a partir del 1° de abril de 2015.

Tabla 7. Cronograma de implementación MEPS Argentina

Clase de Eficiencia Energética Mínima	Fecha de Implementación
B - Modo Refrigeración	01-08-2014
C - Modo Calefacción	01-08-2014
A - Modo Refrigeración	01-04-2015

Fuente: Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina¹⁷

¹⁶ [http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/\(\\$IDWeb\)/AA9A5969B6BED1FA03257CFA00400A97](http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/($IDWeb)/AA9A5969B6BED1FA03257CFA00400A97)

¹⁷ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en

<http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3446>

3.2 Brasil

El Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología (INMETRO) es el coordinador del Programa Brasileño de Etiquetado, el que se complementa con el Sello PROCEL¹⁸, que se concede a los equipos más eficientes dentro de una categoría de productos.

La etiqueta de PROCEL comenzó a ser aplicada a acondicionadores tipo Ventana con capacidad de enfriamiento menor a 6 KW a partir de 1999 y a acondicionadores de aire tipo Split con capacidad de enfriamiento menor a 11 KW a partir de 2004. En 2007 fueron establecidos los MEPS (EER) bajo la ley 10.295/2001¹⁹, para aires acondicionados de tipo Split, hasta 11 KW.

En lo que respecta al mercado de aire acondicionado en Brasil, éste es dominado por dos tipos de equipos: de Ventana, con un promedio de participación de 58% y Split con una participación de 42%. La siguiente tabla presenta la cantidad de equipos vendidos entre 2000 y 2010²⁰.

Tabla 8. Ventas de aire acondicionado en Brasil, millones de unidades

Ventas de acondicionadores de aire [MM]			
Año	Tipo		Total
	Split	Ventana	
2000	0,44	0,67	1,11
2001	0,44	0,67	1,11
2002	0,46	0,69	1,15
2003	0,51	0,76	1,27
2004	0,48	0,71	1,19
2005	0,51	0,76	1,27
2006	0,62	0,94	1,56
2007	0,57	0,85	1,42
2008	0,56	0,85	1,41
2009	0,77	0,77	1,54
2010	0,81	0,81	1,62

Fuente: World Energy Council

El 4 de enero de 2011, se realizó una modificación a los parámetros definidos bajo PROCEL a través de la Portaria N° 007, la cual incluye la categorización de los acondicionadores de aire tipo Ventana según su capacidad de refrigeración y la clasificación de los mismos en base al coeficiente de Eficiencia Energética (CEE). Estos requerimientos mínimos de desempeño para equipos de aire acondicionado fueron actualizados por última vez bajo Portaria Interministerial N° 410/2013,

¹⁸ El PROCEL es un programa vinculado al Ministerio de Minería y Energía, creado en 1985 y ejecutado por Electrobrás, que tiene el objetivo de fomentar el uso eficiente de la energía y reducir los impactos ambientales de este consumo.

¹⁹ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm

²⁰ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en https://www.wec-policies.enerdata.eu/Documents/casesstudies/Measures_to_promote_efficient_air_conditioning.pdf

llevando a la eliminación de la clase definida como E bajo la reglamentación anterior (Portaria N° 323/2011). Bajo esta última actualización, válida a partir de un año de la promulgación de la normativa, la definición de clases de eficiencia energética y sus requisitos mínimos de eficiencia fueron definidos y se presentan en las tablas a continuación.

Tabla 9. Clases de Eficiencia Energética para aire acondicionado tipo Ventana

Clases	Coeficiente de Eficiencia Energética (W/W)				
	Btu/h	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
		≤ 9.000	9.001 a 13.999	14.000 a 19.999	≥ 20.000
W	≤ 2.637	2.637 a 4.102	4.102 a 5.860	≥ 5.860	
A	≥ 2,93	≥ 3,03	≥ 2,88	≥ 2,82	
B	≥ 2,84	≥ 2,94	≥ 2,71	≥ 2,65	
C	≥ 2,76	≥ 2,86	≥ 2,59	≥ 2,48	
D	≥ 2,68	≥ 2,78	≥ 2,45	≥ 2,30	

Fuente: Portaria 410/2013 - INMETRO

Tabla 10. Clases para acondicionador tipo Split

Clases	Coeficiente de Eficiencia Energética (W/W)
A	3,23 < CEE
B	3,02 < CEE ≤ 3,23
C	2,81 < CEE ≤ 3,02
D	2,60 < CEE ≤ 2,81

Fuente: Portaria 410/2013 - INMETRO

La normativa de ensayo utilizada corresponde a la definida en la Portaria N° 007/2011, la cual hace referencia a los procedimientos NBR 05858, NBR 05882 y NBR 12010, los que establecen especificaciones técnicas, determinación de características y determinación de coeficientes de eficiencia energética respectivamente de los equipos de aire acondicionado²¹.

De acuerdo con el reporte del Excellence Center in Energy Efficiency (EXCEN), "Energy Efficiency and Smart Grids for Low Carbón and Green Growth", 2015, tomando en cuenta el efecto combinado del etiquetado de conservación energética ENCE (INMETRO/PROCEL) y la etiqueta patrocinadora PROCEL, en 2013 se registró una reducción de 1.123 GWh considerando equipos de aire acondicionado y de 9.578 GWh tomando en cuenta los equipos más importantes respecto al consumo energético esperado.

²¹ Revisado online el 11 de febrero en 2016 en <http://inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001655.pdf>

Tabla 11. Resultados del programa de etiquetado PROCEL en 2013

Equipo	Ventas totales [miles]	Ahorro Energético [GWh]
Refrigeradores y Freezers	8.111	2.911
Acondicionadores de aire	3.285	1.123
Motores eléctricos	1.724	1.304
Lámparas fluorescentes compactas	269.427	3.697
Balastos para lámpara de sodio	62	5
Sistema de calentamiento de agua solar	394	86
Ventiladores de techo	2636	452
Total	285.639	9.578

Fuente: EXCEN

La implementación de la Ley de eficiencia energética en Brasil, entre los años 2007 y 2010 se logró ahorros en energía equivalentes a 78 GWh y se estima que para el año 2030, este valor aumentaría a cifras cercanas a 14.325 GWh considerando todos los equipos estudiados por el EXCEN²². De la información presentada anteriormente, es posible estimar que el aporte de los acondicionadores de aire sería de 1.679,6 GWh.

3.3 China

China es el país manufacturero de sistemas de aire acondicionado más grande del mundo. 81 millones de dispositivos fueron producidos en 2009, mientras que las ventas internas alcanzaron 35 millones de unidades. El mercado chino está dominado por equipos de tipo Split, los que representan un 85% al año 2010. Cabe destacar que el 87% de los modelos presentes en el mercado incluyen función de calefacción (más del 62% con bomba de calor y 25% con resistencia eléctrica)²³.

La National Development and Reform Commission (NDRC) y la General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China (AQSIQ) son responsables de la definición e implementación de los estándares de mínima eficiencia en China.

Los primeros MEPS para equipos de aire acondicionado de velocidad constante fueron implementados el año 1989 bajo la normativa GB12021.3, la cual ha sido revisada y actualizada los años 2000, 2004 y 2010. A veinte años de la implementación de los MEPS originales, en el año 2008, se introdujeron estándares mínimos para equipos de aire acondicionado de velocidad variable (GB21455²⁴).

²² Revisado online el 11 de febrero en 2016 en <http://www.iadb.org/document.cfm?id=39500203>

²³ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en

http://www.topten.eu/uploads/File/023_Anette_Michel_final_paper_S.pdf

²⁴ GB21455, Minimum Allowable Values of Energy Efficiency and Energy Efficiency Grades for Variable Speed Room Air Conditioners.

Los requerimientos de eficiencia para aire acondicionado de tipo unitario fueron establecidos en la norma GB 19576-2004²⁵, donde se indican los valores mínimos para el parámetro Relación de Eficiencia Energética (EER por las siglas de Energy Efficiency Ratio), además de establecer los límites para la calificación de eficiencia energética²⁶. Esta normativa es aplicable para equipos con capacidad de refrigeración nominal superior a 7 kW, incluyendo bombas de calor. Esta reglamentación fue desarrollada utilizando como base a las normativas europea (Directiva 92/785/CE) y estadounidense (CFR 430), aunque no es equivalente a ninguna de ellas en su totalidad.

En el año 2005, se propuso como meta reducir el consumo de energía per cápita en 20% para el año 2010 tomando como base el 2005, o un promedio de 4% anual. Esta meta fue parte de un plan mayor, la cual consistía en cuadruplicar el crecimiento económico bajo una duplicación del consumo energético entre los años 2000 y 2020. De acuerdo a la International Energy Agency (IEA), en los primeros años no se cumplió el 4% anual. En 2006 el consumo de energía disminuyó en 1,79% y 3,66% en el año 2007, sólo alcanzando la meta el año 2008, logrando un 4,2%²⁷.

China ha desarrollado dos estándares de medición de forma paralela, utilizando diferentes indicadores de eficiencia: para aire acondicionado de velocidad constante, se aplica el EER; mientras que para aquellos de velocidad variable, se aplica el parámetro Relación de Eficiencia Energética Estacional (SEER por las siglas de Seasonal Energy Efficiency Ratio). Lo que queda establecido en las normativas actuales GB 12021.3 - 2010²⁸ para equipos domésticos y GB 21455 - 2013²⁹ para equipos de velocidad variable, adicionales a la aún vigente, GB 19574-2004.

El SEER de aire acondicionado de velocidad variable es calculado en base a pruebas con 100% y 50% de capacidad de enfriamiento. El estándar de prueba (GB/T 7725-2004) define la estación de refrigeración a partir de un uso de 2.399 horas, mientras que el estándar de eficiencia energética (GB 21455 – 2013) la define a partir de 1.136 horas.

Dado que las clasificaciones tanto para equipos domésticos (room air conditioners) como para aquellos de velocidad variable han sido modificadas a través de los años de acuerdo a la

²⁵ GB 19576-2004, Minimum allowable values of the energy efficiency and energy efficiency grades for unitary air conditioners.

²⁶ Revisado online el 9 de noviembre de 2015 en <http://www.energylabel.gov.cn/en/EnergyEfficiencyStandards/FormulationandRevisionofStandards/detail/722.html>.

²⁷ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <https://www.wec-policies.enerdata.eu/Documents/cases-studies/Regulation-and-compliance.pdf>

²⁸ GB 12021.3-2010, The minimum allowable value of the energy efficiency and energy efficiency grades for room air conditioners

²⁹ GB 21455-2013, Minimum allowable values of the energy efficiency and energy efficiency grades for variable speed room air conditioners

introducción de MEPS eliminando las últimas dos categorías de eficiencia (clases 4 y 5), los requerimientos actuales para cada clase se presentan en las tablas a continuación.³⁰

Tabla 12. Requisitos mínimos de eficiencia energética para acondicionadores de aire unitarios – GB 19576-2004

Tipo		EER				
		W/W				
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Enfriado por aire	Sin ductos	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4
	Con ductos	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
Enfriado por agua	Sin ductos	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8
	Con ductos	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5

Fuente: China Energy Label

Tabla 13. Clases de eficiencia energética para acondicionadores de aire, de velocidad constante - GB 12021.3 - 2010

Capacidad de Refrigeración [W]		EER							
		W/W							
		Clase 1		Clase 2		Clase 3		Clase 4	Clase 5
		GB 12021.3 - 2004	GB 12021.3 - 2010	GB 12021.3 - 2004	GB 12021.3 - 2010	GB 12021.3 - 2004	GB 12021.3 - 2010	GB 12021.3 - 2004	GB 12021.3 - 2004
Compacto		3,1	3,3	2,9	3,1	2,7	2,9	2,5	2,3
Split	CC ≤ 4500	3,4	3,6	3,2	3,5	3,0	3,2	2,8	2,6

³⁰ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en http://clasp.ngo/~media/Files/SLDocuments/2012/CoolingBenchmarkingStudy/RAC%20benchmarking_1%20-%20Mapping%20component.pdf

4500 ≤ CC ≤ 7100	3,3	3,5	3,1	3,3	2,9	3,1	2,7	2,5
7100 ≤ CC ≤ 14000	3,2	3,4	3,0	3,2	2,8	3,0	2,6	2,4

Fuente: Elaboración propia en base a información de China Energy Label

Tabla 14. Comparación requisitos mínimos de eficiencia energética para acondicionadores de aire de velocidad variable – GB 21455 - 2013

Capacidad de refrigeración [W]	SEER Wh/Wh							
	Clase 1		Clase 2		Clase 3		Clase 4	Clase 5
	GB 21455-2008	GB 21455-2013	GB 21455-2008	GB 21455-2013	GB 21455-2008	GB 21455-2013	GB 21455-2008	GB 21455-2008
CC ≤ 4500	5,2	5,4	4,5	5,0	3,9	4,3	3,4	3,0
4500 ≤ CC ≤ 7100	4,7	5,1	4,1	4,4	3,6	3,9	3,2	2,9
7100 ≤ CC ≤ 14000	4,2	4,7	3,7	4,0	3,3	3,5	3,0	2,8

Fuente: Top Ten³¹

3.4 Colombia

El 18 de septiembre de 2015 se aprobó en Colombia el Reglamento Técnico de Etiquetado Energético (RETIQ), que fue preparado por el Ministerio de Minas y Energía, con el apoyo de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Esta normativa hace obligatorio el etiquetado para refrigeradores, lavadoras, estufas, aires acondicionados, calentadores, balastos y motores industriales y define los estándares mínimos de eficiencia para dichos artefactos a partir del 31 de agosto de 2016.

El RETIQ define en su capítulo III los requisitos específicos de etiquetado para productos, para el caso particular de los equipos de aire acondicionado, éste cuenta con los artículos a continuación:

Tabla 15. Características de equipos de Aire Acondicionado considerados en RETIQ

	Artículo 7	Artículo 8
Tipos de equipo	Acondicionadores de aire para recintos y unidades terminales compactas	Acondicionadores de aire unitarios

³¹ Revisado en online el 05 de mayo de 2016 <http://www.top10.cn/news/177/16/Study-of-Chinese-New-EES-for-Variable-Speed-Air-conditioners-Washing-Machines-and-Panel-TVs.html>

	Artículo 7	Artículo 8
Indicador	Razón de Eficiencia Energética (E.E.R)	Razón de Eficiencia Energética (E.E.R)
Descripción	Acondicionadores de aire para recintos con condensador enfriado por aire, y capacidades de enfriamiento hasta 10.548 W (36.000 Btu/h), incluyendo los equipos portátiles con capacidad superior a 1.000 W	Acondicionadores de aire de tipo unitario con capacidades de enfriamiento de 10.540 W hasta 17.580 W, con serpentín “enfriado por aire” o “enfriado por agua”
Normativa de ensayo y horas de ensayo equivalentes	ISO 5151:2010 Non-ducted Air Conditioners and Heat Pumps - Testing and Rating for Performance 132 horas mes de ensayo equivalente	

Fuente: RETIQ

El etiquetado establecido en el RETIQ considera la clasificación de los equipos de acondicionamiento de aire según lo presentado en la tabla siguiente:

Tabla 16: Clasificación de equipos de acuerdo a RETIQ

RAC – Equipos de AC domésticos	CAC - Equipos de AC en Sistema Central
Ventana	Cassette
Minisplit	Multisplit
Portátil	Paquete
	Piso-Techo.

Fuente: RETIQ

En el Anexo General del Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ, se indican los mínimos establecidos en cada categoría, generando una clasificación en base a letras, siendo la A la más eficiente y la E, la menos eficiente³².

Tabla 17. Rangos de eficiencia energética para acondicionadores de aire para recintos y unidades terminales compactas

Clases	EER
A	$3,75 \leq EER$

³² Revisado online el 11 de febrero de 2016 en http://www.etiquetaenergetica.gov.co/wp-content/uploads/2015/09/ANEXO-RETIQ_Septiembre2015-pdf.pdf

Clases	EER
B	$3,50 \leq \text{EER} < 3,75$
C	$3,25 \leq \text{EER} < 3,50$
D	$3,00 \leq \text{EER} < 3,25$
E	$2,75 \leq \text{EER} < 3,00$

Fuente: RETIQ

Tabla 18. Rangos de eficiencia energética para acondicionadores de aire tipo unitario

Clases	EER
A	$4,75 \leq \text{EER}$
B	$4,40 \leq \text{EER} < 4,75$
C	$4,05 \leq \text{EER} < 4,40$
D	$3,70 \leq \text{EER} < 4,05$
E	$3,35 \leq \text{EER} < 3,70$

Fuente: RETIQ

3.5 Estados Unidos

En este país existen 2 programas de etiquetas de aprobación voluntarias. El primero orientado a artefactos de uso en oficinas corresponde al Energy Star que es un esfuerzo coordinado entre la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Departamento de Energía (DOE). Entre los equipos incorporados están los acondicionadores de aire. Adicionalmente, la organización sin fines de lucro Green Seal implementó, desde 1992, un etiquetado para diversos artefactos, entre los cuales se encuentran los equipos de aire acondicionado.³³

³³ Revisado online el 19 de abril de 2016, "North American Energy Efficiency Standards and Labeling", Grupo de Trabajo sobre Energía de América del Norte (NAEWG), http://energy.gov/sites/prod/files/2013/12/f5/naewg_report.pdf

Actualmente, en el Título 10, capítulo II, subcapítulo D, parte 431, subparte F del Electronic Code of Federal Regulations³⁴ se establece que todos los artefactos de aire acondicionado empaquetados, además de los equipos de calentamiento, deben ser ensayados según los procedimientos indicados en parte 431.96 del mencionado código. Posteriormente, en la sección 431.97, se establecen requerimientos de cumplimiento de nivel de eficiencia³⁵ diferenciados según el tipo de artefacto y su capacidad de enfriamiento.³⁶

Dado que Estados Unidos es un referente a nivel mundial en lo que a normativa respecta, y es un mercado de gran tamaño, resulta relevante conocer el alcance de su marco normativo en lo relacionado a MEPS de equipos de aire acondicionado.

El Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) comenzó el primer ciclo de regulaciones en septiembre de 1997, acorde al Registro Federal 62 FR 50122³⁷. Para lograr mantener actualizada la normativa, la Ley de Política y Conservación Energética (Energy Policy and Conservation Act - EPCA) requiere que en un plazo de no más de 6 años el DOE realice una notificación de propuesta regulativa, (NOPR, Notice of Proposed Rulemaking), determinando si es necesario modificar los estándares vigentes³⁸.

El programa de MEPS para acondicionamiento de aire incluye equipos de aire acondicionado doméstico (room air conditioner), aire acondicionado central (central air conditioner) y bombas de calor (heat pumps), y aire acondicionado comercial (commercial air conditioner).

Los resultados esperados a partir de los nuevos límites propuestos en la regulación Federal Register, 76 FR 52852, (Aug. 24, 2011) corresponden a 0,31 Quads o 90,9 TWh. Además la autoridad de energía estadounidense espera que los estándares actuales para secadores de ropa y equipos de aire acondicionado permitan una reducción de 0,98 GW en los requerimientos de capacidad de generación y de 36.100 kT CO₂-eq en emisiones, para el año 2043³⁹. La aplicación de MEPS representaría un ahorro económico para el consumidor en conceptos de inversión y



Figura 7: Etiqueta Energy Star



Figura 8: Etiqueta Green Seal

³⁴ Revisado el 19 de abril de 2016 <http://goo.gl/6GBCFS>

³⁵ El indicador de eficiencia energética utilizado es la relación de eficiencia energética estacional (SEER, de las siglas de seasonal energy efficiency ratio).

³⁶ Revisado online el 19 de abril de 2016, en <http://goo.gl/atyfnL>

³⁷ 62 FR 50122, Energy Conservation Program for Consumer Products: Final Rule Regarding Energy Conservation Standards for Room Air Conditioners

³⁸ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en

https://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/product.aspx/productid/41

³⁹ Estimaciones de reducción de capacidad y emisiones se presentan agrupadas en la publicación, aunque de acuerdo a la misma, los equipos de Aire Acondicionado representan un 44% del consumo de energía evitado

operación, el cual calculado bajo el Valor Actual Neto y base USD de 2009, fluctuaría entre 0,57 y 1,47 mil millones de USD⁴⁰ (tasa de descuento de 7% y de 3% respectivamente).

Los procedimientos, condiciones de prueba y metodología utilizada para cada uno de los equipos establecidos bajo los MEPS se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19. Procedimientos, condiciones de prueba y metodología utilizada para los equipos establecidos bajo los MEPS

Clasificación	Procedimiento de prueba	Condiciones de prueba	Metodología
Aire acondicionado doméstico	CFR 430 Sub parte B, Apéndice F	ANSI/AHAM RAC-1-1982	ASHRAE-16-69
Aire acondicionado central doméstico	CFR 430 Apéndice M	ARI 210/240-89	ASHRAE-37
Aire acondicionado empaquetados	ASHRAE 90-1	ARI-310/380	ASHRAE-16-69, ASHRAE-37
Aires acondicionados comerciales pequeños	ASHRAE 90-1	ARI 210/240-89	ASHRAE-37
Aires acondicionados comerciales grandes	ASHRAE 90-1	ARI 360, ARI 340	ASHRAE-37

Fuente: Electronic Code of Federal Regulations

Actualmente, en el Título 10, capítulo II, subcapítulo D, parte 430, subparte B del Electronic Code of Federal Regulations se establece que todos los artefactos de aire acondicionado empaquetados, además de los equipos de calentamiento, deben ser ensayados según los procedimiento indicados en parte 430.23 del mencionado código. Luego, se establecen requerimientos de cumplimiento de nivel de eficiencia⁴¹ diferenciados según el tipo de artefacto y su capacidad de enfriamiento.⁴²

Los límites establecidos para cada una de las categorías se muestran a continuación.

⁴⁰ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EERE-2007-BT-STD-0010-0050>

⁴¹ El indicador de eficiencia energética utilizado es la relación de eficiencia energética estacional (SEER, de las siglas de seasonal energy efficiency ratio).

⁴² Revisado online el 5 de febrero de 2016, en <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=22c23a628d1b4cf27ea94d6491478e26&mc=true&node=sp10.3.430.b&rgn=div6>

Tabla 20. Requisitos mínimos de eficiencia energética para aire acondicionado doméstico

Equipo	Capacidad de refrigeración [W]	EER 10/2000 - 05/2014	SEER 06/2014 en adelante ⁴³
Sin ciclo reverso, con lados acanalado	CC < 1758	9,70	11,00
	1758 ≤ CC ≤ 2345	9,70	11,00
	2345 ≤ CC ≤ 4103	9,80	10,90
	4103 ≤ CC ≤ 5861	9,70	10,70
	5861 ≤ CC ≤ 7367	8,50	9,40
	7367 ≤ CC	-	9,00
Sin ciclo reverso, sin lados acanalado	CC < 1758	9,00	10,00
	1758 ≤ CC ≤ 2345	9,00	10,00
	2345 ≤ CC ≤ 3224	8,50	9,60
	3224 ≤ CC ≤ 4103	-	9,50
	4103 ≤ CC ≤ 5861	8,50	9,30
	5861 ≤ CC	8,50	9,40
Con ciclo reverso, con lados acanalados	CC < 5861	9,00	0,80
	5861 ≤ CC	8,50	9,30
Con ciclo reverso, sin lados acanalados	CC < 4103	8,50	9,30
	4103 ≤ CC	8,00	8,70

Fuente: Electronic Code of Federal Regulations

⁴³ La unidad utilizada en las tablas correspondientes a EE.UU es Btu/Wh.

Tabla 21. Requisitos mínimos de eficiencia energética para aire acondicionado central a partir de 2015

Equipo	SEER	HSPF
Split, modo refrigeración	13,00	-
Split, modo calefacción	14,00	8,20
Single-package, modo refrigeración	14,00	-
Single-package, modo calefacción	14,00	8,00
Small duct	13,00	7,70
Space-constrained, modo refrigeración	12,00	-
Space-constrained, modo calefacción	13,00	7,40

Fuente: Electronic Code of Federal Regulations

3.6 México

Se estima que en el mercado mexicano el número de viviendas con aire acondicionado es de aproximadamente 5,5 millones, sobre un total de 27,3 millones de viviendas en el 2012, es decir, existe una presencia de 20,1% de equipos de acondicionamiento de aire. La mayoría son equipos para enfriamiento y, por consiguiente, aquellos de ciclo reversible conocidos como bombas de calor, se observan en menor medida.

Existen principalmente tres tipos de acondicionadores de aire para uso residencial en México: tipo Ventana, tipo Minisplit y Multisplit, tipo central, paquete o dividido. En el 2010, el 46% de estos equipos correspondía a tipo Ventana, y el 53% a equipos Minisplit, con un aumento de participación en el mercado de los acondicionadores de aire tipo Minisplit anualmente se comercializan 500.000 unidades de acondicionadores de Aire tipo Cuarto (AAC)⁴⁴.

Tabla 22. Participación en el mercado mexicano en 2010

Categoría	Tipo	Capacidad de refrigeración [W]	Participación en el mercado [%]
1	Ventana	CC < 1758	21
2	Split	1758 ≤ CC ≤ 2345	16

⁴⁴ "Normas de desempeño energético mínimo para acondicionadores de aire tipo ventana en México", reporte generado por LBNL y CLASP para CONUEE. Julio 2011

3	Split	$2345 \leq CC \leq 4103$	51
4	Split	$4103 \leq CC \leq 5861$	8
5	Central, paquete o dividido	$5861 \leq CC \leq 10548$	4

Fuente: CLASP

La normativa mexicana introdujo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, de 1992, 2 tipos de regulaciones: las normas mexicanas voluntarias (NMX) y las Normas Oficiales Mexicanas, que son obligatorias (NOM). En el ámbito energético, la Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), en 1995 establece los estándares de desempeño de artefactos, para diversos artefactos de uso residencial, entre los que se encuentran los equipos de aire acondicionado. El 28 de noviembre de 2008, a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) reemplaza a la CONAE, y es la entidad encargada de promover la eficiencia energética y ejercer como órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Actualmente, la normativa NOM-011-ENER-2006⁴⁵ es de carácter obligatorio, y abarca a equipos de aire acondicionado centrales, empaquetados y divididos. En dicho reglamento se establecen que las condiciones de ensayo deben ser realizadas en base a los estándares ANSI/ASHRAE 37⁴⁶ y ARI 210⁴⁷, se define la forma de cálculo para indicadores, y el valor mínimo para la Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE), la cual que debe ser cumplida por todos los equipos comercializados en el país.

Tabla 23. Valor mínimo REEE

Capacidad de refrigeración [W]	REEE [Wt/We]
$8800 \leq CC \leq 19050$	3,81

Fuente: NOM-011-ENER-2006

Los equipos regulados por las normativas antes mencionadas se listan a continuación:

Acondicionadores de aire tipo Cuarto o domésticos, con o sin calefacción, con condensador enfriado por aire, y con capacidades de enfriamiento hasta 10600 W.

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

⁴⁵ NOM-011-ENER-2006 Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

⁴⁶ ANSI/ASHRAE 37 Methods of testing for rating Unitary air conditioning and Heat pump equipment.

⁴⁷ ARI 210 "Standard for unitary air-conditioning equipment".

utilizan condensadores enfriados por aire, operados con energía eléctrica, en capacidades nominales de enfriamiento de 1W hasta 19.050 W que funcionan por compresión mecánica.

Acondicionadores de aire tipo central, en capacidades de enfriamiento entre 8.800 W y 19.050 W que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor, un compresor y un serpentín condensador enfriado por aire o agua.

Acondicionadores de aire tipo dividido (Split) con flujo de refrigerante variable, operados con energía eléctrica, en capacidades nominales de enfriamiento de 1 W hasta 19050 W 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.

No existe una clasificación para los acondicionadores de aire tipo central.

Los acondicionadores de aire tipo Cuarto con o sin calefacción se clasifican, por su capacidad de enfriamiento en Watts térmicos y sus características específicas de diseño, como sigue⁴⁸:

Tabla 24. Tipos de acondicionadores de aire tipo Cuarto o Ventana y niveles mínimos de eficiencia energética

Tipo	Categoría	Capacidad de refrigeración [W]	EER
Sin ciclo inverso y con ranuras laterales	1	CC < 1758	2,84
	2	1758 ≤ CC ≤ 2345	2,84
	3	2345 ≤ CC ≤ 4103	2,87
	4	4103 ≤ CC ≤ 5861	2,84
	5	5861 ≤ CC ≤ 10600	2,49
Sin ciclo inverso y sin ranuras laterales	6	CC < 1758	2,64
	7	1758 ≤ CC ≤ 2345	2,64
	8	2345 ≤ CC ≤ 4103	2,49
	9	4103 ≤ CC ≤ 5861	2,49
	10	5861 ≤ CC ≤ 10600	2,49

⁴⁸ Cabe destacar que México se encuentra en proceso de homologación de normativas con EE.UU, lo que indica que los niveles de eficiencia energética serían actualizados en un escenario cercano. Los valores presentados en esta sección son aún considerados oficiales por la CONUEE, pero se incluyen la última actualización de la normativa de EE.UU, en formato digital en el Anexo 4

Con ciclo inverso y con ranuras laterales	11	$CC \leq 5861$	2,64
	13	$5861 \leq CC \leq 10600$	2,49
Con ciclo inverso y sin ranuras laterales	12	$CC \leq 4103$	2,49
	14	$4103 \leq CC \leq 10600$	2,34

Fuente: Elaboración propia en base a Norma NOM-021-ENER/SCFI-2008

Los equipos acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire, deben ser clasificados según el número de componentes:

Acondicionador de aire, constituido por dos partes (Minisplit).

Acondicionador de aire, constituido por más de dos partes (Multisplit).

Estos deben tener un valor de REE mayor o igual que los valores especificados en la siguiente tabla.

Tabla 25. Nivel mínimo de Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire (tipo Minisplit y Multisplit).

Capacidad de Enfriamiento		Parámetros de Eficiencia Energética	
Watts	BTU/h	COP	EER ⁴⁹
$CC \leq 19050$	$3413 \leq CC \leq 65001$	2,72	9,30

Fuente: Norma NOM-023-ENER-2010

Tabla 26. Nivel mínimo de Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo dividido, con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire

Capacidad de refrigeración [W]	SEER
$10600 < CC \leq 19050$	4,68
$5859 < CC \leq 10600$	4,68
$4101 < CC \leq 5859$	4,39
$CC \leq 4101$	4,10

Fuente: NOM-026-ENER-2015

⁴⁹ La unidad utilizada en el parámetro EER es Btu/Wh.

En el informe “Normas de desempeño energético mínimo en México”, preparado por CLASP, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE) en 2010⁵⁰, se analizan los impactos proyectados de la política mexicana sobre estándares mínimos de eficiencia energética en aires acondicionados. Para el año 2020 se espera un ahorro de 1,74 TWh asociado a la utilización de equipos de aire acondicionado residencial y 2,55 TWh considerando además el efecto de la utilización de aire acondicionado central. La tabla siguiente presenta los resultados del estudio.

Tabla 27. Resumen de los resultados del estudio "Normas de desempeño energético mínimo en México"

Equipo	Ahorro energético [GWh]	Reducción de emisiones [kT CO2-eq]
Acondicionadores de aire	1.740	1.140
Aire acondicionado central	10	6,55

Fuente: CLASP

El gobierno mexicano ha seguido una estrategia de armonización con el programa de eficiencia energética impulsado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), siendo los posibles impactos resultantes de la homologación con la norma estadounidense parte importante del análisis nacional. Los estándares mínimos de eficiencia energética utilizados en México utilizan como base la regulación presentada por el DOE en abril de 2011 y que entró en vigencia en 2014.

3.7 Unión Europea

Resulta relevante destacar que la normativa chilena de etiquetado de eficiencia energética, en lo relativo a las clases de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado, se basa en Directiva 2002/31/CE de la Comunidad Europea.

El alcance de la mencionada Directiva está delimitado por las normas EN 255-1 y EN 814-1⁵¹, esto es equipos de aire acondicionado enfriados por aire y agua, equipos con fluido secundario,

⁵⁰ Citado también al inicio de este capítulo y revisado online el 11 de febrero de 2010 en <http://documents.mx/documents/normas-de-eficiencia-energetica-mexico-resena.html>

⁵¹ Ambas reemplazadas por EN 14511-1:2013 en cuyo alcance se encuentran: equipos de aire acondicionado, equipos con fluido secundario y bombas de calor usando aire, agua o salmuera como medio de transferencia de calor, con compresores eléctricos, usados para calentamiento o enfriamiento de ambientes. No aplica a bombas de calor para ACS. Aplica para: unidades manufactureras que pueden incorporar ductos, unidades manufactureras equipos con fluido secundario con condensadora integral o para el uso de condensadores remotos, unidades manufactureras de cualquier capacidad fija o variable por cualquier medio, y equipos de aire acondicionado aire-aire que pueden también evaporar el condensado en el lado del condensador. Unidades empaquetadas, sistemas split y multisplit, unidades de un ducto y de ducto doble. En caso de unidades que incluyen diversas partes, el estándar aplica para aquellas suministradas como un paquete completo, excepto equipos con fluido secundario con condensador remoto.

bombas de calor: aire/aire y agua/aire, con compresores eléctricos, utilizados en modos de calentamiento y enfriamiento.

Para el caso de estándares de mínima eficiencia para equipos de aire acondicionado, se cuenta con regulación única para diversas tecnologías, estando otra en desarrollo, como puede apreciarse en la tabla siguiente:

Tabla 28. MEPS para equipos de aire acondicionado en la Unión Europea

Producto	Alcance	Normativa	Estado
Equipos autocontenidos	Equipos eléctricos de aire acondicionado con una capacidad de enfriamiento, o calefacción si el equipo no tiene función de enfriamiento, de 12 kW o más, y ventiladores de confort con una potencia de 125 W o más	Reglamento Delegado N° 206/2012	Vigente desde 2013 y un aumento en las exigencias desde 2014
Aire acondicionado portátil			
Aire acondicionado de habitación			
Aire acondicionado central	A ser definido. Incorporaría unidades residenciales de ventilación de potencia inferior a 125 W y unidades de ventilación para aplicaciones no residenciales de potencia superior a 125 W.	Sin información	En desarrollo

Fuente: CLASP⁵²

Para los 3 tipos de equipos de aire acondicionado que actualmente están alcanzados por los MEPS, se estima que los ahorros totales en energía variarían entre 40 y 100 TWh, lo que equivale a evitar la emisión de entre 20 y 50 Mt CO2 equivalentes.

Como ya se mencionó, la normativa que define las clases de eficiencia energética, y la información que la etiqueta debe contener, fue actualizada en 2012 a través del *Reglamento Delegado (UE) N° 626/2011*, lo que representa una norma más estricta que la Directiva en la cual se inspiró la normativa nacional. Los nuevos límites y categorías de eficiencia energética se muestran en las tablas siguientes.

Este estándar está destinado principalmente a equipos con agua o salmuera, pero puede utilizado para otros líquidos. Para aquellos equipos que pueden ser operados también en modo de calentamiento, este estándar aplica para la determinación de su desempeño en el modo de calentamiento.

Revisado online el 11 de enero de 2016, en

http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:39043,6095&cs=1141F92C57B8AD97677B66DE7BEAEF923.

⁵² Revisado online el 13 de enero de 2016 en

http://clasp.ngo/Tools/Tools/SL_Search/SL_SearchResults/?Filter=yes

Tabla 29. Clases de eficiencia energética relativas a los acondicionadores de aire, a excepción de los de conducto único y conducto doble

Clase de EE	SEER	SCOP
A+++	$SEER \geq 8,50$	$SCOP \geq 5,10$
A++	$6,10 \leq SEER < 8,50$	$4,60 \leq SCOP < 5,10$
A+	$5,60 \leq SEER < 6,10$	$4,00 \leq SCOP < 4,60$
A	$5,10 \leq SEER < 5,60$	$3,40 \leq SCOP < 4,00$
B	$4,60 \leq SEER < 5,10$	$3,10 \leq SCOP < 3,40$
C	$4,10 \leq SEER < 4,60$	$2,80 \leq SCOP < 3,10$
D	$3,60 \leq SEER < 4,10$	$2,50 \leq SCOP < 2,80$
E	$3,10 \leq SEER < 3,60$	$2,20 \leq SCOP < 2,50$
F	$2,60 \leq SEER < 3,10$	$1,90 \leq SCOP < 2,20$
G	$SEER < 2,60$	$SCOP < 1,90$

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 626/2011, Cuadro 1

Tabla 30. Clases de eficiencia energética relativas a los acondicionadores de aire de conducto único y los de conducto doble

Clase de EE	Acondicionadores de aire de conducto doble		Acondicionadores de aire de conducto único	
	EER_{rated}	COP_{rated}	EER_{rated}	COP_{rated}
A+++	$\geq 4,10$	$\geq 4,60$	$\geq 4,10$	$\geq 3,60$
A++	$3,60 \leq EER < 4,10$	$4,60 \leq COP < 4,60$	$3,60 \leq EER < 4,10$	$3,10 \leq COP < 3,60$
A+	$3,10 \leq EER < 3,60$	$3,60 \leq COP < 4,10$	$3,10 \leq EER < 3,60$	$2,60 \leq COP < 3,10$
A	$2,60 \leq EER < 3,10$	$3,10 \leq COP < 3,60$	$2,60 \leq EER < 3,10$	$2,30 \leq COP < 2,60$
B	$2,40 \leq EER < 2,60$	$2,60 \leq COP < 3,10$	$2,40 \leq EER < 2,60$	$2,00 \leq COP < 2,30$
C	$2,10 \leq EER < 2,40$	$2,40 \leq COP < 2,60$	$2,10 \leq EER < 2,40$	$1,80 \leq COP < 2,00$
D	$1,80 \leq EER < 2,10$	$2,00 \leq COP < 2,40$	$1,80 \leq EER < 2,10$	$1,60 \leq COP < 1,80$
E	$1,60 \leq EER < 1,80$	$1,80 \leq COP < 2,00$	$1,60 \leq EER < 1,80$	$1,40 \leq COP < 1,60$
F	$1,40 \leq EER < 1,60$	$1,60 \leq COP < 1,80$	$1,40 \leq EER < 1,60$	$1,20 \leq COP < 1,40$
G	$< 1,40$	$< 1,60$	$< 1,40$	$< 1,20$

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 626/2011, Cuadro 2

Donde:

SEER : Factor de eficiencia energética estacional.

SCOP : Coeficiente de rendimiento estacional.

COP : Coeficiente de rendimiento.

EER : Factor de eficiencia energética.

Respecto a los estándares de mínima eficiencia (MEPS), el *Reglamento Delegado (UE) N° 206/2012 de la Comisión de 6 de marzo de 2012 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los acondicionadores de aire y los ventiladores*, que alcanza los equipos de potencia nominal menor o igual a “12 kW para refrigeración, o calefacción si el producto no tiene función de refrigeración y los ventiladores que utilicen una potencia eléctrica $\leq 125\text{ W}$ ”, establece el desempeño mínimo que deben alcanzar las siguientes categorías de equipos.

Respecto de la normativa de ensayo, en el Reglamento Delegado no se hace referencia a un cuerpo normativo específico, sino que establece en su Considerando 16, que “*Las mediciones de los parámetros pertinentes de los productos deben llevarse a cabo mediante métodos de medición fiables, exactos y reproducibles, que tengan en cuenta los métodos de medición más avanzados reconocidos, incluyendo, en su caso, las normas armonizadas adoptadas por los organismos europeos de normalización*”. En base a lo anterior, se identifica que la norma de ensayo vigente para este tipo de equipos es *EN 14511-1:2013 - Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Part 1: Terms, definitions and classification*.

En el Reglamento Delegado se establecen requerimientos mínimos de eficiencia diferenciados según el potencial de calentamiento global del gas refrigerante, como se muestra en la tabla siguiente, que entraron en vigencia el 1 de enero de 2013.

Tabla 31. Requisitos de eficiencia energética mínima en la Unión Europea

	Acondicionadores de aire de conducto doble		Acondicionadores de aire de conducto único		Otros equipos	
	EER _{rated}	COP _{rated}	EER _{rated}	COP _{rated}	SEER	SCOP
Si el PCG del refrigerante > 150	2,40	2,36	2,40	1,80	3,60	3,40
Si el PCG del refrigerante < 150	2,16	2,12	2,16	1,62	3,24	3,06

Fuente: Reglamento Delegado (UE) N° 206/2012, Cuadro 1 y Cuadro 4

A lo anterior se adicionan los requisitos siguientes para los modos distintos del de operación que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 32. Requisitos de consumo máximo de energía en modo desactivado y modo de espera para acondicionadores

Modo desactivado	El consumo eléctrico del equipo en cualquier estado de modo desactivado no rebasará el límite de 1,00 W.
-------------------------	--

Modo de espera	El consumo de energía del equipo en cualquier estado que proporcione solo una función de reactivación, o solo una función de reactivación y una mera indicación de activación de esta función, no rebasará el límite de 1,00 W
	El consumo de energía del equipo en cualquier estado que proporcione solo visualización de información o de estado, o solo una combinación de función de reactivación y visualización de información o de estado, no rebasará el límite de 2,00 W
Disponibilidad de modo de espera y/o desactivado	Salvo cuando resulte inadecuado para el uso previsto, el equipo dispondrá de los modos desactivado y/o de espera, o cualquier otro estado que no rebase los límites de consumo eléctrico aplicables a los modos desactivado o en espera mientras el equipo en cuestión se halle conectado a la red de alimentación eléctrica.

Fuente: Reglamento Delegado (UE) N° 206/2012, Cuadro 2

Luego, a partir de enero de 2014, los requisitos de rendimiento para los distintos equipos, se establecieron según la potencia del equipo y el potencial de calentamiento global del fluido de trabajo, tal como puede observarse en Tabla 33.

Tabla 33. Requisitos de eficiencia energética mínima, válido desde el 1 de enero de 2014

	Acondicionadores de aire de conducto doble		Acondicionadores de aire de conducto único		Otros equipos	
	EER _{rated}	COP _{rated}	SEER	SCOP ⁵³	EER _{rated}	COP _{rated}
Si el PCG del refrigerante > 150 para < 6 kW	2,60	2,60	4,60	3,80	2,60	2,04
Si el PCG del refrigerante < 150 para < 6 kW	2,34	2,34	4,14	3,42	2,34	1,84
Si el PCG del refrigerante > 150 para 6 - 12 kW	2,60	2,60	4,30	3,80	2,60	2,04
Si el PCG del refrigerante < 150 para 6 - 12 kW	2,34	2,34	3,87	3,42	2,34	1,84

Fuente: Reglamento Delegado (UE) N° 206/2012, Cuadro 6

Por su parte, para modos distintos del activo, los límites de consumo energético se reducen a la mitad, es decir, 0,50 W para el modo desactivado y en cualquier estado que proporcione solo una función de reactivación, o solo una función de reactivación y una mera indicación de la activación

⁵³ Temporada de calefacción: "media".

de esta función, y 1,00 W en cualquier estado que proporcione solo visualización de información o del estado, o solo una combinación de función de reactivación y visualización de información o del estado.

3.8 Uruguay

Según da cuenta el Plan de Eficiencia Energética de Uruguay, en diciembre de 2014 se estableció la posibilidad de ingresar voluntariamente equipos de aire acondicionado al Sistema Nacional de Etiquetado de Eficiencia Energética, en base a la normativa creada UNIT-1170:2009, publicada en 2009. A partir de junio de 2016, la incorporación es obligatoria⁵⁴.

Esta normativa establece la metodología y ensayos requeridos para clasificar y diseñar la etiqueta para acondicionadores de aire de tipo residencial con capacidad de refrigeración hasta 12 kW.

Las clases de eficiencia energética se determinan de acuerdo al modo de utilización. En modo de refrigeración, se determina a partir del coeficiente de eficiencia energética (EER) y en modo calefacción, a partir del coeficiente de rendimiento (COP), como se define en la Norma UNIT-ISO 5151, y determinada bajo el método de ensayo establecido en el capítulo 10 de la Norma UNIT-IEC 335-1. Las condiciones de ensayo deben ser las especificadas en el Anexo H de la Norma UNIT ISO 5151.

A continuación, se presentan las clases de eficiencia definidas en la normativa para equipos Monobloque (Compacto) y tipo Split⁵⁵.

Tabla 34. Clases de eficiencia energética para aire acondicionado tipo Monobloque en modo refrigeración

Clases	EER
A	$3,00 < \text{EER}$
B	$2,80 < \text{EER} \leq 3,00$
C	$2,60 < \text{EER} \leq 2,80$
D	$2,40 < \text{EER} \leq 2,60$
E	$2,20 < \text{EER} \leq 2,40$
F	$2,00 < \text{EER} \leq 2,20$
G	$\text{EER} \leq 2,00$

Fuente: UNIT

⁵⁴ UNIT-1170:2009, Eficiencia Energética - Acondicionadores de aire y bombas de calor - Especificaciones y etiquetado

⁵⁵ Para modo clases en modo calefacción, referirse a la misma normativa UNIT-1170:2009

Tabla 35. Clases de eficiencia energética para aire acondicionado tipo Split en modo refrigeración

Clases	EER
A	$3,20 < \text{EER}$
B	$3,00 < \text{EER} \leq 3,20$
C	$2,80 < \text{EER} \leq 3,00$
D	$2,60 < \text{EER} \leq 2,80$
E	$2,40 < \text{EER} \leq 2,60$
F	$2,20 < \text{EER} \leq 2,40$
G	$\text{EER} \leq 2,20$

Fuente: UNIT

3.9 Nueva Zelanda

Refrigeradores y equipos de aire acondicionado han sido el foco de etiquetado, regulación y establecimiento de MEPS en Nueva Zelanda desde 2002 bajo el programa E3 (Equipment Energy Efficiency Programme)⁵⁶, implementado en conjunto con Australia. El etiquetado y criterios establecidos en los MEPS son revisados cada 3 a 5 años y de ser necesario, actualizados.

Estudios de mercado muestran que el 95% de los consumidores de dicho país están familiarizados con el etiquetado energético, mientras que el 60% catalogan a la eficiencia energética como un factor de importancia en su decisión de compra. El rango de clasificación de los equipos es de 6 estrellas y desde que las etiquetas fueron introducidas la eficiencia de sistemas de aire acondicionado ha mejorado hasta el punto en que la mayoría alcanza las cuatro estrellas⁵⁷.



Figura 9: Etiquetado en Nueva Zelanda

La EECA (Energy Efficiency and Conservation Authority), agencia gubernamental que promueve la eficiencia energética, es la encargada de la implementación y mantención de los estándares mínimos de eficiencia energética, además, mantiene programas en conjunto con Energy Star (EE.UU.), bajo los cuales se reconoce y premia al 25% superior de equipos eficientes en cada categoría.

⁵⁶ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.energyrating.gov.au/about>

⁵⁷ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.mbie.govt.nz/info-services/sectors-industries/energy/energy-efficiency-environment/documents-library/energy-efficiency-docs/RIS%20Air%20conditioners%20freezers%20and%20refrigerators%20MEPS.pdf>

Existen dos sistemas principales de acondicionadores de aire en el mercado Neo Zelandés: refrigerativos y evaporativos. Los refrigerativos han sido el foco del programa E3 y de las regulaciones neozelandesas en general. Los distintos tipos de sistemas refrigerativos regulados son: Split, Ventana, Con ducto y Multisplit.

La Declaración de Impacto Regulatorio (RIS - Regulatory Impact Statement) denominada como “Revision to Minimum Energy Performance Standards and labelling for air conditioners and revisions to energy rating labelling for domestic refrigerator and freezer appliances”⁵⁸, presentada en mayo de 2011 y aceptada a mediados del año 2013, propuso modificar el etiquetado de aires acondicionados y refrigeradores para así dar un nuevo impulso a la eficiencia energética. Este análisis proyectó la reducción de 97.000 Ton de CO₂-eq en un periodo de 10 años. Los nuevos requerimientos, establecidos mediante los indicadores Annual Energy Efficiency Ratio (AEER) y Annual Coefficient of Performance (ACOP), son presentados en la normativa AS/NZS 3823.2:2013⁵⁹ y en la tabla siguiente:

Tabla 36. Requerimientos mínimos de eficiencia energética en Nueva Zelanda

Equipo	Capacidad de refrigeración [W]	AEER	ACOP
Unitario sin ducto	CC < 10000	2,84	3,10
Unitario sin ducto	10000 ≤ CC < 19000	2,75	3,10
Split sin ducto	CC < 4000	3,33	3,66
Split sin ducto	4000 ≤ CC < 10000	2,93	3,22
Split sin ducto	10000 ≤ CC < 19000	2,75	3,10
Con ducto	CC < 10000	2,75	3,10
Con ducto	10000 ≤ CC < 19000	2,75	3,10
Multisplit	CC < 4000	3,66	3,66
Multisplit	4000 ≤ CC < 10000	3,22	3,22
Multisplit	10000 ≤ CC < 19000	3,10	3,10

⁵⁸ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.treasury.govt.nz/publications/informationreleases/ris/pdfs/ris-med-ecc-may11.pdf>

⁵⁹ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.mbie.govt.nz/info-services/sectors-industries/energy/energy-efficiency-environment/documents-library/energy-efficiency-docs/MEPS-heat-pump-RIS.pdf>

Todas las configuraciones	19000 ≤ CC < 39000	3,10	3,10
Todas las configuraciones	39000 ≤ CC < 65000	2,90	2,90

Fuente: Energy Rating⁶⁰

En febrero de 2016 se abrió la etapa de consulta de la RIS sobre acondicionadores de aire y enfriadores “Regulatory reform opportunities and improving energy efficiency outcomes”⁶¹. En este documento se presenta un análisis y estudio basado en 3 escenarios que modificarían la normativa actual y uno que mantiene las condiciones actuales (BAU por las siglas de Business as Usual).

La opción A incluye las siguientes propuestas y modificaciones:

Reemplazo del etiquetado de eficiencia actual por una que incluya diferenciación por zona.

Expandir el alcance del etiquetado para cubrir equipos de hasta 30kW de capacidad de enfriamiento.

Acondicionadores de aire portátiles de ducto simple sujetos al etiquetado.

Acondicionadores de aire portátiles de ducto doble sujetos a etiquetado y MEPS de AEER 2,6

Eliminar los estándares neozelandeses desactualizados y alinearse con procedimientos estadounidenses.

La opción B1, en adición a las propuestas de la opción A, incluye:

Acondicionadores de aire portables de ducto simple con MEPS de AEER 2,6.

Eliminar la posibilidad de lograr un 95% de cumplimiento de los MEPS en equipos de velocidad variable.

La opción B2, en adición a las propuestas de la opción B1, incluye:

Implementar una clasificación según el parámetro SEER para acondicionadores de aire con capacidad de enfriamiento superior a 30kW.

Los resultados esperados de cada una de estas opciones, incluyendo el escenario BAU, se muestran a continuación:

⁶⁰ Revisado online el 11 de febrero de 2016 en <http://www.energyrating.gov.au/products/space-heating-and-cooling/regulatory-requirements>

⁶¹ Revisado online el 15 de febrero de 2016 en <http://www.energyrating.gov.au/files/221215-consultation-ris-air-conditioners-and-chillerspdf>

Tabla 37. Resultados de ahorro energético y reducción de emisiones

Opción	Ahorro energético 2017-2030 [GWh]	Reducción de emisiones 2017-2030 [kT CO ₂ -eq]
A	427	41,30
B1	659	64,60
B2	670	65,70
Opción	Ahorro energético 2008-2020 [GWh]	Reducción de emisiones 2017-2020 [kT CO ₂ -eq]
BAU	621	90

Fuente: RIS, 2016

4. Evaluación de alternativas para estándar mínimo de eficiencia energética para aires acondicionados

4.1 Antecedentes

La experiencia internacional muestra que la introducción de MEPS ha sido efectiva para mejorar los niveles de eficiencia energética, sobre todo en mercados donde la autorregulación, la información al consumidor y la racionalidad de los beneficios económicos esperados, la competencia o el propio avance tecnológico no logran alterar la decisión de compra masiva de productos ineficientes versus productos alternativos con mayores niveles de eficiencia energética, en particular en aquellos productos que representan un importante porcentaje del consumo final y donde dicha elección se traduciría durante el ciclo de vida en menores costos de operación que cubren adecuadamente los mayores costos de inversión.

En la sección anterior se entregó una serie de antecedentes de países que han implementado MEPS para equipos de aires acondicionado junto con la evaluación de los resultados de estas medidas. Siguiendo esta línea, el Ministerio de Energía licitó el estudio denominado “Evaluación de medidas de eficiencia energética en artefactos: impacto técnico-económico para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en acondicionadores de aire” con el objetivo de contar con una evaluación independiente y objetiva de los diferentes impactos de implementar un estándar mínimo de eficiencia energética en aires acondicionados en nuestro país. La licitación se adjudicó a ATS Energía S.A., quienes realizaron el estudio en conjunto con el Lawrence Berkeley National Laboratory⁶². El presente informe resume los resultados de ese

⁶² Laboratorio perteneciente a la Red de Laboratorios Nacionales del Departamento de Estado de los Estados Unidos, que es administrado por la Universidad de California.

estudio y los análisis allí realizados. El estudio se encuentra disponible en la Web <http://energiaabierta.cl/> dependiente del Ministerio de Energía.

La evaluación se realiza en base al Modelo PAMS desarrollado de manera conjunta por el Lawrence Berkeley Lab y CLASP, y utiliza antecedentes recogidos del mercado nacional para la evaluación de sus resultados.

4.2 Análisis de Impacto: Modelo PAMS

El Sistema de Modelamiento y Análisis de Políticas (PAMS, por las siglas de Policy Analysis Modeling System⁶³) tiene como objetivo modelar el impacto de los estándares mínimos de eficiencia energética a niveles residencial y agregado a nivel país utilizando datos específicos para distintos productos y para cada país. Este modelo, sistematizado en una planilla de cálculo, opera bajo el concepto que los productos existentes en el mercado mantienen un marco de referencia (eficiencia) bien definido.

PAMS calcula los costos y beneficios de las normas de eficiencia bajo dos perspectivas distintas, pero estrechamente relacionadas:

1. La Perspectiva del Consumidor: que examina los costos y beneficios desde el punto de vista de una familia o de una empresa individual. El cálculo de la perspectiva del consumidor se llama el cálculo de costes del ciclo de vida (LCC).
2. La Perspectiva Nacional: proyecta tanto los costos nacionales totales como los beneficios de implementar la política en el país, se incluyen los beneficios financieros, el ahorro de energía y los beneficios medioambientales. Los cálculos de perspectiva nacional se llaman de Ahorro Nacional de la Energía (NES) y el valor actual neto (VAN).

A nivel general, PAMS utiliza parámetros seleccionables y ajustables desde su planilla principal, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 38: Parámetros ajustables – Modelo PAMS

Standard Start Year	Año en que la mejora energética toma efecto
Policy End Year	Año en que termina la aplicación de la norma
Analysis Year	Año de referencia utilizado para calcular costos y beneficios

Fuente: Methodology for the Policy Analysis Modeling System (PAMS) - LBNL

Dado que el modelo funciona bajo un formato de planillas de hojas de cálculo, es posible su adecuación a la realidad nacional modificando las distintas hojas de información de PAMS (referida como “User Inputs Page”). Este tipo de modificaciones son coordinadas con el equipo del Grupo de Estudios Internacionales de Energía del Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL),

⁶³ Mayor información del modelo se puede encontrar en la Web del Lawrence Berkeley National Lab: <https://ies.lbl.gov/project/policy-analysis-modeling-system>

generando calibraciones a nivel de información de base y el desarrollo de cálculos acordes a la realidad nacional. La información accesible a modificación se lista a continuación:

Tabla 39: Información accesible a modificación – Modelo PAMS

Shipments Forecast	Proyección de las ventas al 2030
Local Baseline Price	Precio de venta del modelo más popular (baja eficiencia)
Local Baseline UEC	Consumo energético unitario del modelo más popular (baja eficiencia)
Mean Product Lifetime	Vida útil promedio del promedio, incluyendo reemplazo adelantado
Annual Base Case Efficiency Improvement	Mejora anual fraccionada en eficiencia de línea base por año
Annual Price Decrease	Disminución anual fraccionada en precio de línea base por año
Consumer Discount Rate	Tasa de descuento usada por los compradores para evaluar las inversiones
National Discount Rate	Tasa de descuento usada para evaluar el beneficio de un programa a nivel nacional
Design Options Price	Precio y eficiencia de las opciones de ingeniería
Electricity Price	Precio pagado por los consumidores por el último kWh de electricidad utilizada (costo marginal)
Heat Rate Factor	Tasa de energéticos utilizada para generar electricidad en una central
T&D Loss Factor - 2005	Pérdidas en transmisión y distribución
CO2 emissions Factor (kg/kWh) -2005	CO2 producido por unidad de electricidad
Electrification Rate & Year	Tasa de electrificación y año de la información más reciente

Fuente: Methodology for the Policy Analysis Modeling System (PAMS) - LBNL

La utilización de PAMS permite, identificar los impactos de los MEPS, tanto para el consumidor, como a nivel nacional.

- Impacto sobre el consumidor
 - Análisis de Costo de Ciclo de Vida
 - Análisis de Período de retorno
- Impacto Nacional
 - Análisis de ahorros de energía
 - Análisis de emisiones evitadas
 - Análisis de impactos financieros netos

Posterior al análisis de dichos impactos, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar aquellos aspectos y variables que tienen una mayor incidencia en el consumo energético que busca potenciarse a través del establecimiento de MEPS, entre las que cuentan las siguientes:

- Ventas
- Precio de la electricidad
- Horas de uso
- Precio del material

4.3 Datos de entrada para PAMS

Como primera fuente de información para el modelo PAMS, se requiere identificar los tipos de equipos comercializados en el país. Las tablas a continuación representan una muestra de los equipos comercializados⁶⁴.

Tabla 40: Precio promedio de equipos tipo Split en pesos

Split	Rangos de Potencia [kW]								
	Clase de EE	> 0	<= 3	> 3	<= 6	> 6	<= 9	> 9	<= 12
A		456.793		581.653		804.345		-	
B		291.575		373.168		684.583		-	
C		239.990		308.495		477.995		-	
D		-		-		-		978.000	
E		-		614.000		714.000		-	
F		-		-		-		1.171.000	
G		-		-		-		-	

Fuente: Elaboración propia en base a información disponible en sitios web de distribuidores y provista por los mismos

Tabla 41. Precio promedio de equipos tipo Ventana en pesos

Ventana	Rangos de Potencia [kW]								
	Clase de EE	> 0	<= 3	> 3	<= 6	> 6	<= 9	> 9	<= 12
A		-		-		-		-	
B		-		-		695.912		-	
C		284.029		337.436		436.000		-	
D		-		407.306		-		-	
E		-		-		-		-	
F		197.000		228.000		-		-	
G		-		-		-		-	

Fuente: Elaboración propia en base a información disponible en sitios web de distribuidores y provista por los mismos

⁶⁴ El detalle total de los supuestos se encuentran en el informe final que puede ser revisado en la Web energiaabierta.cl

Tabla 42. Precio promedio de equipos tipo Cassette en pesos

Cassette	Rangos de Potencia [kW]								
	Clase de EE	> 0	<= 3	> 3	<= 6	> 6	<= 9	> 9	<= 12
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	882.028	-	-	-	-	-	-
D	-	-	628.000	1.335.180	1.136.000	-	-	-	-
E	-	-	507.000	828.000	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a información disponible en sitios web de distribuidores y provista por los mismos

Los principales parámetros del modelo PAMS son descritos y definidos a continuación:

Para el Análisis de Impacto sobre el consumidor:

1. Tasa de descuento: Definido como el interés promedio que el consumidor utilizaría al pagar el mayor costo potencial de un equipo más eficiente. Por defecto, se modela de acuerdo a las tasas de interés locales. Se consideró una tasa de 23,49%, correspondiente al promedio de las tasas de consumo nominal para el año 2015, publicada por el Banco Central.
2. Consumo energético unitario del equipo (UEC de sus siglas en inglés): Consumo energético anual típico para cada clase de equipo, de acuerdo a factores de uso local y condiciones climatológicas. El modelo PAMS en la actualidad utiliza un consumo promedio estimado de 875,64 kWh/año, equivalentes a 620 horas de enfriamiento para el promedio ponderado del rango de equipos disponibles en el mercado considerados bajo la actual normativa de etiquetado.
3. Vida útil del equipo (L): Vida útil promedio de una clase de equipos antes que deban ser desechados o reemplazados. El modelo considera en la actualidad que la vida útil de un equipo de aire acondicionado es de 10 años⁶⁵.
4. Precio de la energía (P): Estimado en base a precio promedio que un consumidor debe pagar por una unidad de electricidad, aunque idealmente, debiese utilizarse el precio marginal. El modelo utilizó una Tarifa eléctrica BT 1 asociada a Chilectra de 112,532 \$/kWh - 0,167 USD/kWh⁶⁶
5. Precio de línea base para equipos (Local Baseline Price): Corresponde al precio promedio de un equipo en el mercado local. El modelo utilizó el valor 628,64 USD (\$424.288 CLP), correspondiente al promedio ponderado de los precios de equipos actualmente presentes en el mercado nacional y considerados dentro del programa de etiquetado.

⁶⁵ Recomendación de Energy Star para reemplazo de equipos de aire acondicionado. Revisado en línea el 23 de Junio de 2016 - https://www.energystar.gov/index.cfm?c=heat_cool.pr_checklist_consumers

⁶⁶ Chilectra – Tarifa Chilectra BT1 - Enero 2016 112,532 \$/kWh - 0,167 USD/kWh. Se utiliza el mes de enero pues se considera como intensivo en el uso de equipos de aire acondicionado para enfriamiento

Para el Análisis de Impacto a nivel nacional

1. Tasa de descuento nacional para política pública: Tasa de descuento aplicada al análisis de políticas públicas. De acuerdo a información publicada por el Ministerio de Desarrollo Social, la tasa establecida en Chile es de 6%⁶⁷.

El efecto de establecer el MEPS debiese ser analizado de acuerdo al nivel o clase de eficiencia energética a establecer como límite inferior para los equipos comercializados en el país. La tabla siguiente presenta el impacto que el establecimiento de MEPS tendría sobre el consumidor dependiendo de la clase de eficiencia utilizada como referencia.

Tabla 43. Impacto sobre el Consumidor

Variable	Caso Base	Definición de MEPS								
		D	C	B	A	SEER 3,4	SEER 4,1	SEER 5,3	SEER 8	MEPS Max Tech ⁶⁸
Eficiencia Promedio (EER)	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	4,1	5,3	8,0	11,4
Costo Equipo	628,6	628,8	629,7	631,6	638,1	664,1	701,2	770,9	948,3	1.263,1
UEC en kWh/año ⁶⁹	875,6	862,3	846,7	822,4	802,9	782,1	648,1	500,0	331,7	232,2
Ahorro kWh/año		13,3	28,9	53,2	72,7	93,5	227,5	375,6	543,9	643,4
Emisiones evitadas ciclo de vida Kg eq/CO2		46	100	184	252	324	787	1.300	1.882	2.226
Factura eléctrica año (USD)	146,0	143,8	141,2	137,1	133,9	130,4	108,1	83,4	55,3	38,7
Costo Ciclo de Vida ⁷⁰ (LCC) (USD)	1.174,8	1.166,7	1.157,9	1.144,5	1.138,9	1.151,9	1.105,5	1.082,8	1.155,3	1.407,9
Mejora en Eficiencia		2%	3%	6%	9%	12%	35%	75%	164%	277%

⁶⁷ Reporte "Precios Sociales Vigentes 2016", publicado por el Ministerio de Desarrollo Social de Chile en marzo de 2016

⁶⁸ Categoría que considera la mejor tecnología disponible

⁶⁹ Consumo energético unitario al año

⁷⁰ El Costo del Ciclo de Vida incluye el precio del producto más los costos de operación en la vida útil del producto.

Variable	Caso Base	Definición de MEPS								
		D	C	B	A	SEER 3,4	SEER 4,1	SEER 5,3	SEER 8	MEPS Max Tech ⁶⁸
Payback ⁷¹ (años)		0,1	0,2	0,3	0,8	2,3	1,9	2,3	3,5	5,9
Ahorros en Ciclo de Vida - LCC (USD)		8,1	16,9	30,3	35,9	22,9	69,3	92,1	19,5	-233,1

Fuente: Modelo PAMS

De los resultados anteriores, es posible identificar el rápido retorno de inversión (payback) que presentan las opciones de implementación de MEPS entre las clases D y A, presentando períodos inferiores a un año y maximizando los ahorros para el consumidor en la opción A. Por otro lado, es de considerar además que bajo el modelo, se identifican otros escenarios de interés, como es el establecimiento de MEPS respecto a SEER 5,3; estándar que minimiza los costos a lo largo del ciclo de vida del equipo, pero que presenta un período de retorno de la inversión mayor a 2 años y cuyo indicador o métrica para medir nivel de eficiencia energética actualmente no es utilizado.

De los resultados anteriores, es posible inferir que la incorporación de estándares mínimos de eficiencia representaría ahorros tanto a nivel económico como a nivel energético para los consumidores, llevando consigo mejoras en eficiencia energética y una disminución en emisiones que fluctuaría entre 46 y 2.226 Kg eq/CO₂, dependiendo del nivel de estándar establecido, a lo largo del ciclo de vida del producto⁷².

Para el Impacto de la implementación de MEPS a nivel nacional, es posible observar que, de la misma forma que en el caso del Análisis de Impacto sobre el Consumidor, también se alcanza un máximo relativo para el Beneficio Actual Neto (Valor actual neto calculado con una tasa de descuento de 6%) al establecer la clase A de eficiencia como estándar mínimo de eficiencia energética, mientras que su máximo valor se lograría al utilizar la clase SEER 8 como base para dicho estándar. La tabla siguiente presenta el resumen de los resultados de impacto nacional para cada una de las clases de EE.

⁷¹ Tiempo que demora en recuperar el diferencial de la inversión de un producto más eficiente en base a los ahorros monetarios que se generan de consumir menos energía.

⁷² Estimado utilizando el factor de emisión promedio del SIC para el año 2015; FEsic = 0,346 Ton CO₂ eq/MWh, extraído del sitio web huelladecarbono.minenergia.cl

Tabla 44. Impacto a Nivel Nacional

	Definición de MEPS									
	D	C	B	A	SEER 3,4	SEER 4,1	SEER 5,3	SEER 8	MEPS Max Tech	
Ahorro Total en Electricidad al 2040 Millones USD	41,2	89,4	164,5	224,6	288,8	702,8	1.160,0	1.679,7	1.987,3	
Costo Total Incremental de los Equipos al 2040 Millones USD	0,6	2,9	7,8	24,9	94,0	192,4	376,9	847,2	1.681,2	
Beneficio Actual Neto Millones USD ⁷³	40,6	86,4	156,7	199,6	194,9	510,4	783,1	832,5	306,1	
Razón Costo/Beneficio	74,1	30,4	21,0	9,0	3,1	3,7	3,1	2,0	1,2	
Ahorro Energía en sitio ⁷⁴	2020 GWh	3,7	8,0	14,8	20,2	25,9	63,1	104,2	150,8	178,4
	2030 GWh	25,8	56,0	103,2	140,8	181,1	440,7	727,4	1.053,2	1.246,0
	2040 GWh	48,4	105,0	193,3	263,8	339,2	825,4	1.362,4	1.972,8	2.334,0
Ahorro Energía acumulado en sitio al	2020 GWh	5,5	11,9	22,0	30,0	38,6	93,9	155,0	224,4	265,5
	2030 GWh	163,0	353,7	651,1	888,7	1.143,0	2.781,2	4.590,6	6.647,2	7.864,3
	2040 GWh	538,4	1.168,3	2.150,9	2.935,6	3.775,8	9.187,0	15.164,0	21.957,5	25.977,6
Ahorro en energía primaria al	2020 Mto e	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2030 Mto e	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,9	1,2	1,5

⁷³ Tasa de descuento 6%

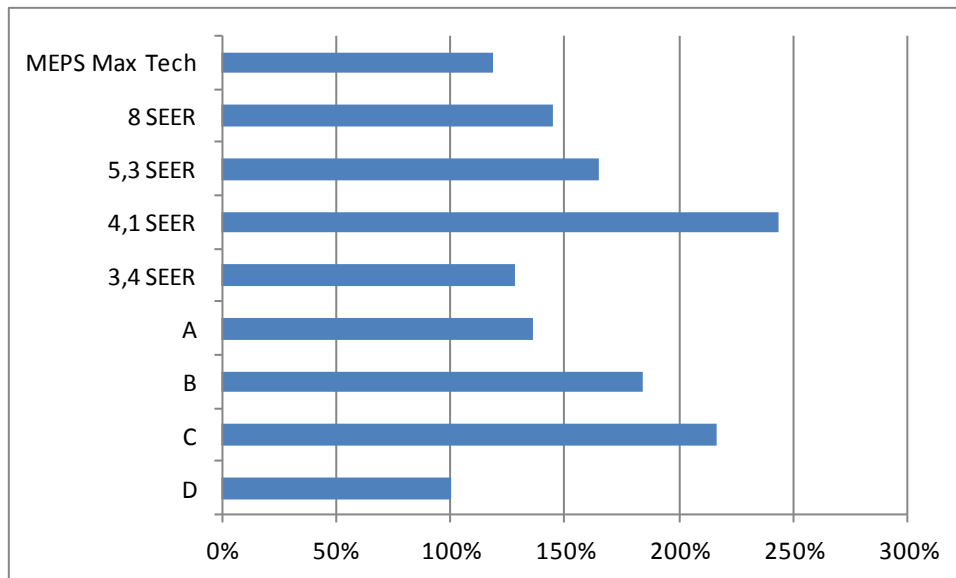
⁷⁴ Ahorro energía en sitio (Site Energy Savings): energía ahorrada en el lugar del uso de la energía.

		Definición de MEPS								
		D	C	B	A	SEER 3,4	SEER 4,1	SEER 5,3	SEER 8	MEPS Max Tech
	2040 Mto e	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	1,7	2,8	4,1	4,9
Mitigación emisión de CO2 al	2020 MT	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
	2030 MT	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,5	2,4	3,5	4,1
	2040 MT	0,3	0,6	1,1	1,5	2,0	4,8	7,9	11,5	13,6

Fuente: Modelo PAMS

En cuanto a las emisiones evitadas, y considerando el factor de emisión promedio del Sistema Interconectado Central para el año 2015, es posible estimar que el establecimiento de MEPS en la categoría A puede alcanzar al 2030 los 0,5 MT de CO2eq.

Figura 10: Aumento relativo de ahorros/beneficios para cada categoría de EE



Fuente: Elaboración propia

Análisis de Sensibilidad

Con el objetivo de identificar aquellos aspectos y variables que tienen una mayor incidencia en el consumo energético que **busca potenciarse** a través del establecimiento del MEPS, se realizaron cinco análisis de sensibilidad de acuerdo a las siguientes variables:

- Ventas
- Precio de la electricidad
- Horas de uso
- Precio del material
- Tasa de descuento cliente

Con tal de simplificar el análisis, éstos se llevarán a cabo utilizando sólo 3 opciones de MEPS para cada caso (clase D, clase A y clase SEER 5,3).

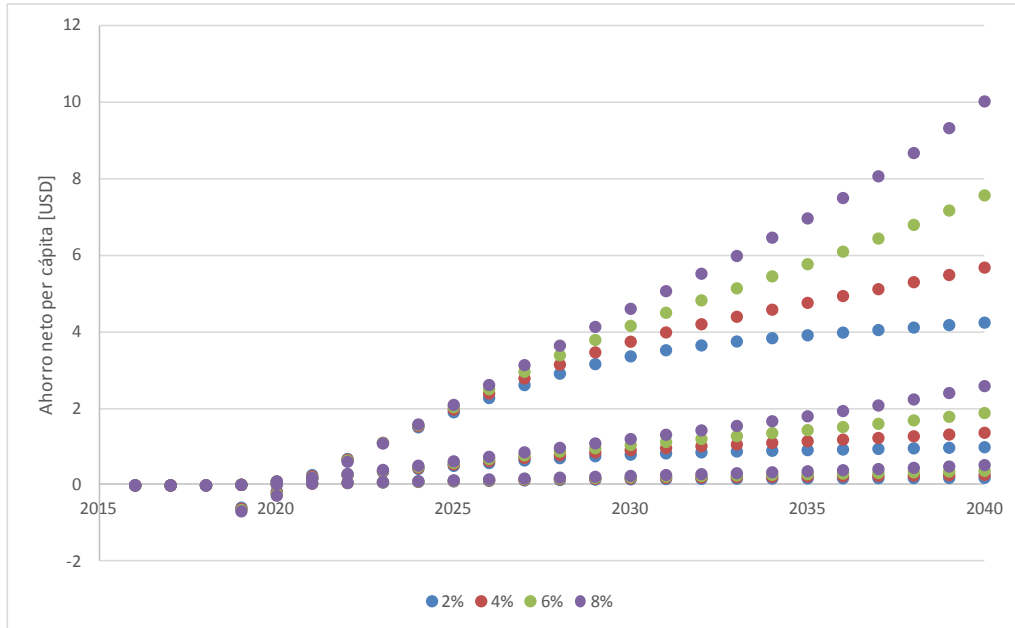
Ventas

La proyección de ventas utilizada actualmente por el modelo PAMS utiliza una tasa de crecimiento de ventas propuesta por la BSRIA (del inglés Building Services Research and Information Association) equivalente al 6%. De acuerdo a información recopilada durante el ciclo de entrevistas, las empresas en Chile esperan un crecimiento del mercado que estaría en un rango entre el 2% y 4%, más moderado que lo propuesto por el BSRIA.

Bajo este concepto, se contemplan 3 escenarios adicionales, crecimiento de 2%, 4% y 8%, lo que incorporaría además un escenario más optimista al propuesto por la BSRIA.

El ahorro neto per cápita se ve afectado directamente por el cambio en la tasa de crecimiento del mercado de equipos de AC. Aquí es posible identificar que existe una relación directa entre la tasa de crecimiento del mercado y mayores eficiencias establecidas en el MEPS. En la parte superior de la figura siguiente, es posible distinguir claramente que el conjunto de valores asociados a la clase más eficiente (SEER 5,3) y ordenados de mayor crecimiento de mercado a menor, son aquellos que representan mayores ahorros per cápita. Por otro lado, aquellos que asocian el MEPS a la clase D, se encuentran en la parte baja del eje ordenado, representando menores ahorros per cápita.

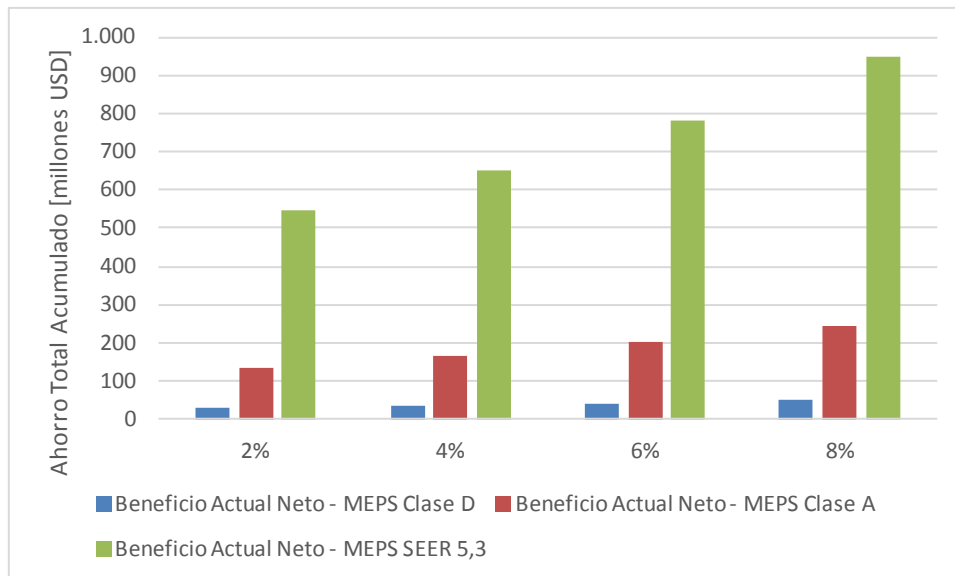
Figura 11: Ahorro per cápita asociado a distintas tasas de crecimiento y MEPS



Fuente: Elaboración propia

El aumento de la tasa de crecimiento en el ingreso de equipos al mercado también generaría beneficios a nivel nacional bajo cualquier caso de MEPS. El beneficio actual neto, calculado como el valor actual neto que considera los costos de los equipos y los ahorros en electricidad al año 2040, calculado para el año 2016 se presenta en la siguiente figura.

Figura 12: Beneficio Actual Neto – distintas tasas de crecimiento



Fuente: Elaboración propia

De las figuras y análisis anteriores se puede concluir que los cambios en la tasa de crecimiento del mercado de equipos de aire acondicionado afectan directamente a los resultados esperados a considerar con la implementación del MEPS. Lo que indicaría que cualquier actualización en la normativa debiese tomar en consideración esta variable y las consideraciones de los actores de mercado.

Precio de la Electricidad

El precio de la electricidad ha sido históricamente una variable de importancia al definir estrategias de eficiencia energética y para este caso no es excepción. Se analizará el efecto de los siguientes precios en el modelo:

- Chile : 0,167 USD/kWh
- Promedio OCDE⁷⁵ : 109,4 USD/MWh = 0,109 USD/kWh
- Unión Europea⁷⁶ : 0,2105 Euro/kWh = 0,2328 USD/kWh
- México⁷⁷ : 90,08 USD/MWh = 0,090 USD/kWh

En la siguiente tabla, se puede observar que las variaciones del precio de la energía sólo afectarían, como es lo esperado, sobre las variables directamente relacionadas, como lo son el pago de factura eléctrica y el costo del ciclo de vida.

Tabla 45: Efectos de variaciones de precio de la energía sobre la línea base

Variable	Línea Base			
	Chile	OCDE	UE	México
Eficiencia Promedio (EER)	3,0	3,0	3,0	3,0
Costo Equipo (USD)	628,6	628,6	628,6	628,6
UEC en kWh/año	875,6	875,6	875,6	875,6
Factura Eléctrica (USD)	146,0	95,4	203,8	78,8
Costo Ciclo de Vida (LCC)	1.174,8	985,7	1.391,2	923,5

Fuente: Elaboración propia

⁷⁵ Revisado online el 05-06-2016 en <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=221>

⁷⁶ Revisado online el 05-06-2016 en <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

⁷⁷ International Energy Agency - Key World Energy Statistics 2015

De la misma forma, al analizar el efecto de los cambios de tarifa sobre las opciones de recambio, es posible observar que estos cambios generan variaciones significativas en el período de recuperación de inversión.

Tabla 46: Efectos de variaciones de precio de la energía sobre distintas opciones de MEPS

Variable	Chile			OCDE			UE			México		
	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3
Factura Eléctrica (USD)	143,8	133,9	83,4	94,0	87,5	54,5	200,7	186,9	116,4	77,6	72,3	45,0
Costo Ciclo de Vida (LCC)	1.166,7	1.138,9	1.082,8	980,5	965,5	974,8	1.379,8	1.337,3	1.206,3	919,2	908,4	939,2
Payback (años)	0,1	0,8	2,3	0,1	1,2	3,5	0,1	0,6	1,6	0,2	1,4	4,2
Ahorros LCC (USD)	8,1	35,9	92,1	5,2	20,2	10,9	11,4	53,9	184,9	4,3	15,1	-15,8

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que el costo de la electricidad afecta directamente a la variable que describe el retorno de la inversión (payback), asociado a variables de pago de factura eléctrica y costo de ciclo de vida, ya que mientras menor sea el costo de la electricidad, mayor el tiempo en que la inversión se recuperará a través de los ahorros generados.

Horas de uso

Las horas de uso están definidas directamente por la zona climática en la cual se utilicen los equipos de aire acondicionado. Con tal de caracterizar el consumo energético bajo distintos requerimientos de uso, se han seleccionado distintas ciudades de Chile, representando las macrozonas conocidas como norte grande, norte chico, zona central, zona sur y zona austral. El requerimiento de horas de enfriamiento ha sido calculado de acuerdo a las temperaturas media, máxima absoluta y mínima absoluta, utilizando de referencia el año 2014. De esta forma, se modifica la variable UEC en el modelo PAMS con los siguientes valores:

Tabla 47: Horas de enfriamiento requerido y UEC resultante

Zona	Ciudad	Horas Año de enfriamiento [Horas]	UEC [kWh]
Norte Grande	Antofagasta	88	124,71

Norte Chico	La Serena	38	54,27
Zona Central	Santiago	620	875,64
Zona Sur	Valdivia	157	221,62
Zona Austral	Punta Arenas	19	26,73

Fuente: Elaboración propia

Estudiando el efecto de los distintos requerimientos de enfriamiento para las distintas zonas climáticas, es posible observar que cuando existen reducidos requerimientos de enfriamiento, no se recuperara la inversión de adquirir equipos más eficientes. Sólo en el caso que se establecieran MEPS bajo una clase D de eficiencia energética, podría justificarse la inversión para cada uno de los casos analizados, pues este estándar es el único que se justificaría en zonas con reducido requerimiento de frío como es el caso de la zona Austral.

Tabla 48: Evaluación de distintos UEC – Zona Norte

Variable	Norte Grande			Norte Chico		
	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3
UEC en kWh/año	122,8	114,4	71,2	53,4	49,8	31,0
Factura Eléctrica (USD)	20,5	19,1	11,9	8,9	8,3	5,2
Costo Ciclo de Vida (LCC)	705,4	709,4	815,3	662,2	669,1	790,2
Payback (años)	0,7	5,5	15,9	1,5	12,5	36,6
Ahorros LCC (USD)	1,0	- 3,0	- 108,9	0,3	- 6,6	- 127,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Evaluación de distintos UEC – Zona Central y Sur

Variable	Zona Central			Zona Sur			Zona Austral		
	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3
UEC en kWh/año	862,3	802,9	500,0	218,2	203,2	126,6	26,3	24,5	15,3
Factura Eléctrica (USD)	143,8	133,9	83,4	36,4	33,9	21,1	4,4	4,1	2,5
Costo Ciclo de Vida (LCC)	1.166,7	1.138,9	1.082,8	765,0	764,8	849,8	645,3	653,3	780,4
Payback (años)	0,1	0,8	2,3	0,4	3,1	9,0	3,1	25,4	74,4
Ahorros LCC (USD)	8,1	35,9	92,1	1,9	2,1	- 82,9	0,0	- 8,0	- 135,1

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que a pesar de haber incluido las macrozonas climáticas en el análisis, este tipo de variable requeriría un análisis más minucioso, puesto que cada una de las zonas climáticas podría subdividirse además en “microzonas” e identificar climas tales como: costero, valle central y cordillerano; lo que afectaría en gran medida al cálculo de las horas año de enfriamiento requeridas por zona.

Por otro lado, en el caso Europeo, el análisis considera no sólo las horas de enfriamiento, sino que también las horas de calefacción requeridas, lo que permitiría generar un análisis anual del uso de un equipo de aire acondicionado (para aquellos que cumplan funciones de frío/calor).

Precio de los equipos

Considerando la amplia dispersión en los precios de los equipos de aire acondicionado residencial y la amplia presencia de equipos Split, se considerarán las variaciones de precio de éstos. En base a la disponibilidad de equipos en el mercado y aquellos más comunes, se utilizará máximos y mínimos para los precios de unidades de aire acondicionado con una potencia entre 3 kW y 6 kW.

Precio mínimo: \$245.000 CLP = 363 USD

Precio máximo: \$614.000 CLP = 910 USD

Cabe destacar que las variaciones de precios observadas en los productos presentes en el mercado alcanzan diferencias cercanas al 200%.

Tabla 50: Comparación casos Base – Variación de precio en equipos

Variable	Línea Base		
	Precio = 363 USD	Precio = 629 USD	Precio = 910 USD
Eficiencia Promedio (EER)	3,0	3,0	3,0
Costo Equipo (USD)	363,0	628,6	909,7
UEC en kWh/año	875,6	875,6	882,1
Factura Eléctrica (USD)	146,0	146,0	147,1
Costo Ciclo de Vida (LCC)	909,2	1.174,8	1.459,9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se puede observar que para el caso de la línea base, el precio de los equipos afectaría sólo al cálculo del costo del ciclo de vida, puesto que las otras variables se comportan como parámetros.

Tabla 51: Comparación de MEPS – Variación de precio en equipos

Variable	Precio = 363 USD			Precio = 629 USD			Precio = 910 USD		
	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3	D	A	SEER 5,3
Eficiencia Promedio (EER)	3,1	3,3	5,3	3,1	3,3	5,3	3,1	3,3	5,3
Costo Equipo (USD)	363,1	368,4	445,1	628,8	638,1	770,9	910,0	923,3	1.115,6
UEC en kWh/año	862,3	802,9	500,0	862,3	802,9	500,0	862,3	802,9	500,0
Factura Eléctrica (USD)	143,8	133,9	83,4	143,8	133,9	83,4	143,8	133,9	83,4
Costo Ciclo de Vida (LCC)	901,0	869,2	757,0	1.166,7	1.138,9	1.082,8	1.447,9	1.424,2	1.427,4
Mejora en Eficiencia	2%	9%	75%	0,0	0,1	0,8	2%	9%	75%
Payback (años)	0,1	0,4	1,3	0,1	0,8	2,3	0,1	1,1	3,3
Ahorros LCC (USD)	8,2	39,9	152,2	8,1	35,9	92,1	8,0	31,7	28,5

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la mayoría de las variables analizadas anteriormente, se puede observar que la variación en los precios del equipo afecta directamente al Costo del Ciclo de Vida, influyendo directamente en sus ahorros y período de recuperación de inversión.

Tasa de descuento del cliente

La tasa de descuento del cliente utilizada originalmente es el promedio de las tasas de interés de los créditos de consumo correspondientes al año 2015, de acuerdo al Banco Central de Chile, equivalente a un 23,49%. Sin embargo es un valor que presenta una volatilidad importante y, considerando un período más extendido, el valor promedio del año 2015 se encuentra por debajo de promedios históricos.

Por otra parte, la tasa de descuento de clientes correspondientes solo al sector comercial es menor al promedio considerado.

Dadas las consideraciones anteriores, y utilizando la información del Banco Central de Chile del período comprendido entre enero de 2013 y diciembre de 2015, se analiza el efecto de los siguientes valores para la tasa de descuento.

- Tasa de descuento, valor mínimo (2013 – 2015): 22,71%
- Tasa de descuento, valor promedio (2013 – 2015): 25,16%
- Tasa de descuento, valor máximo (2013 – 2015): 27,46%
- Tasa de descuento cliente comerciales, valor promedio (2013 – 2015): 7,97%

A continuación se presenta la línea base para las diferentes tasas de descuento, donde se destaca que solo el costo del ciclo de vida presenta variaciones y el resto de las variables se comportan como parámetros.

Tabla 52: Comparación casos Base - Variación de tasa de descuento de clientes

Variable	Línea Base				
	Actual 23,49%	Mínimo 22,71%	Promedio 25,16%	Máximo 27,46%	Promedio Comercio 7,97%
Eficiencia Promedio (EER)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Costo Equipo (USD)	628,6	628,6	628,6	628,6	628,6
UEC en kWh/año	875,6	875,6	875,6	875,6	875,6
Factura Eléctrica (USD)	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0
Costo Ciclo de Vida (LCC)	1.174,8	1.188,5	1.147,4	1.113,3	1.609,6

Fuente: Elaboración propia

De forma consistente a los casos base, la comparación de las distintas opciones de MEPS, en relación a las tasas de descuento propuestas, muestra variaciones tanto en los costos como en los ahorros del ciclo de vida (LCC). Esto se debe a que el modelo no considera distorsiones en las proyecciones de ventas en base a la tasa de descuento.

Tabla 53: Comparación de MEPS - Variación de tasas de descuento de clientes

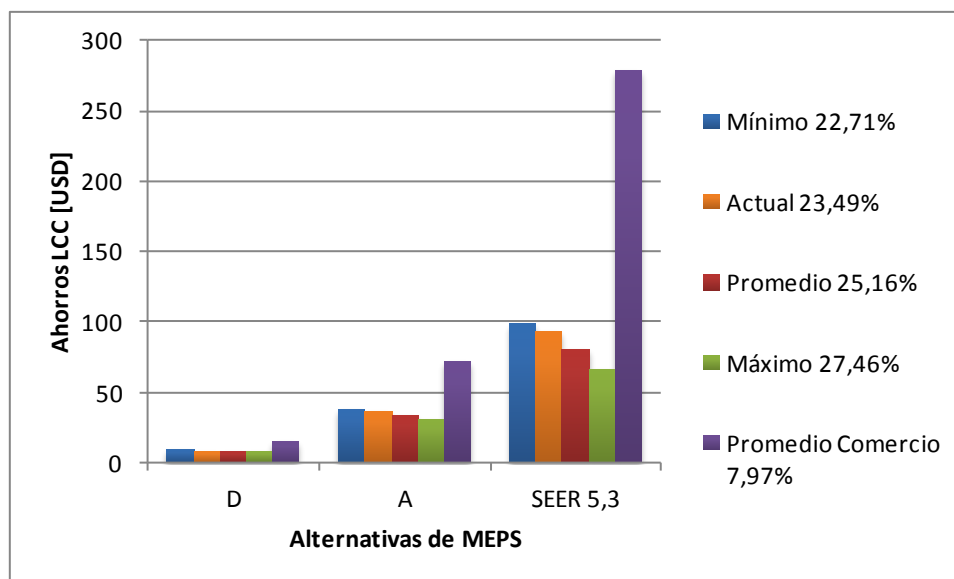
Casos de análisis		Factura Eléctrica (USD)	Costo Ciclo de Vida (LCC)	Payback (años)	Ahorros LCC (USD)
Actual 23,49%	D	143,77	1166,70	0,09	8,11
	A	133,87	1138,86	0,78	35,94
	SEER 5,3	83,37	1082,75	2,27	92,05
Mínimo 22,71%	D	3,07	628,85	0,09	8,32
	A	3,30	638,05	0,78	37,08
	SEER 5,3	5,30	770,87	2,27	97,91
Promedio 25,16%	D	3,07	628,85	0,09	7,69
	A	3,30	638,05	0,78	33,67
	SEER 5,3	5,30	770,87	2,27	80,29
Máximo 27,46%	D	3,07	628,85	0,09	7,17
	A	3,30	638,05	0,78	30,84
	SEER 5,3	5,30	770,87	2,27	65,68
Promedio	D	3,07	628,85	0,09	14,73

Casos de análisis		Factura Eléctrica (USD)	Costo Ciclo de Vida (LCC)	Payback (años)	Ahorros LCC (USD)
Comercio 7,97%	A	3,30	638,05	0,78	72,05
	SEER 5,3	5,30	770,87	2,27	278,57

Fuente: Elaboración propia

Para las distintas opciones de MEPS es posible encontrar diferencias en los escenarios propuestos de tasas de descuento de clientes, tanto para los costos de ciclo de vida como para ahorros LCC. A continuación se muestran los ahorros LCC para las distintas opciones del MEPS y su variación de acuerdo a las tasas de descuento de clientes, donde es posible observar dicha diferencia.

Figura 13: Ahorros LCC - Variación de tasas de descuento de cliente



Fuente: Elaboración propia

De la figura y análisis anterior es posible concluir que los ahorros del ciclo de vida se ven directamente afectados por la tasa de descuento, particularmente notorio en la comparación con la tasa de descuento de clientes del sector comercial. Haciéndose evidente que para alternativas de MEPS más eficientes, cambios en la tasa de descuento generan mayores impactos en los ahorros LCC.

De los análisis anteriores se pudo observar que la variable con comportamiento más crítico está asociada a las Horas de Uso de los Equipos y su consumo anual asociado.

4.4 Consideraciones para una propuesta de estándar mínimo de eficiencia energética

En Europa, la clasificación energética de las bombas de calor considera aspectos de la operación del equipo a cargas parciales y consumo de energía por activación del termostato, denominados factor de eficiencia energética estacional (SEER) para el modo de frío y coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) para el modo de calentamiento⁷⁸. A partir del año 2013 se han establecidos los siguientes rangos para el modo de enfriamiento (SEER) y para el modo de calentamiento de la bomba de calor (SCOP) para potencias menores a 12 kW.

Tabla 54: Clases de Eficiencia Energética utilizadas en Europa

Clase de Eficiencia Energética	SEER	SCOP
A+++	SEER \geq 8,50	SCOP \geq 5,10
A++	6,10 \leq SEER < 8,50	4,60 \leq SCOP < 5,10
A+	5,60 \leq SEER < 6,10	4,00 \leq SCOP < 4,60
A	5,10 \leq SEER < 5,60	3,40 \leq SCOP < 4,00
B	4,60 \leq SEER < 5,10	3,10 \leq SCOP < 3,40
C	4,10 \leq SEER < 4,60	2,80 \leq SCOP < 3,10
D	3,60 \leq SEER < 4,10	2,50 \leq SCOP < 2,80
E	3,10 \leq SEER < 3,60	2,20 \leq SCOP < 2,50
F	2,60 \leq SEER < 3,10	1,90 \leq SCOP < 2,20
G	SEER < 2,60	SCOP < 1,90

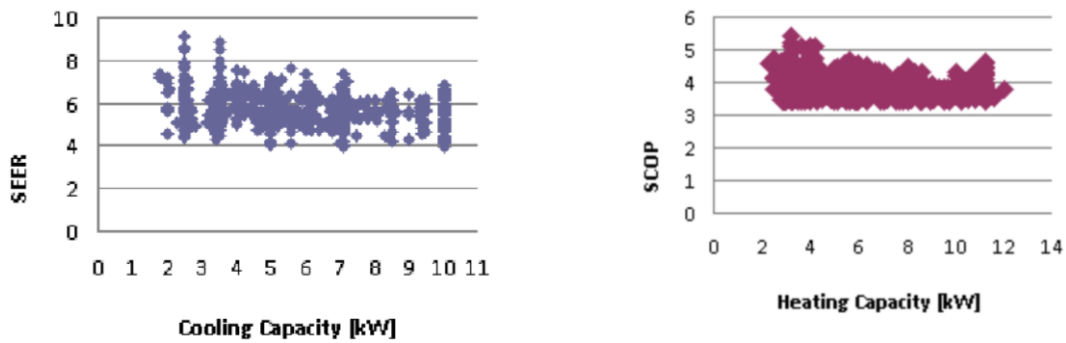
Fuente: Reglamento Delegado (UE) n° 626/2011 de la Comisión Europea

Con el objetivo de verificar los niveles actuales de factores de eficiencia energética estacional y los coeficientes de rendimiento estacional de los respectivos equipos certificados en Europa, a continuación, se muestran gráficos preparados por Comité Europeo de Fabricantes de Equipos de Tratamiento de Aire y Refrigeración (Eurovent⁷⁹) donde se muestra los rangos de variación en función de la potencia de las bombas de calor.

⁷⁸ A diferencia de los parámetros de coeficiente de eficiencia energética (EER / COP) en donde se establece la tasa de energía aprovechada por parte del equipo en su funcionamiento a plena carga respecto del consumo energético demandado

⁷⁹ Comité Europeo de Fabricantes de Equipos de Tratamiento de Aire y Refrigeración, es la Asociación Europea que agrupa a las asociaciones nacionales de fabricantes de los citados equipos.

Figura 14: Variación tecnológica en Bombas de Calor

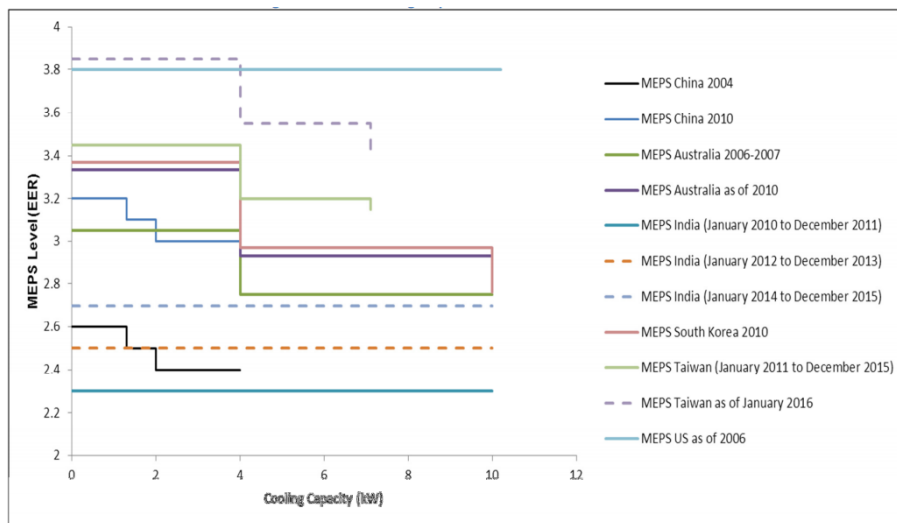


Fuente: Eurovent

Los gráficos anteriores muestran el rango de variación tecnológica de las respectivas bombas de calor para diferentes potencias de enfriamiento y de calefacción respectivamente.

En cuanto a los estándares mínimos de desempeño energético (MEPS), la siguiente figura del estudio “COOLING BENCHMARKING⁸⁰” de junio 2011 desarrollado por un conjunto de instituciones lideradas por “The Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP)” muestra de manera comparativa los rangos adoptados por diferentes tipos de economía para diferentes potencias de enfriamiento. La métrica utilizada corresponde a los valores de enfriamiento a capacidad máxima de enfriamiento EER, asimismo, se observa que la comunidad europea no está incluida desde que este estándar está incorporado en la directiva de productos “Ecodesign”. Por otra parte, en lo que respecta a Japón, la métrica utilizada por este país corresponde al factor de desempeño anual (APF).

Figura 15: Niveles de MEPS para distintos países

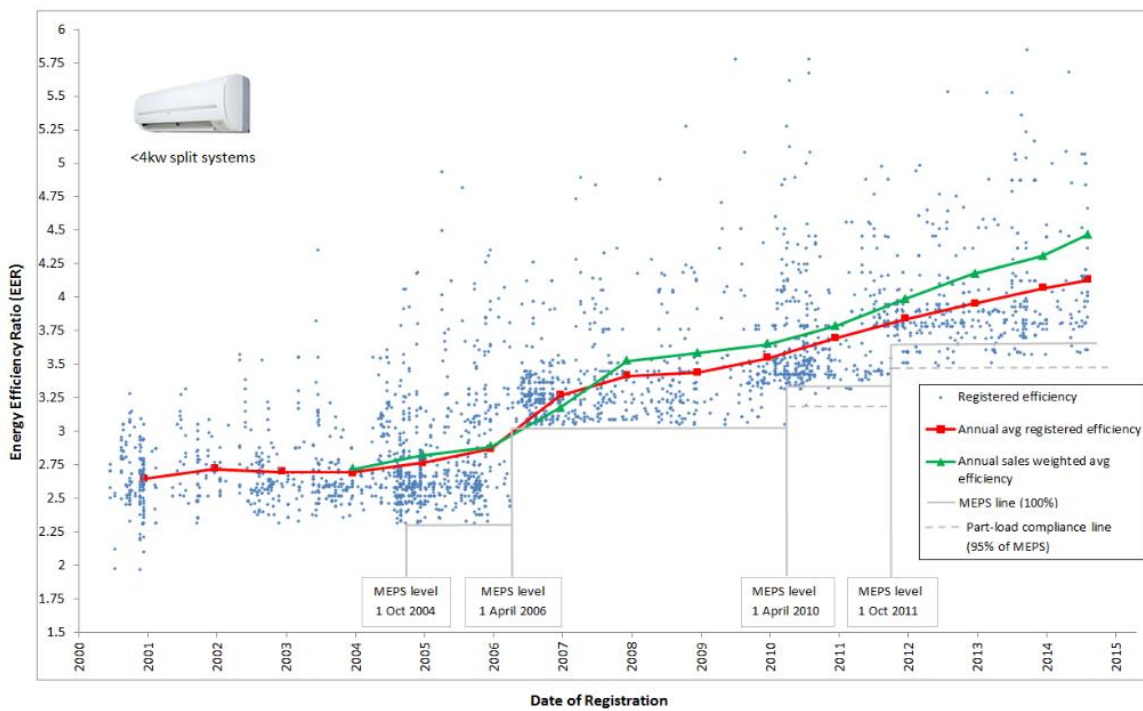


Fuente: CLASP

⁸⁰ <http://clasp.ngo/Resources/Resources/PublicationLibrary/2012/Cooling-Benchmarking-Study#files>

Cuando se analiza la tasa de crecimiento del EER de los países con grandes economías en el período de 1996 hasta el 2010, se observa que el incremento en este período ha sido de un 20%. Esto, por mejoras tecnológicas tales como la introducción de compresores con capacidad variable en el período de 1980 – 1990, la utilización de compresores INVERTER AC en torno del año 2000 y a partir del año 2007 el uso del compresor INVERTER DC. En estas circunstancias, se ha estimado que la influencia de los MEPS en el incremento anual del EER ha sido de un 3% desde el año 2000. La evolución para la realidad de Australia es mostrada a continuación para equipos Split menores a 4 kW.

Figura 16: Medias anuales de Eficiencia EER



Fuente: CLASP

Como se observa, a pesar de la gran dispersión de los datos de la EER las medias anuales de eficiencia aumentan sistemáticamente y el valor establecido para los MEPS desde el año 2006 hasta el 2010 aumenta a una tasa 6,5% y desde el 2010 hasta fines del 2011 a una tasa de 10,6%.

La figura anterior es concordante con la información de importantes fabricantes que reportan equipos split con tecnología inverter con EER del orden de 5,63 o aún 6,1. En estas circunstancias, para Chile, un valor de MEPS (según la métrica EER) entre 3,1 y 3,7 es perfectamente factible de considerar toda vez que el rango inferior se utiliza desde 2006 en países desarrollados. No obstante lo anterior, un valor de 3,3 debiera de ser el techo mínimo considerando que no es ni el más exigente, relativo a países de mayor economía, ni el menor.

4.5 Recomendaciones derivadas del estudio

La definición de los estándares mínimos de eficiencia energética surge de la consideración de las características del mercado y sus participantes, es por ello que, al identificar una oferta prácticamente inexistente para equipos que clasifiquen bajo las categorías F y G, se estima que la implementación del MEPS debiese utilizar como punto de inicio la clase E de eficiencia energética.

Desde la definición de un MEPS hasta su implementación, es necesario considerar una variable temporal que permita al mercado adaptarse a esta nueva normativa. En la experiencia internacional se observan casos que utilizan períodos de un año entre la definición y la implementación, aunque no es extraño encontrar ejemplos que llegan hasta tres años entre la definición de un estándar mínimo de eficiencia y su ejecución y entrada en vigencia⁸¹. Este período de “adaptación” permite a los distintos actores del mercado (fabricantes, importadores y distribuidores) generar los cambios necesarios para cumplir con la nueva normativa.

De la misma forma, el estudio propone considerar e incorporar las métricas utilizadas a nivel internacional, como lo son el SEER para el modo frío y SCOP para el modo de calentamiento, o en su defecto, la inclusión de métricas que permitan visualizar de una mejor forma los cambios tecnológicos como lo son la razón EER/COP, o en su defecto, su equivalente estacional SEER/SCOP.

De esta forma, se proponen los siguientes MEPS para los equipos de Aire Acondicionado de acuerdo a la normativa vigente, además de la inclusión de nuevas clases de Eficiencia Energética⁸².

Tabla 55: Actualización propuesta a la normativa vigente – Equipos divididos

Clase de EE	Divididos con una unidad interior y una unidad exterior	Entrada en vigencia MEPS
A+++	$4,10 < IEE$	
A++	$3,80 < IEE \leq 4,10$	
A+	$3,50 < IEE \leq 3,80$	
A	$3,20 < IEE \leq 3,50$	MEPS A = 3,20 01 de Julio de 2019
B	$3,00 < IEE \leq 3,20$	MEPS B = 3,00 01 de Julio de 2018
C	$2,80 < IEE \leq 3,00$	
D	$2,60 < IEE \leq 2,80$	
E	$2,40 < IEE \leq 2,60$	
F	$2,20 < IEE \leq 2,40$	
G	$IEE \leq 2,20$	

Fuente: Elaboración propia

⁸¹ Casos de Argentina y Unión Europea

⁸² Las fechas planteadas consideran la entrada en vigor las MEPS en meses de invierno, con tal de no afectar los mayores períodos de venta de los equipos.

Tabla 56: Actualización propuesta a la normativa vigente – Equipos compactos

Clase de EE	Equipos Compactos	Entrada en vigencia MEPS
A+++	3,90 < IEE	
A++	3,60 < IEE ≤ 3,90	
A+	3,30 < IEE ≤ 3,60	
A	3,00 < IEE ≤ 3,30	MEPS A = 3,00 01 de Julio de 2019
B	2,80 < IEE ≤ 3,00	MEPS B = 2,80 01 de Julio de 2018
C	2,60 < IEE ≤ 2,80	
D	2,40 < IEE ≤ 2,60	
E	2,20 < IEE ≤ 2,40	
F	2,00 < IEE ≤ 2,20	
G	IEE ≤ 2,00	

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, ampliando los alcances del estudio, a futuro, se estima conveniente unificar las categorías de eficiencia energética bajo una misma métrica estacional. Utilizando una aproximación simple publicada por el Departamento de Energía de EEUU⁸³ y a la vez, utilizando las actuales clases de eficiencia energética utilizadas en Europa, se estima que la categoría establecida por el último MEPS planteado, clasificaría bajo la clase E, utilizando métricas estacionales.

$$IEE = 1,12 * SEER - 0,02 * SEER^2$$

Tabla 57: Actualización propuesta a la normativa vigente – Métricas estacionales

Clase de EE	Acondicionadores de Aire de velocidad variable SEER
A+++	8,50 < SEER
A++	6,10 < SEER ≤ 8,50
A+	5,60 < SEER ≤ 6,10
A	5,10 < SEER ≤ 5,60
B	4,60 < SEER ≤ 5,10
C	4,10 < SEER ≤ 4,60
D	3,60 < SEER ≤ 4,10
E	3,10 < SEER ≤ 3,60
F	2,60 < SEER ≤ 3,10
G	SEER ≤ 2,60

Fuente: Elaboración propia

De esto, se considera recomendable incluir a modo de marcha blanca, la categorización de los equipos de aire acondicionado bajo métricas estacionales en la actualización de la normativa, y

⁸³ http://www.power-calculation.com/EER_SEER_COP_conversion_air_conditioning.php

que ésta, obtenga carácter obligatorio, al terminar la implementación de los MEPS planteados anteriormente.

Tabla 58: Actualización propuesta a la normativa vigente – Métricas estacionales

Clase de EE	Acondicionadores de Aire SEER
A+++	$8,50 < SEER$
A++	$6,10 < SEER \leq 8,50$
A+	$5,60 < SEER \leq 6,10$
A	$5,10 < SEER \leq 5,60$
B	$4,60 < SEER \leq 5,10$
C	$4,10 < SEER \leq 4,60$
D	$3,60 < SEER \leq 4,10$
E	$3,10 \leq SEER$

Fuente: Elaboración propia

Programación Propuesta para la Implementación

A continuación se presenta una calendarización para las actividades propuestas en el marco de la implementación de las MEPS y su entrada en vigencia.

Tabla 59: Programación propuesta para Implementación de MEPS

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Publicación MEPS	Entrada en vigor MEPS B	Entrada en vigor MEPS A				Entrada en vigor nuevas clases EE
Publicación normativa actualizada						

Fuente: Elaboración propia

5. Propuesta de implementación de un estándar mínimo de eficiencia energética para Chile

Considerando las recomendaciones surgidas del estudio, la evaluación de los distintos escenarios y las variables locales, tales como la disponibilidad de laboratorios, tipos de normas utilizadas y disponibilidad de tecnología en el mercado nacional es que se propondrá el estándar de eficiencia energética para aires acondicionados en Chile.

La evaluación realizada para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en aires acondicionados entrega resultados positivos para un nivel de eficiencia energética desde un nivel D hacia clase superiores, maximizando los beneficios en la categoría A. Incluso, en la proyección realizada, se estima que en niveles superiores de eficiencia energética, tales como el nivel definido SEER 5,3, que maximiza los beneficios a nivel individual, o el nivel SEER 8, que maximiza beneficios a nivel nacional, son aspiraciones que requieren de modificaciones normativas ya que las métricas no son las que se utilizan actualmente para medir la eficiencia energética de los aires acondicionados.

A nivel internacional, la mayoría de los países desarrollados poseen políticas de estándares mínimos de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado, y realizan actualizaciones de manera periódica para aumentar las exigencias.

Para el caso chileno, la existencia de una etiqueta de eficiencia energética permite definir un estándar de rendimiento energético de manera transparente, en base a los antecedentes existentes en el mercado. Y de acuerdo a la evaluación técnica y económica realizada, en base a las actuales exigencias de etiquetado de eficiencia energética, el estándar mínimo que más beneficio traería al país sería establecimiento del MEPS en la categoría A.

En resumen, el Ministerio de Energía propone como estándar mínimo de eficiencia energética para aires acondicionados lo siguiente:

“No se podrán comercializar, por parte del fabricante y/o importador, aquellos acondicionadores de aire, de acuerdo al alcance y campo de aplicación de la norma ISO 5151:1994, monofásicos, de expansión directa de gas refrigerante, tipo dividido o tipo unidad, sin distribución de aire por ductos, hasta una potencia térmica de 12 kW (42000 Btu/h) y que sean condensados por aire, de acuerdo al siguiente cronograma:

Acondicionadores de aire divididos con una unidad interior y una unidad exterior que tengan una clasificación energética inferior a B, lo que es equivalente a que solamente se podrán comercializar aquellos acondicionadores de aire con un índice de eficiencia energética (IEE) superior a 3,00 transcurridos 9 meses desde la dictación de la resolución.

Acondicionadores de aire divididos con una unidad interior y una unidad exterior que tengan una clasificación energética inferior a A, lo que es equivalente a que solamente se podrán comercializar aquellos acondicionadores de aire con un índice de eficiencia energética (IEE) superior a 3,20 transcurridos 21 meses desde la dictación de la resolución.

Acondicionadores de aire compactos tengan una clasificación energética inferior a B, lo que es equivalente a que solamente se podrán comercializar aquellos acondicionadores de aire con un índice de eficiencia energética (IEE) superior a 2,80 transcurridos 9 meses desde la dictación de la resolución.

Acondicionadores de aire compactos que tengan una clasificación energética inferior a A, lo que es equivalente a que solamente se podrán comercializar aquellos acondicionadores de aire con un índice de eficiencia energética (IEE) superior a 3,00 transcurridos 21 meses desde la dictación de la resolución.

Resumen:

Clase de EE	Divididos con una unidad interior y una unidad exterior	Compactos	
A	$3,20 < \text{IEE}$	$3,00 < \text{IEE}$	
B	$3,20 \geq \text{IEE} > 3,00$	$3,00 \geq \text{IEE} > 2,80$	Se prohíbe su comercialización a partir de 21 meses desde la dictación de la resolución
C	$3,00 \geq \text{IEE} > 2,80$	$2,80 \geq \text{IEE} > 2,60$	Se prohíbe su comercialización a partir de 9 meses desde la dictación de la resolución
D	$2,80 \geq \text{IEE} > 2,60$	$2,60 \geq \text{IEE} > 2,40$	
E	$2,60 \geq \text{IEE} > 2,40$	$2,40 \geq \text{IEE} > 2,20$	
F	$2,40 \geq \text{IEE} > 2,20$	$2,20 \geq \text{IEE} > 2,00$	
G	$2,20 \geq \text{IEE}$	$2,00 \geq \text{IEE}$	

”

6. Anexos

6.1 Supuestos y fórmulas utilizadas para el cálculo de los resultados en modelo PAMS

Los siguientes datos fueron recolectados en orden a desarrollar el análisis técnico-económico:

- Precios de venta, eficiencia y categoría de potencia en el mercado.
- Datos de uso (cantidad de horas por año)
- Datos de importaciones de motores, y penetración de modelos eficientes en el mercado.

Usando estos datos, PAMS calculó los costos y beneficios de los estándares de eficiencia energética desde dos perspectivas diferentes:

- El cálculo del Costo del Ciclo de Vida (LCC) que examina costos y beneficios para un equipo en particular, desde el punto de vista de su usuario.
- La Perspectiva Nacional que considera los impactos totales a nivel nacional de los costos y beneficios, desde el punto de vista del Estado. Los cálculos de la Perspectiva Nacional son llamados cálculos de Ahorros Nacionales de Energía (NES) y Valor Presente Neto (NPV). PAMS también calcula el total de emisiones mitigadas y la capacidad de generación evitada.

COSTO DE CICLO DE VIDA

Este está dado por:

$$LCC = EC + \sum_{n=1}^L \frac{OC}{(1 + DR)^n}$$

Donde EC es el costo del equipo (precio de venta en retail), n es en número de años de operación, OC es el costo anual de operación, y DR es la tasa de descuento del consumidor. El Costo de operación es sumado cada año del ciclo de vida del producto L. El costo de operación es calculado al multiplicar la Unidad de Consumo Energético (UEC, en kWh al año, es decir, multiplicado por un factor igual a 365/1000) por el precio de la energía (P, en dólares por kWh) como sigue:

$$OC = UEC \times P$$

La Unidad de Consumo Energético se asume constante año a año, mientras que el precio de la energía aumenta según un factor que será sensibilizado. El hecho que los costos futuros son menos importantes que los costos de corto plazo se toma en cuenta al dividir los costos futuros de operación por un factor de descuento $(1+DR)^n$.

IMPACTOS NACIONALES

A nivel nacional se calculan cuatro beneficios

AHORRO DE ENERGÍA NETOS EN EL LUGAR DE USO (NES) Y VALOR ACTUAL NETO (NPV)

PAMS Calcula NES según la siguiente formula.

$$NES = NEC_{Base} - NEC_{MEPS}$$

Donde NEC_{Base} corresponde al consumo neto de energía en el caso base, es decir, sin que se implemente el MEPS, y NEC_{MEPS} es el consumo neto de energía en el caso de implementar el MEPS. Este valor se multiplica por el precio de la energía de cada año.

A esto se le suma el aumento de costo y gasto nacional debido al aumento del precio de compra de los motores en cada año y las ventas de motores en cada año en particular, las cuales fueron proyectadas con base en las importaciones, como se explicó anteriormente.

Así, teniendo el aumento de costo por compra de motores y los ahorros causados por aumento de eficiencia, se descuentan estos flujos a la tasa de descuento nacional, para obtener el Valor Actual Neto NPV.

LOS AHORROS DE ENERGÍA PRIMARIA (PES)

Estos se calculan de a partir de los NES, teniendo en cuenta la mezcla de combustible en la generación de electricidad y las pérdidas por transmisión y distribución (T&D). La fórmula para PES es:

$$PES = \frac{NES}{(1 - TD)} \times HR$$

Donde TD es la fracción de energía pérdida en transmisión y distribución, y HR es la tasa de electricidad producida en sistemas térmicos (heat rate).

REDUCCIÓN DE EMISIONES

Total de reducciones de CO2 en millones de toneladas (Mt) se calcula de acuerdo a la emisión media por kWh generado en el país al momento del estudio.

Los ahorros en emisiones de dióxido de carbono (CES) son calculados desde los ahorros de energía, aplicándose un factor de carbono a los ahorros de acuerdo a:

$$CES = \frac{NES}{(1 - TD)} \times CF$$

CAPACIDAD DE GENERACIÓN EVITADA

La capacidad evitada se calcula en el año donde los ahorros son de mayor importancia y representan la potencia instantánea ahorrada a nivel nacional durante el peak de consumo. Los ahorros de sitio se convierten en electricidad generada al usar los porcentajes de pérdida de transmisión y distribución, TD. Entonces la energía producida se convierte en la reducción de demanda máxima de acuerdo a:

$$Q = \frac{Max(NES)}{1 - TD} \times \frac{1}{8760} \times \frac{PK}{U}$$

En esta ecuación, 8760 es el número de horas del año. PK es el factor de coincidencia del peak, asumido en 100%, y el factor U es el porcentaje del tiempo en que los motores son usados.