



**Programa de las
Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**

Distr.
GENERAL

UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42
29 de abril de 2019

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLÉS

COMITÉ EJECUTIVO DEL FONDO MULTILATERAL
PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO DE MONTREAL
Octogésima tercera Reunión
Montreal, 27-31 de mayo de 2019

**RESUMEN DEL INFORME DEL GRUPO DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA Y
ECONÓMICA SOBRE ASUNTOS RELACIONADOS CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LO QUE RESPECTA A LAS CUESTIONES MENCIONADAS EN LA DECISIÓN 82/83(E)
(DECISIÓN 82/83(F))**

Antecedentes

1. En la 82ª reunión, el Comité Ejecutivo sometió a consideración el resumen elaborado por la Secretaría de las deliberaciones que sostuvieron las Partes durante la 40ª Reunión del Grupo de trabajo de composición abierta y la 30ª Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal en relación con el informe sobre eficiencia energética elaborado por el GETE.¹
2. Tras deliberar, el Comité Ejecutivo resolvió, entre otros:
 - e) Abordar en la 83ª reunión las formas de llevar a la práctica los párrafos 22 de la decisión XXVIII/2 y 5 y 6 de la decisión XXX/5, incluyendo:
 - i) Iniciativas relativas a mantener y/o mejorar la eficiencia energética de tecnologías sustitutivas con bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico (PCA) en los sectores refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor, tales como:
 - a. Metodologías de cuantificación de cambios en la eficiencia energética; y
 - b. Intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética;
 - ii) Cuestiones relativas a los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 y Add.1.

supervisión y verificación;

- iii) Posibles beneficios ambientales, especialmente los relativos al clima; y
- (f) Solicitar a la Secretaría, para su consideración por parte del Comité Ejecutivo en la 83ª reunión, un resumen del Informe del Grupo de evaluación tecnológica y económica (GETE) sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en lo que respecta a las cuestiones mencionadas en el inciso e) precedente (decisión 82/83).

Análisis de la decisión 82/83(e) y (f)

3. La decisión 82/83(e) y (f) cita párrafos específicos de dos decisiones adoptadas por las Reuniones de las Partes:

- a) Párrafo 22, decisión XXVIII/2: Solicitar al Comité Ejecutivo fijar pautas relativas a los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos y tecnologías sustitutivas de bajo o nulo PCA en el marco de la reducción de HFC y tomar nota, cuando corresponda, de la labor de otras instituciones que se ocupan de la eficiencia energética;
- b) Párrafo 5, decisión XXX/5: Solicitar al Comité Ejecutivo continuar su labor de analizar proyectos de servicio y mantenimiento a fin de determinar mejores prácticas, experiencias recogidas y oportunidades para mantener la eficiencia energética en el sector de servicio técnico, así como los costos correspondientes; y
- c) Párrafo 6, decisión XXX/5: Solicitar al Comité Ejecutivo considerar la información obtenida de proyectos piloto y autónomos a fin de fijar pautas relativas a los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos y tecnologías sustitutivas en el marco de la reducción de HFC.

4. Al incorporar el texto de dichas decisiones, en lo sustantivo la decisión 82/83(e) y (f) quedaría como sigue:

Solicitar a la Secretaría, para su consideración en la 83ª reunión, un resumen del Informe elaborado en virtud de la decisión XXIX/10 por el Equipo de Tareas del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en el marco de la reducción de HFC, de modo que el Comité Ejecutivo pueda discutir:

- a) El desarrollo de orientaciones sobre los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor que se conviertan de HFC a tecnologías de bajo o nulo PCA, las que deberán:
 - i) Incluir iniciativas tales como metodologías de cuantificación de cambios en la eficiencia energética e intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética;
 - ii) Incluir los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de supervisión y verificación;
 - iii) Incluir los posibles beneficios ambientales, especialmente los relativos al clima;
 - iv) Tomar en consideración la información obtenida de proyectos piloto para la introducción de tecnologías de bajo PCA en países del artículo 5 y de proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados por el Comité Ejecutivo;

- v) Tomar en consideración el papel de otras instituciones que se ocupan de la eficiencia energética, cuando proceda; y
 - b) Mantener u optimizar la eficiencia energética en el marco de la reducción de HFC en el sector servicio técnico de equipos de refrigeración, considerando mejores prácticas, experiencias recogidas y oportunidades para mantener la eficiencia energética extraídas de los actuales planes del sector servicio técnico de equipos de refrigeración.
5. Atendido lo anterior y en respuesta a la decisión 82/83(e) y (f), la Secretaría elaboró el presente documento.

Alcance

6. El presente documento consta de las siguientes secciones:

Sección I	Resumen de los principales aspectos del Informe del Equipo de Tareas del GETE respecto de los párrafos (e) y (f) de la decisión 82/83
Sección II	Introducción a la eficiencia energética en el marco de la reducción de los HFC y la adopción de tecnologías de bajo y nulo PCA
Sección III	Intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética
Sección IV	Cuestiones relativas a los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de supervisión y verificación
Sección V	Beneficios ambientales en términos de CO ₂ equivalente
Sección VI	Proyectos piloto para la introducción de tecnologías de bajo PCA y proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC
Anexo I	Glosario de términos utilizados en el Informe del Equipo de Tareas del GETE, con algunas explicaciones (de fácil referencia para consultar la terminología utilizada en el documento)

7. Conforme a lo dispuesto en la decisión 82/83(f), la información contenida en el presente documento es un extracto del Informe elaborado en virtud de la decisión XXIX/10 por el Equipo de Tareas del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en el marco de la reducción gradual de HFC.² Tras recibir los aportes de un experto independiente que leyó el presente documento, se introdujeron algunos cambios menores y se agregaron algunas aclaraciones y antecedentes adicionales. La información que se entrega no sigue la misma secuencia que el Informe del Equipo de Tareas del GETE ni se ofrece información de otras fuentes, dado que ello no estaba contemplado en la decisión.

8. El Comité Ejecutivo podrá estimar oportuno tomar nota de que a lo requerido en el párrafo 5 de la decisión XXX/5 se le dio pleno cumplimiento en los siguientes dos documentos, por lo que el presente documento no aborda materias relativas al sector servicio técnico de equipos de refrigeración:

² El Informe del Equipo de Tareas del GETE incluye un Anexo A sobre las dificultades específicas en cada sector para la adopción de tecnologías. La mayor parte de la información sobre el tema se aborda en la Sección III del presente documento.

- a) Documento preliminar sobre todos los aspectos relacionados con el sector de servicio y mantenimiento de refrigeración que apoyan la reducción de los HFC (decisión 80/76(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64); y
- b) Documento sobre formas de llevar a la práctica los párrafos 16 de la decisión XXVIII/2 y 2 de la decisión XXX/5 de las Partes (decisión 82/83(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40).

9. El Comité Ejecutivo podrá además estimar oportuno tomar nota de que el tema del papel de otras instituciones que se ocupan de la eficiencia energética se abordó en el “Documento sobre fondos e instituciones financieras que movilicen recursos para la eficiencia energética factibles de utilizar en el marco de la reducción de HFC (decisión 82/83(d))” (UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/41), por lo que no está considerado en el presente documento.

I. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DEL INFORME DEL EQUIPO DE TAREAS DEL GETE

10. La orientación histórica del Protocolo de Montreal hacia la eliminación de SAO trajo consigo un incremento en la eficiencia energética de equipos y productos.³ Durante la transición a refrigerantes alternativos la industria se esforzó por optimizar el diseño de equipos y componentes al alcance del bolsillo del consumidor, lo que con el correr del tiempo generó productos más ecoenergéticos a menores precios. Los sistemas de climatización reciben cada vez más atención debido a la necesidad de cambiar la tecnología refrigerante, por lo que se están haciendo esfuerzos para optimizar sistemas y componentes a fin de lograr un consumo ecoenergético con nuevos refrigerantes. Los sistemas de precio, facturación y rotulación son factores importantes en la adopción de tecnologías ecoenergéticas.

11. El mayor potencial para aumentar la eficiencia energética radica en un mejor diseño total de sistemas y componentes, lo que respecto de una base de comparación puede lograr mejoras que fluctúan entre el 10% y el 70% para unidades de primer nivel. Aportan al ahorro energético los enfoques integrales en diseño y selección de equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor que minimizan las cargas de refrigeración/calefacción, utilizan el refrigerante más idóneo y componentes ecoenergéticos, y están diseñados para optimizar el control y operación bajo condiciones operativas y características comunes que facilitan el servicio y mantenimiento. Ello reduce la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante la vida útil de los equipos, reduce los costos energéticos para el usuario final y presiona a la baja la demanda de punta, y con ello la inversión en capacidad de generación y distribución eléctrica.

12. La selección de un refrigerante es una fórmula de compromiso entre beneficio ambiental, seguridad, eficiencia del ciclo termodinámico, diseño del sistema, confiabilidad y costo. El efecto del refrigerante en la eficiencia energética de una unidad generalmente no supera +/- 5 a 10%.

13. En cuanto a intervenciones técnicas destinadas a mantener u optimizar la eficiencia energética, los ambientes donde imperan las altas temperaturas imponen un conjunto adicional de dificultades para la selección de refrigerantes, diseño del sistema y mejora potencial de la eficiencia. A alta temperatura ambiente, los sistemas capaces de mantener la eficiencia se ven afectados por la opción de refrigerante debido a sus propiedades termodinámicas, a las normas de seguridad exigidas por la mayor carga y a la disponibilidad y costo de los componentes. Los estudios en condiciones de alta temperatura ambiente realizados a la fecha han demostrado la capacidad de ciertas alternativas de bajo PCA para entregar resultados comparables a las actuales tecnologías. Están en curso otros estudios y esfuerzos a nivel del sector privado que se orientan a optimizar los diseños para lograr determinadas eficiencias para estas

³ El Protocolo de Montreal ha generado una mejora gradual de la eficiencia energética. Si bien ello también ocurría antes, en muchos casos el Protocolo aceleró este proceso, dado que el cambio de refrigerante y el rediseño de los equipos tienden a constituir un incentivo para pasar a un mayor nivel tecnológico.

alternativas. El informe detalla las dificultades de orden técnico, financiero, comercial, informativo, institucional/regulatorio y de servicio técnico, junto con las medidas de mitigación factibles de adoptar.

14. Varios países con programas consolidados de transformación de mercado fomentan la eficiencia energética con programas de rotulación y normas ecoenergéticas mínimas. Una fotografía de los programas ecoenergéticos tomada en un momento dado tenderá a entregar un cálculo más bien conservador (mayor) del costo, pero en la práctica los precios bajan a medida que se empieza a producir a mayor escala, especialmente en el caso de equipos pequeños producidos en serie, donde los fabricantes absorben rápidamente los costos de desarrollo y se esfuerzan por llegar a un nivel de precios que dé salida a los equipos.

15. El precio de venta no es un buen indicador del costo de mantener u optimizar la eficiencia energética en nuevos equipos debido al efecto de características distintas a la energía, a diferencias en la capacidad técnica del fabricante, a la variación en los precios de lista, a las diferentes estrategias de comercialización y posicionamiento de marca y a la idea de que la ecoeficiencia se puede vender como una característica “de alta gama”. Un análisis de los costos y plazos muestra que existen múltiples factores que influyen en la amortización de equipos que podrían tener un mayor costo inicial, y que la eficiencia energética tiene un límite después del cual el ahorro energético durante la vida útil del equipo deja de ser interesante. Es posible que haga falta un análisis más detallado de los costos para entender plenamente el efecto del mejoramiento ecoenergético. Este tipo de análisis es pertinente para la fijación de normas mínimas, proceso que involucra contrastar distintos niveles de eficiencia energética con una base de comparación. Estos estudios pueden tomar más de un año para cada categoría de producto.

16. Los costos de capital y operación de transitar a opciones de bajo PCA en equipos autónomos de refrigeración comercial, unidades de condensación, sistemas centralizados y distribuidos y climatizadores y bomba de calor, así como la matriz de intervenciones técnicas para mejorar la eficiencia energética y el cálculo de los costos asociados, muestran que existe una multiplicidad de factores que afectan los costos generales de transitar hacia refrigerantes alternativos de bajo PCA y una mayor eficiencia energética. Las prácticas operativas cumplen un papel importante en el rendimiento eficiente de los equipos.

17. Además de menores costos energéticos para el consumidor, menores emisiones de CO₂ y reducción de las cargas punta, la eficiencia energética tiene una amplia variedad de beneficios complementarios, entre ellos menor morbilidad por pobreza energética, mayor bienestar, menores emisiones de SO_x, NO_x, de material particulado y de CO₂, y beneficios económicos directos, si bien el efecto sobre las emisiones de CO₂ varía según los entornos operativos y condiciones climáticas.

18. El presente documento no presenta información detallada sobre los costos de supervisar e informar las mejoras en materia de eficiencia energética.

19. Por último, el documento entrega la información disponible a la fecha sobre proyectos piloto de introducción de tecnologías de bajo PCA en el marco de la eliminación de HCFC. Aunque no se dispone de los resultados, se agrega una lista de los proyectos autónomos de inversión para eliminación de HFC aprobados en virtud de la decisión 78/3(g).

II. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MARCO DE LA REDUCCIÓN DE HFC Y LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO Y NULO PCA

20. La orientación histórica del Protocolo de Montreal hacia la eliminación de SAO trajo consigo un incremento en la eficiencia energética de equipos y productos.⁴ El Fondo Multilateral entrega financiamiento y asistencia técnica para el logro de metas de eliminación de SAO en países del artículo 5.

⁴ Contexto que se explica en la nota al párrafo 10.

21. La eliminación de CFC en el sector refrigeración residencial permitió reemplazar el CFC-12 por los hidrocarburos R-600a o HFC-134a. Aunque en un inicio se utilizaron mezclas, luego se comprobó que éstas elevaban los costos energéticos, lo que llevó a que el R-600a, más ecoenergético, se convirtiera en la primera opción. El HFC-134a, de similar eficiencia energética pero mayor PCA, quedó restringido a regiones donde la inflamabilidad y la posible responsabilidad legal en caso de incidentes constituían importantes barreras de ingreso al mercado.

22. En el marco del reemplazo del CFC-12 la industria hizo grandes esfuerzos por mejorar la eficiencia energética, principalmente a través de optimizar los compresores y el diseño de sistemas. En el año 2015, el refrigerador que reflejaba las mejores prácticas a nivel mundial emitía nueve veces menos GEI que el aparato común que se vendía en los años ochenta en los países no acogidos al artículo 5. El mercado de los refrigeradores domésticos compite principalmente en función del costo y aprovecha las enormes economías de escala que ofrece la producción en masa. En términos reales, el refrigerador ecoenergético del 2015 tiene un costo menor que el modelo de los años ochenta (Figura 1).⁵

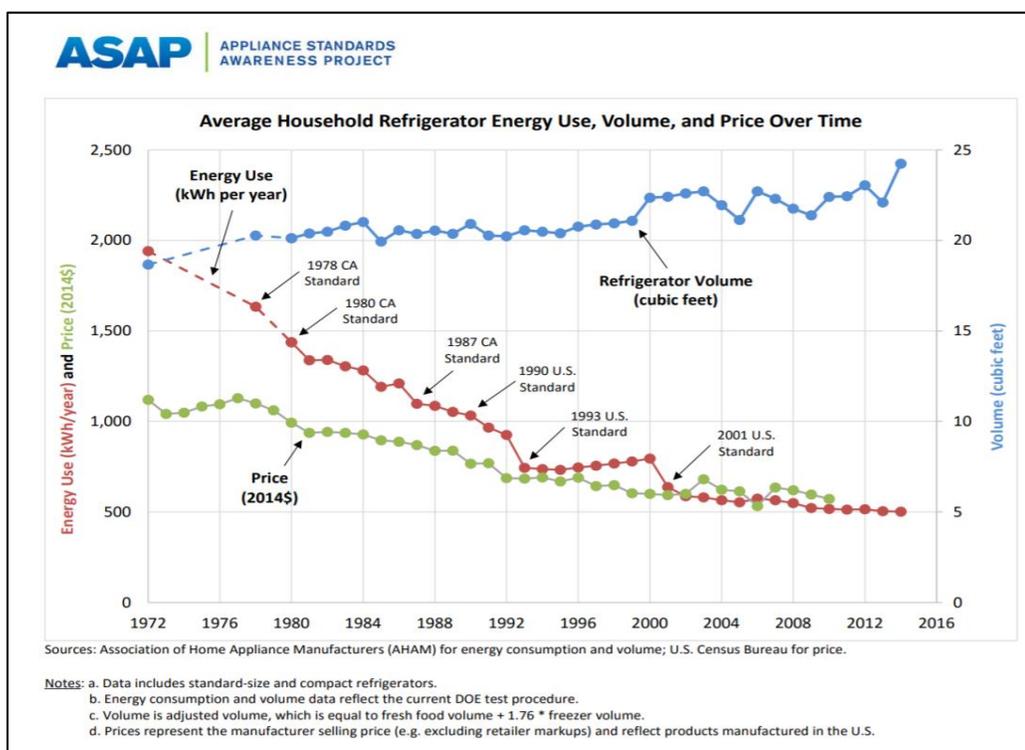


Figura 1. Consumo energético, volumen y precio promedio de un refrigerador doméstico en los Estados Unidos de América

23. A la fecha, los países del artículo 5 siguen en proceso de eliminar el HCFC-22⁶ y en muchos se ha introducido el HFC-32. Unos cuantos han introducido además el R-290 por sus ventajas ecoenergéticas, pero su inflamabilidad constituye un importante obstáculo para su uso en climatizadores domésticos.

24. Como se observa en la Figura 2, la evolución de los climatizadores unitarios en Estados Unidos a partir de los años setenta muestra mejorías constantes en eficiencia y relación costo-beneficio; de hecho, los fabricantes han logrado reducir el precio unitario reajustado de los equipos de climatización central con

⁵ https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf.

⁶ La eliminación de HCFC-22 se centra principalmente en los sectores de fabricación y servicio técnico de climatizadores.

ductos para uso residencial (sólo el costo del equipo).⁷ Esta tendencia coincide con la eliminación de SAO y con el endurecimiento periódico de las normas de eficiencia. Los motivos son complejos: innovación tecnológica, eficiencia productiva, y factores macroeconómicos como la globalización productiva y el precio de las materias primas. El precio ajustado de los equipos no aumentó con la introducción o el endurecimiento de las normas de eficiencia y la prohibición del HCFC-22 en 2010 tampoco generó reacciones adversas.

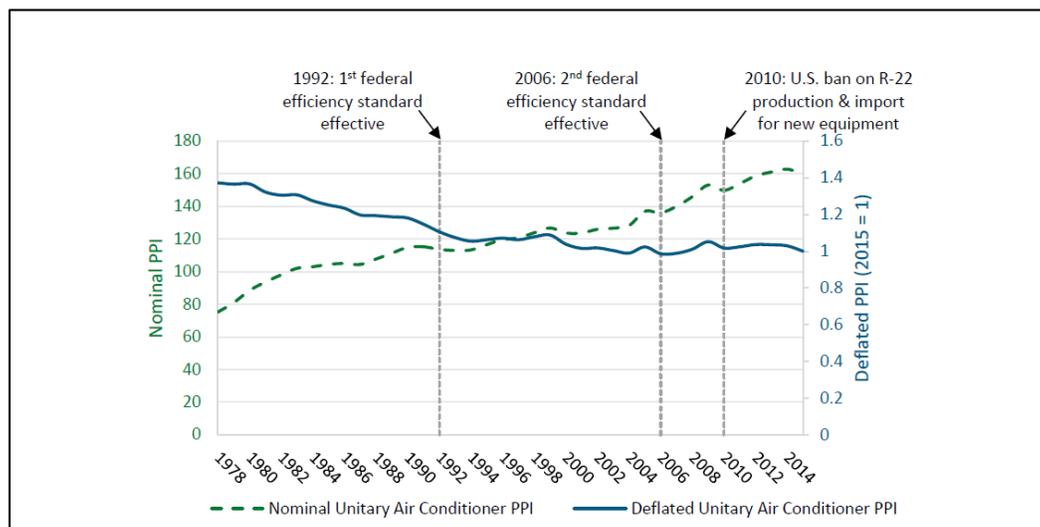


Figura 2. Costos de equipos de climatización central residencial, 1978-2015
[Goetzler et al., 2016]

25. Actualmente se comercializa una amplia gama de climatizadores domésticos, con eficiencias energéticas que fluctúan de muy bajas a muy altas. El nivel de eficiencia tiene poca relación con capacidad o precio de compra [Shah et al., 2017, Kuijpers et al., 2018]. Optimizar el rendimiento de los climatizadores domésticos exige prestar atención al compresor, a la carga de refrigerante y al tamaño del intercambiador de calor. Estudios que comparan el HCFC-22 con el R-290, el HFC-32 y el HFC-161 demuestran que el índice de eficiencia energética (IEE) de un climatizador doméstico optimizado es igual o menor al 10% independientemente del tipo de refrigerante, en tanto que en sistemas no completamente optimizados la variación del IEE supera el 10%.

26. En países donde los climatizadores se usan todo el año y prácticamente a toda hora, éstos consumen casi el 70% de la generación eléctrica. El público está consciente de la carga económica que ello representa, por lo que está más dispuesto a aceptar medidas regulatorias y otras que la reduzcan a través del uso de sistemas más ecoenergéticos y de menor consumo. Ello no es el caso donde los servicios básicos son subvencionados y el costo para el consumidor es bajo, lo que desincentiva la eficiencia energética incluso en sistemas a ser instalados a futuro.

27. Otro problema son las tarifas que las empresas de servicios básicos cobran a sus clientes residenciales, comerciales e industriales. En algunos países se aplica una tarifa plana diaria que sube por tramo de consumo, sistema que funciona razonablemente bien para clientes residenciales pero que castiga a clientes comerciales e industriales que operan plantas de mayor tamaño y eficiencia -redes de frío, por ejemplo- si no se toman en consideración.

28. La rotulación de unidades y los programas energéticos son un paso adelante. La mayoría de los países cuentan con sistemas de rotulación energética para climatizadores y refrigeradores residenciales.

⁷ La línea verde punteada muestra el Índice de Precios al Productor y la azul el Índice reajustado. El reajuste se calcula dividiendo la serie del IPP por el IPC encadenado del PIB para iguales años, normalizado al año 2015.

Una de las dificultades de la rotulación y del cumplimiento de la norma en general es el proceso de pruebas y verificación que compruebe que los niveles declarados son ciertos y han sido confirmados.

III. INTERVENCIONES TÉCNICAS PARA MANTENER Y/O MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

29. Para refrigerar o calefaccionar, los equipos y sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor consumen energía, en la mayoría de los casos eléctrica. El consumo por unidad dependerá de la carga de refrigeración/calefacción a suministrar -es decir, del nivel de servicio- y de la energía necesaria para suministrarlo. Una unidad o sistema ecoeficiente entrega igual nivel de servicio con un menor consumo de energía.⁸

30. La eficiencia energética se puede optimizar de mejor manera durante el diseño y fabricación del equipo, etapa en que se pueden incorporar características de ahorro energético que entreguen, entre otros, los siguientes beneficios:

- a) Reducir el consumo de energía y las emisiones de GEI durante la vida útil de los equipos;
- b) Menores costos energéticos, lo que aporta un beneficio económico al usuario final; y
- c) Reducir la demanda eléctrica máxima, potencialmente generando beneficios económicos al reducir las necesidades de generación y distribución, lo que para las empresas generadoras se traduce en menores costos de inversión, combustible y operación.

31. Por su parte, un riguroso enfoque integrado en materia de diseño y selección de equipos puede maximizar las posibilidades de optimizar la eficiencia energética. Un enfoque integrado incluye:

- a) Minimizar las cargas de refrigeración/calefacción;⁹
- b) Seleccionar el refrigerante más idóneo;
- c) Un diseño de sistema y componentes ecoenergéticos;
- d) Optimizar el control y operación de todas las condiciones operativas habituales; y
- e) Integrar características de diseño que faciliten el servicio y mantenimiento.

32. Las cinco condiciones anteriores se analizan en los párrafos siguientes.

Minimizar las cargas de refrigeración/calefacción

33. La eliminación o disminución de las cargas puede reducir notablemente el consumo energético, sin dejar de entregar los niveles de calefacción o refrigeración necesarios. Algunos ejemplos de medidas de disminución de la carga son:

- a) Un diseño que modere el calor durante el verano (p. ej.; protección contra la luz solar, techos de material reflectante, emplazamiento de ventanas, aislación);

⁸ La Agencia Internacional de Energía (AIE) define la eficiencia energética como “forma de manejar y limitar el aumento del consumo energético. Algo es ecoenergético cuando presta mayor servicio por igual energía o igual servicio por menos energía”.

⁹ Esto puede relacionarse directamente con un diseño y selección de equipos más ecoenergéticos, pero debe ser considerado de forma más integral por su importancia en reducir el consumo energético general.

- b) Poner puertas en las vitrinas frigoríficas comerciales;
- c) Dejar enfriar los productos calientes antes de refrigerarlos (p. ej., plantas elaboradoras de alimentos que usan torres de enfriamiento para enfriar productos cocidos);
- d) Reducir el calor generado por equipos auxiliares tales como ventiladores de evaporación, bombas de agua refrigerada o la iluminación; y
- e) Disminuir la carga de calor que generan los frigoríficos con una mejor aislación e impidiendo el ingreso de aire cálido a través de puertas abiertas.¹⁰

34. Disminuir las cargas podrá requerir una inversión extra, p. ej., en aislación, en reorientar la sombra que cae sobre las instalaciones o en poner puertas a una vitrina. Sin embargo, disminuir la carga de refrigeración puede ahorrar costos de capital al requerir sistemas de refrigeración de menor tamaño o un suministro eléctrico de menor potencia.¹¹

Selección del refrigerante más idóneo

35. La selección de un refrigerante es una fórmula de compromiso entre beneficio ambiental, seguridad, eficiencia del ciclo termodinámico, diseño del sistema, confiabilidad y costo. El efecto del refrigerante en la eficiencia energética de una unidad generalmente no supera +/- 5 a 10%. El diseñador debe escoger el mejor refrigerante desde la perspectiva de la eficiencia, pero sin descuidar la amplia gama de las demás características de diseño. Cabe destacar que las tecnologías con mayor potencial de mejorar la eficiencia de refrigerantes de alto PCA pueden utilizarse también con refrigerantes de bajo PCA.¹²

36. Un análisis termodinámico simplificado muestra el efecto relativo de distintos refrigerantes sobre la eficiencia energética de la unidad, permitiendo al diseñador preseleccionar sus opciones. Para una aplicación dada habrá un número limitado de refrigerantes dentro del rango del $\pm 5\%$ del rendimiento energético de la base de comparación. El análisis termodinámico es un punto de partida útil, pero es fundamental considerar además el rendimiento en la vida real; es decir, la forma en que el refrigerante interactúa con cada componente, en especial el compresor y los intercambiadores de calor. Esto se puede graficar comparando el HCFC-22 con el R-410A en climatizadores domésticos pequeños. El análisis termodinámico muestra que el HCFC-22 tiene ventajas en cuanto a eficiencia, pero la mayoría de los equipos ecoenergéticos actualmente en el mercado usan R-410A. Esto refleja el hecho de que los fabricantes abandonaron la optimización de equipos a base de HCFC-22 una vez que comenzó su eliminación en virtud del Protocolo de Montreal. En materia de eficiencia, los equipos modernos a base de R-410A incorporan diversas innovaciones que no están disponibles para el HCFC-22, haciendo su eficiencia mucho mayor. El análisis termodinámico del HFC-32 en pequeños climatizadores para edificios muestra una ventaja de alrededor del 5% respecto del R-410A.

37. En comparación con el HCFC-22, un análisis del ciclo termodinámico muestra que el coeficiente de rendimiento del propano (R-290) disminuye entre -2% y 0%, dependiendo de la temperatura de evaporación. Sin embargo, la capacidad volumétrica del R-290 es homogéneamente menor a la del HCFC-22 en alrededor del 14%. Una prueba hecha sustituyendo el HCFC-22 por R-290 mostró una mejora del 7% en el coeficiente de rendimiento y un 8% de menor capacidad, a valores nominales estándar. Esto se atribuye principalmente a las mejores propiedades de transporte del R-290. Con una ingeniería optimizada, alternativas tales como el R-290 pueden superar el rendimiento de las actuales unidades a base de HCFC-22 hasta en un 10%.

¹⁰ Reducir el tamaño. Por ejemplo, no escoger un refrigerador o congelador doméstico más grande de lo necesario.

¹¹ Es común experimentar una reducción en el costo debido a la menor carga de refrigeración.

¹² Las tecnologías que generan mejoramientos ecoenergéticos generalmente se pueden aplicar con refrigerantes de bajo PCA.

38. El AREP¹³ del Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (AHRI) generó 67 evaluaciones de refrigerantes alternativos y un estudio de referencia sobre los riesgos de los refrigerantes A2L. El rendimiento de los refrigerantes alternativos fue muy variable, dependiendo del tipo de estudio (con sucedáneos u optimización ligera), del equipo y del refrigerante de referencia. En general, las alternativas al HCFC-22 mostraron resultados en capacidad de rendimiento dentro del rango de $\pm 10\%$ pero con una eficiencia que fluctuó de -20% a -5% respecto de la base de comparación. Los alternativos de tipo R-410A mostraron una capacidad y eficiencia de $\pm 15\%$ y los de tipo R-404A una capacidad entre -20% y -5% y una optimización de la eficiencia de hasta un 10% .

39. El Departamento de Energía de los Estados Unidos de América efectuó estudios centrados en evaluar climatizadores tipo split e integrados bajo condiciones ambientales de hasta 55°C . Se demostró que, a 35°C , las alternativas fluoradas producían pérdidas del 3% al 14% en capacidad y del 11% al 16% en eficiencia. A 55°C , en tanto, las pérdidas eran del 3% al 14% en capacidad y del 7% al 15% en eficiencia. Sin embargo, a 35°C el R-290 producía una pérdida del 7% en capacidad y una optimización de la eficiencia del 11% . A 55°C , en tanto, había una pérdida de capacidad del 10% y una optimización de la eficiencia del 8% . La diferencia de capacidad del R-410A fluctuaba de -14% a 5% a 35°C y de -3% a 13% a 55°C , con diferencias en eficiencia de $\pm 5\%$ a 35°C y de hasta un 6% a 55°C .

40. Los estudios realizados a la fecha se centraron en el rendimiento de los refrigerantes alternativos de bajo PCA respecto de las tecnologías SAO y HFC de alto PCA actualmente en uso. Los estudios analizaron productos de venta en el comercio con “ligera optimización” de los dispositivos de carga y expansión. Será preciso realizar nuevos estudios sobre los efectos de la optimización total en productos nuevos utilizando alternativas de bajo PCA con modificaciones en los compresores, intercambiadores de calor y otros componentes.

Componentes y diseño de sistemas ecoenergéticos y optimización del control y operación

41. Los equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor con compresión de vapor constan de una serie de componentes primarios (evaporador, condensador, compresor, válvula de expansión, refrigerante) y secundarios (ventiladores, bombas y torres de enfriamiento). Para maximizar la eficiencia energética es importante seleccionar un diseño de sistema que defina la disposición general del sistema y los niveles de temperatura de operación, así como componentes individuales que aporten a la eficiencia del sistema. Es posible considerar los controles como un componente más del sistema, pero para el diseñador es más útil considerar el control y operación como tema aparte. En términos de costos, por regla general se puede afirmar que las mejores tecnologías de control son las que ofrecen una estrategia de eficiencia energética con una buena relación costo-beneficio.

42. Los equipos se diseñan para un punto de diseño nominal igual a la carga de refrigeración máxima durante las condiciones de mayor calor que sea dable esperar;¹⁴ es decir, la condición de carga más extrema posible. En la realidad, sin embargo, la mayoría de los sistemas están expuestos al punto de diseño durante pocas horas al año. La mayor parte del tiempo la carga de refrigeración es menor cuando el clima está más templado. En un sistema bien controlado, a mayor distancia del punto de diseño, mayor eficiencia energética. Por ejemplo, en un día templado la temperatura de condensación baja, generando un incremento potencialmente importante en la eficiencia. En un sistema mal controlado esto no ocurre y la eficiencia se puede degradar en la medida en que los compresores operan a carga parcial.

43. Los siguientes ejemplos ilustran las eficiencias energéticas alcanzables con un diseño de sistemas, componentes y controles optimizados:

- a) Refrigeración a temperatura adecuada: Para maximizar la eficiencia, los sistemas de

¹³ Programa de evaluación de refrigerantes alternativos.

¹⁴ Los equipos se diseñan además para un punto nominal que incluye la operación a máxima eficiencia.

refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor deben enfriar a la máxima temperatura posible. Elevar la temperatura de evaporación en apenas 1° C puede optimizar la eficiencia del 2% al 4%. Un diseño común consiste en agrupar varias cargas de refrigeración en un solo sistema de enfriamiento, aun cuando cada carga requiera una temperatura diferente. La temperatura de evaporación debe corresponder a la carga más fría, lo que hace que las más calientes se enfríen de forma ineficiente. Un diseño que separe las cargas a distintas temperaturas puede ser mucho más eficaz, pero en múltiples sistemas esto tiene un costo adicional. Otro ejemplo es el uso de agua refrigerada en un sistema de enfriamiento ambiental; a mayor temperatura, mayor eficiencia a la misma carga de refrigeración;¹⁵

- b) Compresor: Los diseñadores consideran la cantidad óptima de compresores para una determinada carga. Los sistemas muy pequeños tienen siempre un compresor, pero para los de mayor formato es más eficaz utilizar varios compresores pequeños que uno grande, lo que exige buscar un equilibrio entre el costo de capital extra y el ahorro energético que se obtiene. Esto es especialmente importante para mantener la eficiencia ecoenergética a condiciones operativas de carga parcial. El compresor necesita ser optimizado para el refrigerante y rango previsto de condiciones operativas (en términos de temperaturas de evaporación y condensación). Entre dos compresores de similar tamaño y costo, la diferencia en cuanto a eficiencia puede llegar al 20%, por lo que una buena selección puede optimizar la eficiencia sin mayor diferencia de costo. Cuando la carga de refrigeración baja, por ejemplo, debido a cambios en las condiciones ambientales, el compresor necesita operar a carga parcial dado que la carga es inferior al punto de diseño nominal del sistema. En sistemas pequeños esto se logra por medio de un control de encendido y apagado y en los grandes con reguladores de carga del tipo cilindro (en compresores de pistón) o válvulas de distribución (en compresores de tornillo). Ahora bien, éstas son formas muy ineficientes de controlar una carga parcial. Recientes avances en los variadores de velocidad (VSD,¹⁶ p. ej., el inversor) permiten el uso de compresores de velocidad variable capaces de optimizar la eficiencia en más de un 25%;
- c) Intercambiador de calor: El diseñador debe seleccionar intercambiadores de calor con la menor diferencia práctica de temperatura a fin de optimizar las temperaturas de evaporación (lo más alta posible) y de condensación (lo más baja posible).¹⁷ Hoy existen intercambiadores de calor tipo tubo y aleta con tubos de menor diámetro, lo que potencia el intercambio de calor y la eficiencia energética, aunque el diseñador debe también tomar en cuenta el efecto de la mayor caída de presión. Esto puede reducir el volumen interno del intercambiador, lo que posibilita reducir el volumen de refrigerante. Otra opción de diseño son los intercambiadores de calor con microcanales;
- d) Presión del condensador: Muchos sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor están equipados con un control de la presión de descarga que impide que la presión del condensador flote hacia abajo en días fríos, controles cuyo uso se puede eliminar o reducir con un mejor diseño. Por ejemplo, usar una válvula de expansión electrónica en lugar de una termostática permite reducir sustancialmente la posición del control de la presión de descarga, generando un posible ahorro energético cercano al 20%;
- e) Bombas y ventiladores auxiliares: Muchos sistemas circulan el aire frío con ventiladores y el agua refrigerada con bombas. Tradicionalmente estos eran dispositivos de velocidad fija diseñados para adecuarse a la carga de diseño nominal. Se dice que las cargas auxiliares en

¹⁵ Esto puede requerir un intercambiador de calor de mayor formato y costo.

¹⁶ Variador de velocidad.

¹⁷ La selección del intercambiador de calor es casi siempre un proceso técnico y económico. A mayor tamaño, mayor será su efecto ecoenergético.

la zona fría de un sistema de refrigeración o climatización cuestan el doble, porque la bomba o ventilador generan calor que el sistema de refrigeración debe remover. A carga parcial, las cargas auxiliares se pueden convertir en una parte excesivamente mayor del consumo energético total. Un variador de velocidad, sin embargo, puede reducir la marcha de bombas y ventiladores a carga parcial.

44. El Cuadro 1 resume la optimización de la eficiencia para una serie de mejoras en el diseño de componentes a partir de un “caso base” representado por las normas mínimas europeas.

Cuadro 1. Opciones para optimizar la eficiencia y ahorro energético en base a condiciones europeas

Opción	Descripción	Optimización respecto del caso base (%) [*]	
		Min	Max
Carga en modo espera	Menores cargas en modo espera ¹⁸	2	2
Compresores eficientes	Compresores rotativos de dos tiempos o de tornillo de alta eficiencia con motores DC ^{**}	6	19
Inversor/velocidad variable	Compresores accionados por inversor AC ^{***} , AC/DC o DC	20	>25
Intercambiador de calor eficiente	Intercambiadores de calor de microcanales de alta eficiencia o mayor tamaño	9	29
Válvulas de expansión	Termostáticas y electrónicas	5	9
Calefacción del cárter	Requiere menos energía por menos tiempo	9	11

(*) La optimización acumulativa de la eficiencia de múltiples medidas no será igual a la suma de cada componente.

(**) DC: corriente continua

(***) AC: corriente alterna

Características de diseño que faciliten el servicio y mantenimiento

45. Al momento de considerar nuevos equipos, el diseñador debe dar cuenta del aspecto servicio y mantenimiento e integrar características que garanticen la eficiencia energética durante su vida útil. Un correcto servicio y mantenimiento empieza con una correcta instalación y puesta en servicio; de lo contrario se podría reducir considerablemente la eficiencia de los equipos, generando pérdidas irreversibles durante el resto de su vida útil. Un buen sistema de supervisión y control permitirá al operador o técnico de mantenimiento de una planta verificar el rendimiento y corregir cualquier falla que signifique mal uso de la energía. Los medidores y sensores es siempre mejor instalarlos como parte de un nuevo sistema que de forma retroactiva.

Consideraciones sobre entornos de alta temperatura ambiente

46. Los ambientes donde imperan las altas temperaturas imponen un conjunto adicional de dificultades para la selección del refrigerante, diseño del sistema y mejora potencial de la eficiencia. A alta temperatura ambiente, el diseño de sistemas capaces de mantener la eficiencia energética se ve afectado por la opción de refrigerante debido a sus propiedades termodinámicas, a las normas de seguridad exigidas por la mayor carga y a la disponibilidad y costo de los componentes. Los estudios en condiciones de alta temperatura ambiente realizados a la fecha han demostrado la capacidad de ciertas alternativas de bajo PCA para entregar resultados comparables a las actuales. Están en curso otros estudios a nivel público e iniciativas a nivel privado que se orientan a optimizar los diseños para lograr la máxima eficiencia bajo estas difíciles condiciones.

¹⁸ La electricidad se usa sólo para mantener activos los controles a la espera de entrar en servicio. La carga de refrigeración generalmente no influye.

47. Una de las formas más eficaces de optimizar la eficiencia energética en condiciones de alta temperatura ambiente es aumentar el tamaño del condensador, lo que sin embargo eleva la carga de refrigerante y el costo del sistema. Es necesario analizar los efectos de la transición en cuanto a inflamabilidad, toxicidad y presiones de operación. Los órganos normativos y reglamentarios trabajan en potenciar la adopción de una nueva generación de refrigerantes alternativos de menor PCA. El Cuadro 2 resume distintas consideraciones sobre el efecto de la alta temperatura ambiente en la eficiencia energética.

Cuadro 2. Consideraciones sobre efectos de la alta temperatura ambiente en la eficiencia energética

Consideración	Descripción	Efecto de la alta temperatura ambiente	Medidas especiales
Selección de refrigerante	Propiedades termodinámicas y características de inflamabilidad	Cercanía a temperaturas críticas reduce la eficiencia Limitación de gran volumen de carga de refrigerante	Selección de refrigerante
Diseño del sistema	Cargas de refrigeración, temperaturas y presiones de condensación	Mayores cargas de refrigeración exigen equipos de mayor tamaño Mayores temperaturas y presiones de condensación	Probar sistema (presión de ruptura, estanqueidad, funcionalidad) considerando mayor presión operativa sin perder eficiencia
Fabricación	Diseño y construcción deben dar cuenta de la mayor presión	Condiciones que exigen diseño y componentes especiales que cumplan con las normas de eficiencia energética	Fabricantes deben mejorar constantemente su capacidad productiva y de diseño
Servicio técnico	Prácticas de servicio a mayores temperaturas y presiones	Riesgo de falla del sistema y pérdida de eficiencia	Capacitación técnica
Seguridad	Códigos	Cantidad de refrigerante por espacio ocupado debido a mayor carga de calor Limitación por aumento de la carga	Evaluación de riesgo

Dificultades para la adopción de tecnologías ecoenergéticas

48. En los sectores refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor ya existen equipos y sistemas de consumo ecoeficiente. Por ejemplo, un estudio sobre la eficiencia de distintos modelos de climatizadores reveló que los mejores modelos disponibles eran dos o tres veces más ecoenergéticos que el promedio mundial, lo que apunta al gran potencial de ahorro energético que ofrecen los equipos que ya se encuentran en el mercado. Con normas y rotulado más estrictos y otras políticas de transformación del mercado (incentivos, compras al por mayor, distinciones) es posible reducir el consumo en países donde los costos energéticos son altos.

49. Aunque no siempre es así, los productos ecoenergéticos tienden a tener un costo inicial mayor, en parte porque a veces se comercializan como productos de alta gama que ofrecen otras prestaciones además del ahorro energético,¹⁹ por lo que tienden además a tener un rango de precios más amplio. Asimismo, las normas de eficiencia demasiado estrictas pueden elevar los precios sin proponérselo si no se aplican con cuidado, por ejemplo, acordando cambios graduales con los fabricantes. Para minimizar los efectos adversos de medidas de mercado tales como la dictación de normas ecoenergéticas mínimas, éstas se deben estructurar como objetivos de largo plazo con un cronograma ajustado a la marcha de la tecnología y a los ciclos de inversión del sector.

50. Las barreras a la adopción de medidas de eficiencia energética son de tipo técnico, financiero, de mercado, de información, institucionales y regulatorios, de calificación técnica y otros. Estas barreras y sus medidas de mitigación se describen a continuación.

¹⁹ Un aspecto importante del costo de los productos ecoenergéticos es el alto costo de sus componentes.

Cuadro 3. Barreras a la adopción de tecnologías eficientes y formas de eliminarlas

Barrera	Descripción	Medidas de mitigación	Ejecución (años)
Técnicas	Las instalaciones que puedan evaluar, medir y verificar la eficiencia energética no existen o carecen de recursos o capacidad para satisfacer la demanda. Los fabricantes pueden no tener capacidad técnica para fabricar equipos ecoenergéticos o disponer de la propiedad intelectual necesaria para producir componentes ecoenergéticos.	Disponer instalaciones adecuadas Capacitar a fabricantes y fortalecer sus capacidades Transferir propiedad intelectual o crear empresas conjuntas o programas de investigación y desarrollo de tipo colaborativo	1-3
Financieras	El costo de producción de los equipos ecoenergéticos es generalmente mayor; sus componentes tienden a asociarse a otras prestaciones y a venderse más caros. ²⁰ La disponibilidad y costo del financiamiento juegan un papel importante.	Financiamiento a menor costo, programas de rebajas en la cuenta de servicios, compras al por mayor, clubes de compradores y otros tipos de programas de adquisición	1-2
De mercado	El comprador puede no ser el usuario, p. ej. en viviendas de alquiler. La falta de incentivos para el comprador puede ser un obstáculo para la compra de equipos ecoenergéticos.	Ofrecer incentivos a los compradores de equipos ecoenergéticos	0.5-1
De información	Usuario final desconoce la disponibilidad o beneficios de los equipos ecoeficientes o los criterios de medición son demasiado técnicos o difíciles de entender. Este tipo de barrera se puede eliminar en parte con rotulación obligatoria o voluntaria, clasificación con estrellas u otros tipos de medidas de educación y sensibilización.	Programas de rotulación obligatoria o voluntaria, campañas de sensibilización y educación	0.5-1
Institucionales o regulatorias	Falta de normas legales sobre eficiencia energética, marco regulatorio permisivo o inexistente, normas laxas o inexigibles o insuficiencia técnica para exigir el cumplimiento de las normas o la rotulación.	Dictación de normativas y marcos regulatorios adecuados, diseño de mecanismos de evaluación y verificación, fortalecimiento de las capacidades de reguladores y autoridades, armonización de normas ecoenergéticas mínimas	2-4
De calificación técnica	Los equipos ecoenergéticos usan tecnologías que exigen nuevas calificaciones técnicas. Si los técnicos carecen de ellas, es posible que no se puedan usar equipos ecoenergéticos.	Programas de capacitación del personal técnico	1-3
Otras	Percepciones erróneas sobre los productos ecoenergéticos; por ejemplo, sobre su calidad y/o mantenimiento u otros criterios de rendimiento. ²¹	Programas de sensibilización y educación sobre los beneficios de equipos eficientes, incluyendo los ahorros a largo plazo	0.5-1

²⁰ Los estudios muestran que a mayor tiempo y escala de producción, los precios de los equipos ecoenergéticos disminuyen en la mayoría de los mercados. Sin embargo, en cualquier momento dado, dichos equipos tienden a ser más caros, incluso cuando el mercado en general tiende hacia una mayor eficiencia.

²¹ Dado que el producto recién entra al mercado, es de “confiabilidad no comprobada” y los instaladores, clientes, etc. pueden mostrarse reticentes a aplicar la nueva tecnología.

IV. CUESTIONES RELATIVAS A LOS SOBRECOSTOS ASOCIADOS, PLAZOS DE AMORTIZACIÓN Y COSTOS DE SUPERVISIÓN Y VERIFICACIÓN

51. Los beneficios económicos de optimizar la eficiencia energética se encuentran ampliamente documentados y varían según el tipo de equipo, aplicación, clima, tiempo y factores locales tales como tasas de descuento, horas de uso, precio de la electricidad y pérdidas de transmisión y distribución.²²

52. Los beneficios más comúnmente mencionados del mejoramiento ecoenergético son los ahorros en cuanto a energía, costo y emisiones de GEI y, para climatización de espacios, menores cargas punta. La transición a refrigerantes de bajo PCA potenciaría aún más los ahorros.²³

53. Se destacan además una menor morbilidad por pobreza energética, menor afectación de la salud, mayor bienestar, menor contaminación por SO_x, NO_x y material particulado y menores emisiones de CO₂. Se estima que estos beneficios complementarios aportan de un 75% a un 350% extra a los beneficios directos de la eficiencia en cuanto a ahorro energético.²⁴

Metodología de cálculo de los costos de capital y operación

54. Varios países cuentan con programas de transformación de mercado que promueven la eficiencia energética, entre ellos normas ecoenergéticas mínimas y rotulación. Por ejemplo, tanto las Normas Técnicas para Electrodomésticos y Equipos del Departamento de Energía de los Estados Unidos y los estudios preparatorios de la Directiva de Ecodiseño de la Unión Europea utilizan un análisis de ingeniería “horizontal” basado en la recopilación de datos, prueba y modelación de equipos ecoenergéticos para determinar los costos reales de fabricación (distinto del precio de venta) involucrados en optimizar la eficiencia. Este análisis “horizontal” generalmente utiliza software de diseño de uso habitual en la industria²⁵ y datos obtenidos de la prueba de equipos ecoenergéticos a fin de determinar opciones de diseño a partir de un “caso base” que representa la eficiencia baja o promedio en el mercado en cuestión. Luego, los costos de las opciones de diseño ecoenergético se analizan con expertos, fabricantes y proveedores de componentes a fin de obtener una imagen del costo de equipos más ecoeficientes.

55. Esta metodología ofrece una fotografía de los programas ecoenergéticos en un momento dado que tenderá a entregar un cálculo más bien conservador (mayor) del costo de optimizar la eficiencia, pero en la práctica los precios bajan a medida que se empieza a producir a mayor escala, especialmente en el caso de equipos pequeños producidos en serie, donde los fabricantes absorben rápidamente los costos iniciales de desarrollo y se esfuerzan por llegar a un nivel de precios que dé salida a los equipos.

56. Si bien en menor grado, países como China y la India han desarrollado normas de eficiencia energética a través de procesos similares. Aunque esta metodología se puede utilizar generalmente para estimar el costo para el fabricante de mantener y/o mejorar la eficiencia energética en Partes acogidas y no acogidas al artículo 5 con capacidad de fabricación, lo más probable es que el costo al consumidor sea similar para todas, con el costo adicional de transporte para la Parte importadora.

Recopilación de datos

57. Debido a los derechos de patente involucrados en algunas operaciones comerciales, a nivel público hay información limitada sobre los costos de capital y operación atribuibles a la optimización de la

²² La Administración de Información Energética de los Estados Unidos estimaba el costo promedio de construir nuevos generadores en 2016 en unos 2.000 \$EUA/kW de capacidad, es decir, más de 2.000 millones de \$EUA por cada central nueva si se consideran los costos de financiamiento. <https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/>.

²³ Lo que se puede hacer simultáneamente con la introducción de productos ecoenergéticos.

²⁴ Ürge-Vorsatz et al., 2014.

²⁵ Por ejemplo, [Fridley et al. 2001] utilizaron el Modelo de diseño de bombas de calor del Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Mark V, versión 95d [ORNL, 1996; Fischer & Rice, 1983; Fischer et al. 1988].

eficiencia energética en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor. Más aún, una mirada a los equipos en el mercado mundial muestra una gran variación de precios a similar nivel de eficiencia, lo que revela que el precio por sí solo no es un buen indicador del costo de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de nuevos equipos.

58. A continuación se presentan diversos ejemplos de los datos recogidos para desarrollar esta metodología.²⁶

- a) El precio de venta no basta para entender el costo de mantener y/o mejorar la eficiencia energética. La Figura 3 muestra un ejemplo de pequeños climatizadores unitarios de velocidad variable con una capacidad de refrigeración de 3.5kW y nivel de eficiencia energética de unos 4.5 vatio a vatio (W/W) (medido según factor de rendimiento anual (FRA) en China.²⁷ El precio de venta fluctúa entre 500 \$EUA y 2.000 \$EUA, una variación del 400%. Este efecto de gran variación de precios a igual nivel de eficiencia es igual para múltiples capacidades de refrigeración y niveles de eficiencia y para climatizadores tanto de velocidad fija como variable;

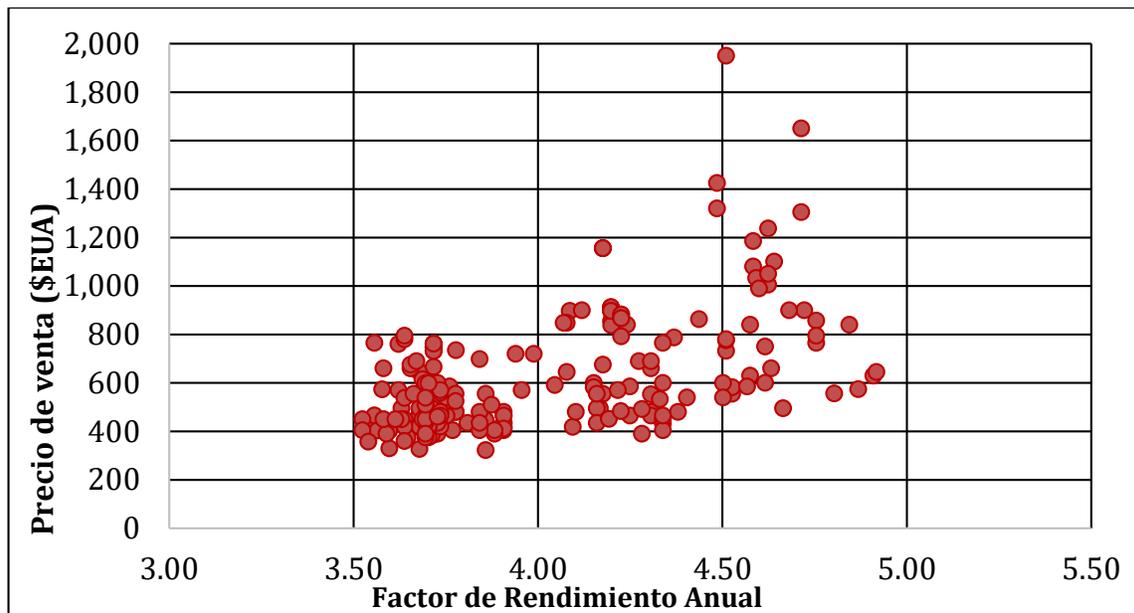


Figura 3. Precio de venta y eficiencia de climatizadores de 3.5kW tipo mini-split en el mercado chino

Fuente: Shah, Park y Gerke, 2017

- b) Un análisis del mercado japonés muestra que los climatizadores a la venta tienen un mayor rango de eficiencia energética. Aunque subyace una fuerte asociación entre eficiencia energética y precio unitario, se mantiene una amplia variación de precios a determinados niveles de eficiencia. La Figura 4 muestra la correlación entre precio y eficiencia energética para todos los modelos de 3.5 kW con refrigerante HFC-32. La tasa de aumento de precio es de unos 603 \$EUA por punto de eficiencia energética (FRA).

²⁶ La metodología de evaluación de costo que presenta el Informe del Equipo de Tareas del GETE se basa en la recopilación de los datos expuestos en el documento.

²⁷ Bases de datos IDEA del Lawrence Berkeley National Laboratory e Instituto Nacional de Normalización chino.

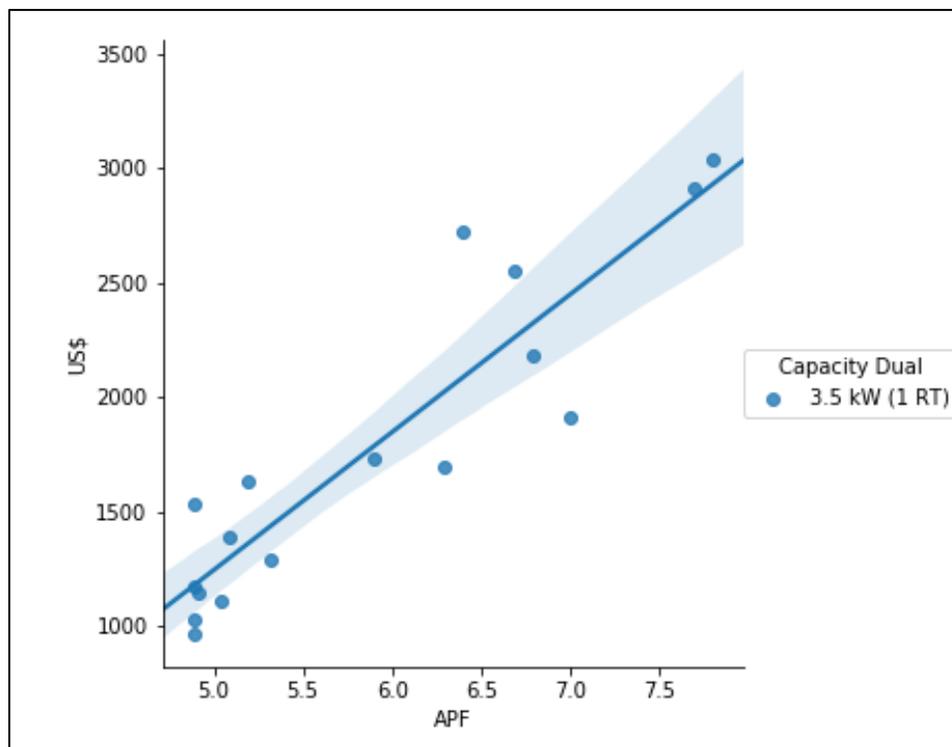


Figura 4. Precio de venta vs eficiencia energética en FRA de climatizador mini-split en el mercado japonés

- c) Ahorro energético y de costos de diversas opciones de optimización de la eficiencia: el Cuadro 4 muestra opciones de optimización de la eficiencia de diversos componentes para un climatizador mini-split de 5.27 kW, con el ahorro energético previsto respecto del “caso base” y los costos unitarios correspondientes para el caso de la India.

Cuadro 4. Opciones de optimización de la eficiencia, ahorro energético y costo de fabricación de un climatizador mini-split de 5.27 kW (India)

Tecnología	Ahorro energético (%)	Sobrecosto de fabricación (\$EUA) ²⁸
Compresores optimizados	5.5 - 15.0	1.43 - 12.27
Compresores de velocidad variable	21.0 - 23.0	25.67 - 115.54
Variadores de velocidad para ventiladores y compresores	26.0	44.93 - 134.79
Intercambiador de calor optimizado	7.5 - 24.0	10.48 - 156.90
Válvula de expansión	3.5 - 6.5	1.78 - 32.09

- d) Mayor precio de la eficiencia con y sin cambio de refrigerante: para una marca china, el precio de optimizar en un 13-15% la eficiencia de un climatizador de velocidad variable de 3.5 kW que utiliza R-410A aumenta en cerca de un 6%. Si se optimizan tanto la eficiencia como el refrigerante (optimización de un 5-8% y de R-410A a HFC-32), el precio aumenta en cerca de un 11%.

²⁸ 1 \$EUA = 70.11 INR.

Costo y plazo de amortización al consumidor a distintos niveles de eficiencia

59. El Cuadro 5 muestra el costo total al consumidor (precio de venta + instalación + energía durante la vida útil del equipo) y plazo de amortización (tiempo que toma el ahorro energético en compensar el mayor costo de instalación) calculados según la metodología expuesta en un documento regulatorio del Departamento de Energía de los Estados Unidos²⁹ para cuatro niveles de eficiencia superior al caso base para un climatizador mini-split. La mayor eficiencia tiene un mayor costo instalado y menores costos totales de operación. Los datos apuntan a que, al actual nivel de desarrollo tecnológico, la eficiencia tiene un máximo a partir del cual el ahorro energético no compensa el costo instalado durante la vida útil de los equipos.

Cuadro 5. Costo instalado, costo total y amortización simple al consumidor a distintos niveles de eficiencia para climatizadores tipo mini-split (Estados Unidos de América)

IEEE (W/W)	Costos promedio 2015 (\$EUA)			Amortización simple (años)	Vida útil promedio (años)
	Costo instalado	Costo de operación	Costo total		
4.1 (base)	3.714	4.758	8.472	—	15.3
4.3	+38	-93	-55	4.5	15.3
4.4	+105	-189	-84	4.8	15.3
4.7	+259	-295	-36	8.2	15.3
5.6	+1.105	-602	+503	16.6	15.3

60. En el Cuadro 6 se desglosa el costo total de una unidad corriente de climatización de 5 kW a tres niveles de eficiencia energética en la India (2, 3 y 5 estrellas), representando aproximadamente el 90% del mercado total. El efecto del refrigerante en el costo total es mínimo (menos del 1%). El costo total de las unidades de 2, 3 y 5 estrellas es de 1.672 \$EUA, 1.704 \$EUA y 1.540 \$EUA, respectivamente. Esto indica que aunque de 2 a 5 estrellas el precio aumenta, hay un ahorro neto total de 131.22 \$EUA.

Cuadro 6. Desglose porcentual del costo total de un climatizador R-410A de 5 kW a distintos niveles de eficiencia (India)³⁰

Estrellas	Precio sistema	Precio refrigerante	Costo de instalación	Costo energético total
2 estrellas	25,9	0,5	1,3	72,3
3 estrellas	30,9	0,5	1,3	67,4
5 estrellas	42,8	0,7	1,4	55,1

Costos de capital y operación

Equipos autónomos de refrigeración comercial

61. La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA exige invertir en fabricación y equipos, especialmente si se utilizan refrigerantes inflamables tipo A2L o A3. En general, datos obtenidos in situ indican que el mayor costo al consumidor de un sistema autónomo R-290 fluctúa de 0 a 5% respecto de uno convencional. El mayor precio, de haberlo, se puede recuperar a través del menor consumo energético.

62. El costo de implementar otras formas de optimización de la eficiencia fluctúa desde menor, como en el caso de las luces LED, a mayor para los compresores de velocidad variable o mayor ecoeficiencia. La amortización dependerá del costo de la electricidad en la región respectiva, pero dado que la mayoría

²⁹ <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>.

³⁰ Conversión a tabla de la Figura 2.15 del Informe del Equipo de Tareas del GETE.

regulan estos sistemas, la expectativa es que el mercado adopte el método que entregue la eficiencia mínima requerida al menor costo.

63. La transición a refrigerantes de bajo PCA optimiza los costos operativos entre 0% y 10%, dependiendo del refrigerante seleccionado. El refrigerante R-290 podría reducir el costo de la electricidad de 5% a 10% respecto del HCFC-22. Los futuros avances en materia de ventiladores y compresores de velocidad variable, luces LED y otros podrán reducir aún más el consumo energético, dependiendo del nivel de optimización previamente alcanzado.

Unidades de condensación

64. La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA exigirá algún grado de inversión en fabricación y equipos,³¹ especialmente si se utilizan refrigerantes inflamables tipo mezclas de A2L o A3. Disminuir la carga térmica con una mejor aislación, especialmente en cámaras frigoríficas y congeladores, el uso de luces LED y otras optimizaciones de la eficiencia permitirán disminuir los costos de capital iniciales y recoger utilidades durante la vida útil de los equipos. Como decíamos, el plazo de amortización es una función del costo de la electricidad y varía de región en región. La regulación cumple un papel fundamental en la adopción de equipos ecoenergéticos.

65. La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA puede reducir o mantener los costos energéticos, dependiendo del tipo de refrigerante escogido. Disminuir la carga térmica con una mejor aislación, especialmente en cámaras frigoríficas y congeladores, así como el uso de luces LED, son ejemplos de métodos ecoenergéticos que reducen tanto el consumo como los costos de operación.

Sistemas centralizados y distribuidos

66. Factores de mercado han llevado a muchos sistemas centralizados y distribuidos a adoptar métodos ecoenergéticos. En el caso de sistemas R-744 en cascada subcríticos, y especialmente transcíticos, los costos de capital han impedido una adopción más generalizada, especialmente en climas cálidos. En un reciente estudio europeo sobre un comercio menor con diez vitrinas refrigeradas³² se comparó un sistema distribuido R-290 con un sistema de CO₂ transcítico. El sistema R-290 fue 5% más eficiente en base anual y tuvo un costo de capital cerca de un 25% menor. El rendimiento del sistema de CO₂ se puede mejorar con eyectores o compresores paralelos a un mayor costo (de compra) inicial.

67. En el caso de sistemas R-744 en cascada subcríticos, y especialmente transcíticos, en comparación con el R-404A los costos de operación se mantienen sin variación o suben ligeramente en el caso de los transcíticos. La arquitectura R-290 se puede adecuar a un comercio menor pero es difícil de justificar en locales con sistemas de refrigeración de formato mucho mayor.

Sector aire acondicionado y bombas de calor

68. Hay tecnologías que muestran no incidir en los costos, tales como los intercambiadores de calor de diseño avanzado, los compresores rotativos y los compresores centrífugos de capacidad variable. Hay otras que tienen un costo adicional factible de recuperar con economías de escala, tales como intercambiadores de calor de microcanal y válvulas de expansión electrónicas, o que se mantienen como elementos de alta gama, tales como los compresores de capacidad variable para climatizadores individuales e integrados.

³¹ La que no debiese ser elevada para las unidades de condensación, las que generalmente no se cargan de fábrica. Lo más probable es que requieran algunas modificaciones al diseño y agregar elementos de seguridad, etc.

³² http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf.

69. Estudios previos indicaban que las mezclas de HFC/HFO de bajo PCA podían fácilmente reemplazar al R-410A, manteniendo o mejorando el rendimiento de los sistemas. Sin embargo, los refrigerantes alternativos HCFC-22 de menor PCA y mezclas de los mismos no tuvieron igual rendimiento. Un estudio posterior de Shen et al. 2017³³ muestra que, optimizando la ingeniería, las alternativas superan el rendimiento de las actuales unidades a base de HCFC-22 con un incremento de la eficiencia de hasta un 10%.

70. El Cuadro 7 muestra un ejemplo tomado de un documento regulatorio del Departamento de Energía de los Estados Unidos respecto de los costos de capital de la mayor eficiencia para cuatro niveles de ecoeficiencia en un climatizador tipo mini-split para la totalidad del sector en Estados Unidos.

Cuadro 7. Costos de capital sectoriales de la conversión para varios niveles de ecoeficiencia (2015)³⁴

IEEE (W/W)	Costos de capital de la conversión (millones \$EUA)	Ventas ³⁵ (millones de unidades/año)
4.2	61.0	6.5
4.4	205.6	6.5
4.7	337.9	6.5
5.6	373.0	6.5

Matriz de intervenciones técnicas en eficiencia energética y costos asociados

71. El Cuadro 8 resume la matriz de intervenciones técnicas para optimizar la eficiencia energética y los costos asociados.

Cuadro 8. Optimización de la eficiencia energética y costos asociados: Resumen de matriz de intervenciones técnicas

Equipo	Elementos de la base de comparación	Intervención	Mejoramiento ecoenergético	Costo asociado
Todos	Temperatura de evaporación	Optimizar	2 - 4% por cada incremento de 1° C	Bajo
Todos	Controles	Optimizar	10 - 50%	Bajo a medio
Climatizadores domésticos	Intercambiadores de calor	Agrandar o utilizar diseño avanzado (tubos de diámetro menor o intercambiadores de microcanal)	9 - 29%	Bajo a medio
	Compresores	Compresores rotativos de dos tiempos, compresores de tornillo de alta eficiencia con motores DC	5 - 19%	Medio
		Compresores AC, AC/DC o DC accionados por inversor	20 - 30%	Medio
	Válvulas de expansión	Termostáticas o electrónicas	5 - 9%	Bajo
	Carga en modo espera	Reducir	2%	Bajo

³³ Shen B, Abdelaziz O, Shrestha S, Elatar A. 2017 "Model-based optimization of packaged rooftop air-conditioners using low-GWP refrigerants," International Journal of Refrigeration, ISSN 0140-7007. En <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.028>. Consultado el 12 de mayo de 2018.

³⁴ Los niveles de prueba estándar 1, 2, 3 y 4 corresponden a un índice de eficiencia energética estacional de 14,5, 15,0, 16,0 y 19,0 BTU/hr/W, respectivamente, para climatizadores tipo mini-split de 2 toneladas. Estos niveles se definieron de forma diferenciada para cada categoría de producto (Fuente: DOE 2016).

³⁵ Los embarques totales para 2015 incluyen todo tipo de climatizadores centrales y sistemas de bomba de calor vendidos en los Estados Unidos de América.

Equipo	Elementos de la base de comparación	Intervención	Mejoramiento ecoenergético	Costo asociado
Climatizadores integrados y de gran formato	Compresores	Utilizar múltiples compresores para optimizar rendimiento a carga parcial	Hasta un 20%	Medio
	Compresores	Utilizar compresores AC, AC/DC o DC accionados por inversor	20 - 30%	Medio - alto
	Intercambiadores de calor	Agrandar o utilizar diseño avanzado (tubos de diámetro menor o intercambiadores de microcanal)	9 - 29%	Bajo
	Calefacción del cárter	Optimizar	9 - 11%	0
	-	Detección y diagnóstico de fallas	Hasta un 30%	Bajo
Refrigeración comercial	Control de presión del condensador	Minimizar control de presión de descarga (cambiando las válvulas de expansión termostáticas por electrónicas)	Hasta un 20%	Bajo
	Compresores	Control de velocidad variable o controles ecoenergéticos de capacidad variable	Hasta un 25%	Medio
	Ventiladores y bombas auxiliares	Controles de velocidad variable	Hasta un 10%.	Bajo
	Otros controles	Descongelamiento a voluntad y ajustar controles de presión de succión	Hasta un 10%	Bajo
	Calefacción del cárter	Optimizar	9 - 11%	0

V. BENEFICIOS AMBIENTALES EN TÉRMINOS DE CO₂ EQUIVALENTE

72. Mientras la Enmienda de Kigali se centra en los refrigerantes ecoenergéticos,³⁶ en paralelo la industria continúa desplegando esfuerzos para optimizar la eficiencia energética a través del rediseño de sistemas y de un mejor diseño constructivo que reduzca las cargas. Estas acciones reducirán la carga y las emisiones de refrigerante en sistemas de climatización.

Efecto de las emisiones indirectas sobre la eficiencia energética

73. Para estimar las emisiones totales de un sistema existen varias metodologías. Las más comunes son el efecto de calentamiento total equivalente³⁷ y la repercusión climática durante el ciclo de vida, las que intentan cuantificar el efecto sobre el calentamiento del planeta a través de evaluar los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor durante la totalidad de su vida útil.

74. El mayor potencial de mejoramiento ecoenergético radica en optimizar el diseño y los componentes, medidas que pueden mejorar la eficiencia³⁸ de un 10% a un 70%, en contraste con 5-10% en el caso de la mayoría de los refrigerantes. Calcular las emisiones totales a nivel país o región exigiría una serie de pasos y supuestos -vida útil del producto, opción de refrigerante, fugas- que trascienden las consideraciones de los beneficios ambientales de la eficiencia energética, los que pueden variar en un factor de 1.000 según horas de uso y el factor emisiones producidas por la generación eléctrica.

³⁶ En el marco de la reducción de los HFC.

³⁷ A veces el cálculo del efecto de calentamiento total equivalente (TEWI) se simplifica si no se consideran todos los efectos, entre ellos la fabricación del refrigerante y los equipos y la eliminación del refrigerante y de equipos descartados, aunque el efecto de estos elementos podría ser menor.

³⁸ El mejoramiento ecoenergético a que se refiere este informe contrasta la energía que requiere un mejor diseño con una base de comparación. Por ejemplo, si el Sistema A utiliza 10 unidades de energía y el Sistema B utiliza 8, hay una optimización de la eficiencia del 20%.

75. Calcular los beneficios ambientales de la eficiencia energética en términos de CO₂ equivalente involucra los siguientes tres pasos:

- a) Determinar el tipo de equipo (p. ej., climatizador tipo split sin ducto de 3.5 kW de capacidad), identificar el consumo de la unidad de comparación como función del mercado actual en el país o territorio o las unidades fabricadas en una determinada planta, y determinar el mejoramiento ecoenergético a evaluar;
- b) Calcular el ahorro energético del modelo más ecoeficiente como función del consumo de la unidad de comparación y horas de uso, factor este último que fluctúa notablemente según el país, el clima y la aplicación. En ciertos casos, la norma nacional considera las horas de uso en la medición (por ejemplo, el índice de eficiencia energética estacional de la India se define sobre la base de 1.600 horas al año), aunque una instalación o mantenimiento incorrectos pueden reducir el rendimiento energético real. Dado que la optimización de la eficiencia se compara con una unidad base, este método asume que la degradación del rendimiento por mala instalación o mantenimiento o por altas temperaturas tendría un efecto comparable sobre la unidad de comparación, por lo que el ahorro energético relativo se mantiene. Si las horas de uso de la unidad más ecoeficiente aumentan debido a un menor costo de la electricidad, en lo que constituye una especie de “efecto rebote”, el ahorro energético se vería reducido;
- c) Convertir el ahorro energético a CO₂ equivalente, multiplicando por el factor de emisiones de la generación eléctrica para el uso final. Los climatizadores tienden a utilizarse durante las horas de mayor calor y a coincidir con los períodos de mayor demanda eléctrica, motivo por el cual podría ser más preciso usar factores de “emisión marginal”, los que representan la intensidad de carbono de la generación eléctrica necesaria para satisfacer la demanda punta. Que la intensidad de carbono de la generación marginal sea mayor o menor al factor de emisión anual dependerá de la estructura de la red eléctrica del país. Sin embargo, a medida que se inyecta más capacidad renovable, la tendencia es hacia un menor factor de emisiones marginales.

76. En el sector refrigeración residencial, el ahorro por concepto de eficiencia energética en aparatos electrodomésticos fluctúa del 55% a casi el 70% con las tecnologías actualmente existentes. Se supone en este caso que los refrigeradores funcionan las 24 horas y que las altas temperaturas ambiente no afectan su rendimiento, dado que se emplazan en interiores bajo temperatura controlada.

77. En el caso de la refrigeración comercial existe un alto potencial de ahorro energético. En algunos casos, como por ejemplo los congeladores y enfriadores sin y con puertas, el ahorro puede fluctuar entre el 70 y el 80%. En el caso de los congeladores de helados, el consumo energético se midió a 25° C y 31° C. El aumento fue de un 13% a mayor temperatura ambiente, mucho menor que el de un congelador vertical ineficiente. Esto muestra que, en condiciones de alta temperatura ambiente, el tipo de aparato que se escoja es fundamental.

78. El Cuadro 9 resume el ahorro energético en kWh/año para determinadas horas de uso de climatizadores domésticos y la eficiencia energética a determinados niveles (10-20% mayor eficiencia y 40-50% eficiencia máxima respecto del consumo de la unidad base).

Cuadro 9. Ahorro energético en climatizadores domésticos

Caso*	Consumo y eficiencia de unidad base por producto específico				Ahorro unitario en modelos ecoeficientes		
	Horas uso/año	Tipo de unidad y capacidad (kW)	Consumo unidad base (kWh/año)	Mayor eficiencia	Máxima eficiencia	Mayor eficiencia (kWh/año)	Máxima eficiencia (kWh/año)
Caso muy bajo a (horas muy bajas, factor emisión eléctrica muy bajo)	350	Unidad tipo split / 3-4 kW	266	20%	50%	53	133
Caso bajo b (horas bajas, factor emisión eléctrica bajo)	1.200	Unidad tipo split / 3.5 kW	1.355	20%	50%	271	678
Horas altas c (horas altas, factor emisión eléctrica medio)	2.880	Unidad tipo split / 3.5 kW	2.965	10%	40%	297	1186
Factor emisión alto d (horas medias, factor emisión eléctrica alto)	1.600	Unidad tipo split / 5.275 kW	1.300	10%	40%	130	520
Caso máximo e (horas altas, factor emisión eléctrica alto)	2.880	Unidad tipo split / 5.275 kW	5.759	25%	40%	1.440	2.304

(*) Cinco casos representativos de situaciones reales para distintos factores de emisión y zonas climáticas del mundo.³⁹

a Horas de refrigeración en Europa (Topten.eu); consumo energético unitario tomado de Topten.eu con equipos ineficientes (266 kWh/año) y de máxima eficiencia (122 kWh/año).

b Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de evaluación país realizada por Unidos por la Eficiencia para Argentina (diciembre de 2016); porcentaje de mejoramiento tomado de Topten.eu.

c Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de evaluación país realizada por Unidos por la Eficiencia para Tailandia (diciembre de 2016); porcentaje de mejoramiento tomado de los ejemplos 3 y 5 estrellas del BEE de la India y del factor de emisión para Tailandia.

d Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de la norma ISEER y nivel una (1) estrella del BEE de la India; porcentaje de mejoramiento tomado de los ejemplos 3 y 5 estrellas del BEE de la India.

e Ocho horas de uso durante 360 días; IEE de unidad base de 2.6 W/W convertido a consumo energético dividiendo capacidad por IEE y multiplicando por horas de uso; medio = IEE de 3.5; máximo = IEE de 4.5.

79. El Cuadro 10 muestra el ahorro energético para una bomba de calor en cuatro casos representativos de situaciones reales en distintas zonas climáticas del mundo.

³⁹ El efecto de las emisiones de CO₂ consta en el Informe del Equipo de Tareas del GETE.

Cuadro 10. Ahorro energético de una bomba de calor

Caso*	Consumo energético unitario								Mayor eficiencia (%)
	Caso base				Mejor tecnología disponible				
	Bomba de calor (GJ)	Respaldo eléctrico (GJ)	Total (GJ)	Total (kWh/a)	Bomba de calor (GJ)	Respaldo eléctrico (GJ)	Total (GJ)	Total (kWh/a)	
Clima frío; factor de emisión bajo	12.31	7.97	20.28	5.633	12.62	2.6	15.22	4.228	25
Clima frío; factor de emisión medio	12.31	7.97	20.28	5.633	12.62	2.6	15.22	4.228	25
Clima cálido; factor emisión medio	3.23	0.336	3.566	991	2.95	0.104	3.054	848	14
Clima templado; factor emisión alto	8.08	2.48	10.56	2.933	6.42	0.4	6.82	1.894	35

(*) Cuatro casos representativos de situaciones reales para distintos factores de emisión y zonas climáticas del mundo.⁴⁰

80. En el caso del aire acondicionado vehicular, un informe sobre normas de uso eficiente de combustibles para ciertos vehículos de pasajeros que otorga reconocimiento al uso de sistemas ecoeficientes señala que el efecto sobre las emisiones de GEI es un indicador de beneficio potencial. El rango fluctúa entre 0.9 y 6.1 gramos de CO₂ equivalente/km.

VI. PROYECTOS PILOTO PARA LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO PCA Y PROYECTOS AUTÓNOMOS DE INVERSIÓN RELATIVA A LOS HFC

81. En las 74^a, 75^a y 76^a reuniones el Comité Ejecutivo aprobó tres estudios de factibilidad para redes de frío⁴¹ y 17 proyectos piloto de tecnologías de bajo PCA en virtud de las decisiones XXV/5 y 72/40.⁴²

82. El Cuadro 11 resume los resultados ecoenergéticos de los proyectos piloto aprobados en virtud de la decisión 72/40, excepción hecha del sector servicio técnico de equipos de refrigeración.

⁴⁰ El efecto de las emisiones de CO₂ consta en el Informe del GETE. Los datos en gigajoules (GJ) se refieren a consumo anual.

⁴¹ En República Dominicana, Egipto y Kuwait.

⁴² Incluye siete proyectos en el subsector refrigeración, climatización y ensamblaje (China, Colombia, Costa Rica, Kuwait, Arabia Saudita (dos), uno global (Argentina y Túnez) y otro regional (Asia Occidental); seis en el sector espuma (Colombia, Egipto, Marruecos, Arabia Saudita, Sudáfrica y Tailandia) y tres en el sector servicio técnico de equipos de refrigeración (Maldivas, Europa y Asia Central y un proyecto mundial (África Oriental y el Caribe).

Cuadro 11: Introducción de tecnologías de bajo PCA: estudios de factibilidad y proyectos piloto

País	Título del Proyecto (código)	Fondos (\$EUA)*	Reunión N°	Avance de la ejecución
Subsector refrigeración, climatización y ensamblaje				
China	Demostración de compresores de tornillo semiherméticos con convertidor de frecuencia a base de amoníaco, sector refrigeración industrial y comercial - Fujian Snowman Co. Ltd. (CPR/REF/76/DEM/573)	1.026.815	82	El informe señala que el CdR ⁴³ del nuevo sistema diseñado en el proyecto con capacidades de refrigeración de 56,7 kW, 167,1 kW y 216,3 kW es de 1,57, 1,63 y 2,94, respectivamente.
Colombia	Demostración de HC-290 (propano) como refrigerante alternativo en la fabricación de equipos comerciales de climatización - Industrias Thermotar Ltd. (COL/REF/75/DEM/97)	500.000	81	El informe señala que una unidad R-290 5-TR ⁴⁴ tipo split (compresor de tornillo R-290) consume 13,1% menos energía (kWh) que una unidad R-410A similar.
Costa Rica	Demostración de aplicación de sistema de refrigeración con amoníaco/dióxido de carbono en reemplazo del HCFC-22 para medianos productores y tienda de venta al público - Premezclas Industriales S.A. (COS/REF/76/DEM/55)	524.000	82	El informe final indica que la comparación de las cuentas promedio para los meses de octubre/noviembre de 2017 (antes de instalar el nuevo sistema de refrigeración) y de enero/febrero de 2018 (después de instalarlo) muestra una baja promedio del 10,23%. Se espera una reducción del consumo del 20% una vez que el sistema se estabilice y se apliquen mejores prácticas operativas.
Arabia Saudita	Proyecto piloto con fabricantes para desarrollar climatizadores de ventana e integrados que usan refrigerantes de bajo PCA (SAU/REF/76/DEM/29)	1.300.000	83	Los resultados muestran un mayor IEE de HFC-32 y R-290 respecto del R-410A a 52° C; el IEE baja para todos los refrigerantes cuando la temperatura exterior aumenta de 35 a 52° C.
Arabia Saudita	Proyecto piloto para promover el uso de refrigerantes HFO de bajo PCA en el sector climatización en lugares de altas temperaturas ambiente (SAU/REF/76/DEM/28)	796.400	--	
Regional (Asia Occidental), PRAHA-II	Fomento del uso de refrigerantes alternativos en países del Asia Occidental de alta temperatura ambiente (PRAHA-II) (ASP/REF/76/DEM/59 y 60)	700.000	--	
Sector espuma				
Colombia	Proyecto piloto para validar el uso de hidrofluoroolefinas para paneles discontinuos en países del artículo 5 por medio del desarrollo de formulaciones	248.380	81	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran que las formulaciones a base de HFO-1233zd(E) y HFO-1336mzz(Z) y agua tienen niveles de conductividad

⁴³ Coeficiente de Rendimiento.⁴⁴ Toneladas de refrigeración.

País	Título del Proyecto (código)	Fondos (\$EUA)*	Reunión N°	Avance de la ejecución
Subsector refrigeración, climatización y ensamblaje				
	económicas (COL/FOA/76/DEM/100)			térmica similares a las formulaciones a base de HCFC-141b.
Egipto	Demostración de opciones de bajo costo para conversión a tecnologías libres de SAO en microusuarios de espumas de poliuretano (EGY/FOA/76/DEM/129)	295.000	83	El informe no proporcionó información sobre la eficiencia energética de los equipos.
Marruecos	Demostración del uso de pentano como agente espumante de bajo costo para la conversión de PYMES de espuma de poliuretano a tecnologías libres de SAO (MOR/FOA/75/DEM/74)	280.500	--	
Arabia Saudita	Demostración de la eliminación de HCFC mediante el uso de HFO como agente espumante en aplicaciones de espuma pulverizada en lugares con elevadas temperaturas ambiente (SAU/FOA/76/DEM/27)	96.250	--	
Sudáfrica	Demostración de ventajas técnicas y económicas de la inyección en vacío en planta de paneles discontinuos convertida de HCFC-141b a pentano (SOA/FOA/76/DEM/09)	222.200	81	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran niveles de conductividad térmica comparables a los del HCFC-141b.
Tailandia	Proyecto de demostración en proveedores de sistemas para espumas para formular polioles premezclados para aplicaciones de espumas de poliuretano pulverizado utilizando agente espumante de bajo PCA (THA/FOA/76/DEM/168)	352.550	83	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran que las formulaciones a base de HFO-1233zd(E) y HFO-1336mzz(Z) y agua tienen niveles de conductividad térmica marginalmente mayores. Esto podría cambiar en la medida en que se optimicen las formulaciones.
Estudios de factibilidad para redes de frío				
República Dominicana	Estudio de factibilidad para redes de frío en Punta Cana (DOM/REF/74/TAS/57)	91.743	81	Aunque el beneficio fundamental del proyecto era la eficiencia energética, no hay información disponible sobre mejoría en este sentido.**
Egipto	Estudio de factibilidad para redes de frío en Nueva El Cairo (EGY/REF/75/TAS/127 y 128)	27.223	82	El informe contiene la factibilidad técnica y económica de la configuración de redes de frío y el cálculo de los retornos. No hay información disponible sobre mejorías en eficiencia energética.**
Kuwait	Estudio de factibilidad comparando tres tecnologías sustitutivas para uso en climatización central (KUW/REF/75/TAS/28 y 29)	27.223	82	El informe contiene la factibilidad técnica y económica de la configuración de redes de frío y el cálculo de los retornos. No hay información disponible sobre mejorías en eficiencia energética.**

* No incluye preparación de proyectos ni gastos de apoyo.

** El Informe del Equipo de Tareas del GETE señala que, respecto de sistemas de climatización convencionales, las redes de frío disminuyen la demanda energética entre un 55% y un 62% y consumen 40-50% menos energía.

83. El Cuadro 12 muestra los diez proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados a la fecha. Aunque al informe final debía adjuntarse un informe sobre el rendimiento energético de los equipos rediseñados, a la fecha los resultados de estos proyectos no están disponibles.

Cuadro 12. Proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados a la fecha

País	Organismo	Título
Argentina	ONUDI	Conversión para la sustitución del HFC-134a por refrigerante a base de isobutano (R-600a)/propano (R-290) en la fabricación de equipos de refrigeración residencial y comercial en Briket, Bambi y Mabe-Kronen
Bangladesh	PNUD	Conversión del HFC-134a a refrigerante a base de isobutano en la fabricación de refrigeradores domésticos; conversión de compresor de pistón de HFC-134a a compresor ecoenergético a base de isobutano en Walton Hi-Tech Industries Limited
China	PNUD	Conversión de C5+HFC-245fa a C5+HFO en fabricante de equipos de refrigeración doméstica Hisense Kelon
República Dominicana	PNUD/Canadá	Conversión de línea de fabricación de refrigeradores comerciales de HFC-134a y R-404A a refrigerante a base de propano (R-290) en Fábrica de Refrigeradores Comerciales SRL (FARCO)
Jordania	ONUDI	Conversión de HFC (HFC-134a, R-407C, R-410A) a propano (R-290) en fábrica de grandes climatizadores unitarios comerciales de azotea de hasta 400 kW en Petra Engineering Industries Co.
Líbano	ONUDI	Conversión de HFC-134a y R-404A a R-600a y R-290 en equipos de refrigeración residencial fabricados en Lematic Industries
México	ONUDI	Conversión en dos plantas de la producción de refrigeradores comerciales desde refrigerantes a base de HFC-134a y R-404A a isobutano (R-600a) y propano (R-290) - Imbera
México	PNUD/Canadá	Conversión de refrigerante HFC-134a a isobutano (R-600a) en fábrica de refrigeradores domésticos y de fábrica de compresores de HFC-134a a isobutano - Mabe México
Tailandia	BIRF	Conversión de HFC a propano (R-290) e isobutano (R-600a) en la fabricación de aparatos de refrigeración comercial - Pattana Intercool Co. Ltd.
Zimbabwe	PNUD/ Francia	Conversión de HFC-134a a isobutano en la fabricación de refrigeradores residenciales en Capri (PYME de Harare)

Recomendación

84. El Comité Ejecutivo podrá estimar oportuno someter a consideración el resumen del Informe del Grupo de evaluación tecnológica y económica sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en lo que respecta a las cuestiones mencionadas en la decisión 82/83(e) (decisión 82/83(f)), recogido en el presente documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42, durante las deliberaciones en torno a formas de llevar a la práctica los párrafos 22 de la decisión XXVIII/2 y 5 y 6 de la decisión XXX/5.

Anexo I

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL PRESENTE DOCUMENTO

FRA: Factor de Rendimiento Anual (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Coefficiente de Rendimiento (CdR): Para una bomba de calor, refrigerador o aire acondicionado, razón de calefacción o refrigeración útil a trabajo requerido. A mayor CdR, menores costos de operación.

Capacidad de refrigeración: Medida de la capacidad de un sistema de extraer calor. Se mide en kW, Btu/h o tonelada de refrigeración (RT), donde $1 \text{ RT} = 3.5 \text{ kW} = 12.000 \text{ Btu/h}$.

Carga refrigeración/calefacción: Cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar a un determinado nivel de servicio. En un edificio, una mejor aislación permite disminuir la carga de calefacción o refrigeración y mantener el mismo nivel de comodidad para el ocupante.

Coefficiente de Rendimiento (CdR): Razón capacidad de refrigeración a consumo energético de un sistema. El CdR se utiliza además en bombas de calor, en cuyo caso se define como la razón capacidad de calefacción a consumo energético del sistema.

CSPF: Factor de rendimiento estacional de la refrigeración (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Eficiencia del diseño: Rendimiento energético de los equipos según diseño o configuración. Equivale a la eficiencia nominal.

Eficiencia energética: Atributo de un dispositivo o proceso; puede ser alta o baja.

Índice de eficiencia energética (IEE): Coeficiente salida de refrigeración dividida por la entrada de energía eléctrica, medida a carga plena (a la capacidad de refrigeración o punto de diseño máximo). Se mide en W/W o Btu/h/W ($1 \text{ W} = 3.412 \text{ Btu/h}$).

Rendimiento energético: Cantidad de energía que consume un equipo o sistema para prestar un determinado nivel de servicio. El mejoramiento ecoenergético a que se refiere este informe contrasta la energía que requiere un mejor diseño con una base de comparación. Por ejemplo, si el Sistema A utiliza 10 unidades de energía y el Sistema B utiliza 8, hay una optimización de la eficiencia del 20%.

HSPF: Factor de rendimiento estacional de la calefacción (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Eficiencia instalada: El rendimiento energético del equipo instalado.

ISEER: Índice de eficiencia energética estacional de la India.

Kilovatio-hora (kWh): Medida de electricidad definida como una unidad de trabajo o energía, medida como 1 kilovatio (1.000 vatios) de potencia empleada durante una hora. Un kWh equivale a 3.412 unidades térmicas británicas (Btu) o 3,6 MJ.

Costo de fabricación: Costo de fabricar los equipos.

Millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtoe): $1 \text{ Mtoe} = 11.630 \text{ millones de kWh}$.

Punto de diseño nominal: Conjunto de condiciones (p. ej., temperatura interior y exterior) consideradas en el diseño de un sistema.

Costo de operación: Costo para el usuario de operar un equipo.

Operación a carga parcial: Condición en que la carga del sistema cae por debajo de la carga nominal (el diseño de un sistema se basa en condiciones nominales). Los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor generalmente operan a carga parcial durante la mayor parte de su vida útil.

Carga punta: Máxima demanda eléctrica que enfrenta una red eléctrica en un período determinado.

Optimización ecoenergética porcentual: Variación porcentual en el consumo de una unidad ecoenergética en comparación con una unidad base.

Tonelada de refrigeración (RT): Medida de capacidad de refrigeración, donde 1 tonelada se refiere a 12.000 Btu, equivalente a la energía necesaria para congelar 2.000 libras de agua en 24 horas. 1 RT = 3,52 KW.

Precio de venta: Precio de comprar un equipo.

Índice de eficiencia energética estacional (IEEE): Coeficiente salida de refrigeración dividida por la entrada de energía eléctrica, medida a carga plena y parcial y ponderada para representar el rendimiento general de un aparato en el clima de que se trate durante una estación de refrigeración normal en un país dado. También llamado **Factor de rendimiento estacional de la refrigeración** o **Factor de rendimiento estacional de la calefacción**. El **Factor de Rendimiento Anual (FRA)** es un criterio de medición utilizado para bombas de calor reversibles que enfrían y calefaccionan.

Consumo energético unitario: Cantidad de energía que consume un equipo, generalmente durante un año.

Variador de velocidad: Tipo de controlador que acciona un motor eléctrico por medio de variar la frecuencia y voltaje, también denominado inversor.
