







Tabla de contenido

Abreviatu	ıras y acrónimos	3
Glosario.		10
Perspecti	va del informe	14
Contexto		16
1. Intro	oducción a la refrigeración y el aire acondicionado	18
2. Refr	igerantes para sistemas de compresión de vapor	24
2.1.	Protegiendo la capa de ozono	
2.2.	Refrigerantes en términos de su protección de la capa de ozono y el calento 29	J
	sición de refrigerantes actuales a refrigerantes con bajo GWP	
	stiones de salud y seguridad de refrigerantes alternativos	
	mas relacionadas con la inflamabilidad y seguridad de los refrigerantes	
	os para la fabricación y uso de refrigerantes inflamables	
	tido de carbono	
	oniaco	
	kido de carbono con otros refrigerantes	
	como refrigerante	
	igerante R1234zeigerante R-32	
2.3.		
	, ,	
	rnativas a los sistemas de compresión de vapor.	
<i>3.1.</i>	Enfriamiento evaporativo	
3.2. 3.3.	Sistemas de refrigeración por absorción	
3.3. 3.4.	Enfriamiento de estado sólido	
	•	
	facción y aire acondicionado	
4.1.	Aires acondicionados y bombas de calor	74
5. Ilum	ninación, aire acondicionado y refrigeración	76
6. Alte	rnativas específicas a cada aplicación	77
	Aire acondicionado de edificios	
	olvente térmico de edificios	
	icios "verdes"	
	nanda de enfriamiento en ALC	
	pamiento más eficiente	
	emas de aire acondicionado mini-split	
	emas centralizados de A/A	
Siste	emas avanzados de control	89 a2



	6.2.1.	Distrito Térmico en Medellín, Colombia	96
	6.2.2.	Distrito térmicos de calor y frío	99
	6.3.	Refrigeración comercial	101
	6.3.1.	Refrigeración en supermercados	103
	Exhi	bidores de alimentos, verduras y frutas	104
7.	Revi	sión de la oferta tecnológica de los fabricantes	107
	7.1.	Introducción	
	7.2.	Daikin	109
	7.3.	Mayekawa	112
	7.4.	Otros fabricantes	114
8.	Med	lición de ahorro de energía y reducción de emisiones	118
9.	. Cond	clusiones y recomendaciones principales para la acción	119
R	eferenci	as y bibliografia adicional	128
Α	péndice	A. Etiquetado y normas de eficiencia energética para edificios	137
	-	B. Más allá de la envolvente térmica: otras medidas para reducir la demanda de enciar edificios	_
	-	C. Empresas seleccionadas y proveedores de tecnología de enfriamiento adecuados per en América Latina y el Caribe	
Α	péndice	D. Recopilación del IIEC de tecnologías de enfriamiento eficientes y limpias	149
Α	péndice	E. Etiquetas y normas de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado	154
Α	péndice	F. Factores de emisión para la generación y consumo de electricidad	161
Α	péndice	G. Estados Unidos y la inflamabilidad del refrigerante	164
	•	H. AHRI Programa de evaluación de refrigerantes alternativos con bajo potencia	



Lista de Tablas

Tabla 1. Categorias para proporcionar refrigeración, con idoneidad para refrigerar personas y objetos
Tabla 2. Potencial de agotamiento del ozono (ODP) y potencial de calentamiento global de 100 años
(GWP)30
Tabla 3. Comparison of 100-year GWP of common refrigerants used in air conditioning, as per IPCC
Fourth Assessment Report and Fifth Assessment Report. Comparación de PCG a 100 años de de
refrigerantes comunes utilizados en el aire acondicionado, según el Cuarto Informe de Evaluación y
el Quinto Informe de Evaluación del IPCC31
Tabla 4. Producción de HCFC en países del Anexo 5 del Protocolo de Montreal en 2017, comparado
con una línea de base. (Toneladas de ODP)36
Tabla 5. Propiedades del refrigerantes alternativos con bajo GWP para el aire acondicionado
estacionario38
Tabla 6. Combinaciones de inflamabilidad y toxicidad39
Tabla 7. Seguridad e inflamabilidad de refrigerantes alternativos seleccionados 41
Tabla 8. Obligaciones técnicas generales bajo estándares de seguridad para sistemas de A/A,
refrigeración y bombas de calor
Tabla 9. Límites de carga para refrigerantes inflamables (A3) según IEC 60335, antes de los aumentos
de 2019 en los límites de carga
Tabla 10. Rango de capacidad aproximado para diferentes tipos de aplicaciones que utilizan HC
(hidrocarburos), R744 (dióxido de carbono) o R717 (amoníaco)
Tabla 11. Parámetros técnicos claves del distrito térmico de La Alpujarra98
Tabla 12. Capacidad de enfriamiento de enfriadores (chillers) centrales para el proyecto de distrito
térmico de frío de Cartagena
Tabla 13. Clasificación de refrigeración comercial
Tabla 14. Fabricante o proveedor de tecnologías de refrigeración y aire acondicionado 115
Tabla 15. Lista seleccionada de empresas y tecnologías para proporcionar el aire acondicionado y
refrigeración (comentarios traducidos)



Lista de Figuras

Figura 1. El funcionamiento conceptual de un ciclo de refrigeración por compresión de. In	un
refrigerador, generalmente no se requieren los ventiladores (Fans)	. 19
Figura 2. Configuraciones de sistemas de aire acondicionado	21
Figura 3. Progresión de los refrigerantes.	24
Figura 4. Consumo mundial de substancias agotadoras de ozone, relativo al año 1986 (=100)	25
Figura 5. Concentración del ozono estratosférico en el Hemisferio Sur, en Unidades Dobson (E	
1979-2017. Una Unidad Dobson (DU) es el número de moléculas of ozono que se requeriría pa	
crear una capa de ozono puro con espesor 0,01 milímetros a una temperatura de 0 grados Celsiu	
una presión de 1 atmosfera.	-
Figura 6. Índice de radiación ultravioleta en Buenos Aires, 25 Dec. 2015	
Figura 7. Radiación solar en un día despejado en 21 de Septiembre, en una latitud de 32° Sur	
Figura 8. Niveles de UV levels con cielo despejado (izquierda) y cielo con nubosidad (der.)	
Argentina	
Figura 9. Uso global de refrigerante para el A/A en nuevos equipos de climatización unitarios	
Figura 10. Consumo de HCFCs en Argentina, 2003-15	
Figura 11. Consumo histórico de HCFC en Brasil, 2010-15, en toneladas del potencial de agotamie	
del ozono (ODP, Ozone Depletion Potential	
Figura 12. Izquierda. Contribución de HCFC y HFC en Colombia por refrigeración, aire acondiciona	
y otros usos en 2015. Derecha. Participación de diferentes refrigerantes en 2015	
Figura 13. Consumo de refrigerantes en aire acondicionado estacionario en el período 2008-20	
Tigura 13. Consumo de l'emigerantes en aire acondicionado estacionario en el periodo 2000 20	
Figura 14. Clases de inflamabilidad de refrigerantes inflamables según la norma ASHRAE standa	
34	
Figura 15. Propiedades de algunos refrigerantes de bajo GWP	
Figura 16. Ejemplo de relación entre la carga de refrigerante y la capacidad de enfriamiento	
función de la eficiencia estacional de un aire acondicionado (SEER) con R290	
Figura 17. Estimaciones de precios de refrigerantes en China	
Figura 18. COP de diferentes tipos de sistemas refrigerantes que usan CO ₂ contra un sistema	
referencia que usa R-404A, en función de la temperatura ambiente	
Figura 19. Rendimiento de modelos de chillers GEA BluAir, BluAstrum y BluGenium comparados o	
modelos "estándar" utilizando HFC y amoniaco	
Figura 20. Consumo energético de Azanefreezer 2.0 comparado con el promedio europeo (Europe	
Average) y la major práctica ("Best practice") del Reino Unido	
Figura 21. Hillphoenix Second Nature® Sistema de cascada de expansión directa a baja temperati	
(SNLTX2), utilizando CO_2 junto con HFC	
Figura 22. Configuracion de refrigeración Mayekawa NewTon que utilize amoniaco, CO ₂ y agua	
Figura 23. Diagrama de flujo a Mayekawa Pascal Air que usa aire como refrigerante para gene temperaturas ultra bajas (izquierda) y para liofilización (derecha)	
Figura 24. Los isómeros de HFO-1234ze	
Figura 25. Fabricantes de equipos que usan R-32 como refrigerante en A/A de sistema divid	
("split") e infraestructura asociada	
Figura 26. Centros de Reciclado de Refrigerantes, CRR	
evaporativo directo. El aire caliente y seco (condición A) pasa a través de medios húmedos y alcar	
la condición B, con una temperatura más baja del bulbo seco, pero una humedad relativa más a	1ta. 59



Figura 28. Mapa mundial de clasificación climática de Köppen. El enfriamiento por evaporación el más efectivo en lugares secos y calientes, específicamente BWh, que se muestra en rojo en el mapa
Figura 29. Funcionamiento del aire acondicionado evaporativo mejorado con desecante (Desiccant Enhanced eVaporative air conditioner, DEVap)
Figura 30. Ciclo básico de compresión de vapor (arriba) y un ciclo básico de enfriamiento po absorción (abajo)
Figura 31. Esquema del sistema "puro" de aire acondicionado de agua de mar
Figura 32. Esquema del sistema "híbrido" de aire acondicionado de agua de mar 67
Figura 33. Las ubicaciones potenciales para la aplicación del aire acondicionado de agua de ma
incluyen las zonas costeras de América Latina y todo el Caribe
Figura 34. Ocho ubicaciones en cuatro islas del Caribe evaluadas por CAF en 2014 68
Figura 35. Mapas de SWAC en ALC representados por (a) la longitud de la tubería, (b) factor de capacidad y (c) profundidad donde se extrae el agua de mar
Figura 36. Posibles proyectos de SWAC en ALC: estimación de costos en dólares por kWh de
enfriamiento
Figura 37. Seguimiento del Progreso de Energía Limpia (Tracking Clean Energy Progress): Edificios
Figura 38. Densidad poblacional, personas por km², 2017 80
Figura 39. Porcentaje de la población total (%) que vive en entornos urbanos con una población de más de 1 millón de personas, 2017
Figura 40. Demanda de enfriamiento, determinado por grados días de frío (cooling degree days
CDD), base 18 °C
Figura 41. Aumento de los grados días de enfriamiento (cooling degree days, CDDs) en el Escenario
de Línea de Base de la AIE en relación con los CDD históricos, 2016-5083
Figura 42. El efecto de isla urbana de calor (urban heat island effect)
Figura 43. Relaciones de eficiencia energética estacional (Seasonal energy efficiency ratio, SEER) de
equipos residenciales de A/A disponibles en países / regiones seleccionados, 2018 8
Figura 44. Tendencias en la eficiencia de equipos compactos de A/A e índices de precios en Corea del Sur
Figura 45. Argentina: Porcentaje de modelos de equipos de A/A mini-split en modo de enfriamiento
según la clase de eficiencia, que muestra un cambio desde 2008, antes de que se implementara e
programa de etiquetado, cuando se estimó que los modelos estaban en las clases D y E, hasta e
primer año después del etiquetado (2010) con la mayoría de los modelos C o D, hasta 2019, donde
todos los modelos son A
Figura 46. Eficiencia de diferentes tipos de sistemas de aire acondicionado, incluidos mini-split
compacto (autocontenido) y varias configuraciones de sistemas de aire acondicionado central 89
Figura 47. Consumo de energía de un sistema de enfriamiento del edificio operado
alternativamente a velocidad constante (y volumen de refrigerante constante) y velocidad variable
(VRV)
Figura 48. Desglose del uso de combustibles en distritos térmicos de calefacción y refrigeración er todo el mundo en 2014
Figura 49. Altura sobre el nivel del mar y temperatura media de principales centros urbanos er
Colombia
Figura 50. Distribución geográfica del potencial de refrigeración por sectores, en miles de tonelada:
de refrigeración95
Figura 51. Esquema general del distrito térmico de frío de EPM en Medellín, Colombia 96
Figura 52 Proceso para la generación de frío en el distrito térmico de La Alpujarra 97



Figura 53. Vista aérea del distrito térmico de frío de EPM en Medellín, Colombia, que muestra la
planta de generación de frío en el centro97
Figura 54. Vista exterior de la planta de generación de frío de La Alpujarra98
Figura 55. Modo de operación 1: invierno. El calor residual de la turbina de gas pasa a través del
generador de vapor de recuperación de calor, y el vapor pasa sólo a través de la turbina de vapor
de alta presión (AP). Vapor sale de la turbina de AP a 294 C y entra en el intercambiador de calor del
distrito térmico de calor100
Figura 56. Modo de operación 3: verano. Todo el calor recuperado de la turbina de gas se envía a
ambas etapas de la turbina de vapor para maximizar la generación de electricidad. Sin embargo,
dado que se necesita algo de calor para calentar el agua y algo para el aire acondicionado, el sistema
funciona en modo 1 y modo 3, alternativamente, según sea necesario
Figura 57. Modo de operación 5: primavera y otoño. Esto está entre los modos 1 y 3: algo de calor
va a la turbina de vapor de baja presión dependiendo de la demanda de calor
Figura 58. Food display unit by De Rigo Refrigeration uses R-290 (hydrocarbon) refrigerant 105
Figura 59. Unidad de condensación Panasonic con refrigerante CO ₂ (izq.) instalada en un
supermercado de Malasia (der.) 105
Figura 60. Exhibidor de verdure y fruta basado en Coolplates, Grener Systems Nederland BV 106
Figura 61. La experiencia de Daikin en el desarrollo de refrigeración, aire acondicionadores y bombas
de calor 109
Figura 62. Daikin en América Latina y el Caribe110
Figura 63. Daikin ha aumentado su proporción de unidades con inverter, así como el uso de R-410A
en ALC en sistemas de A/A split en los últimos años111
Figura 64. Equipos Mayekawa basados en refrigerantes naturales112
Figura 65. La presencia de Mayekawa en ALC incluye fábricas en Cuernavaca (México) y Arujá
(Brasil), que se muestran como estrellas azules en el mapa



Abreviaturas y acrónimos

ABNT Asociación Brasileña de Normas Técnicas

AHRI Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (USA): Instituto de Aire

Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (EE. UU.), anteriormente ARI

AIE Agencia Internacional de Energía

ALC América Latina y el Caribe

ANSI American National Standards Institute (USA) (Instituto Nacional Americano de

Normas, EE. UU.)

ARI Air Conditioning and Refrigeration Institute (Instituto de Aire Acondicionado y

Refrigeración). Desde 2007, es AHRI

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

(Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire

Acondicionado)

BEPS Building energy performance standards (Normas de rendimiento energético de

edificios)

BM Build Margin (Margen de construcción. factor de emisiones)

CAF Banco de Desarrollo de América Latina, anteriormente Corporación Andina de

Fomento

CCS Carbon Capture and Storage (Captura y almacenamiento de carbono)

CDM Clean Development Mechanism (Mecanismo para un Desarrollo Limpio (del

Protocolo de Kyoto de la CMNUCC)

CEN Comité Europeo de Normalización

CENELEC Comité Europeo de nNormalización Electrotécnica

CFC Clorofluorocarbono

CHP Combined heat and power (Generación simultánea de calor y energía eléctrica

CM Combined Margin (Margen combinado, factor de emisiones)

CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, también

UNFCCC

CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

COP Coefficient of performance (Coefficiente de rendimiento, sin dimensiones)

DEVap Desiccant-Enhanced eVaporative air conditioner (Aire acondicionado evaporativo

mejorado con desecante)

DOE Department of Energy (Departamento de Energía de los EEUU

DU Dobson Unit (Unidad Dobson)

EER Energy Efficiency Ratio (Relación de eficiencia energética)

EF Emissions factor (Factor de emisión para la generación eléctrica (también para

consumo)

EN Norma europea ratificada por una de las tres organizaciones europeas de

normalización: CEN, CENELEC o ETSI

EPA Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los EEUU)

EPM Empresas Públicas de Medellín

ESCO Energy service company (Empresa de servicios energéticos)

ETSI European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Normas

de Telecomunicaciones)



EV Electric vehicle (Vehículo eléctrico)

FMAM Fondo para el Medio Ambiente Mundial, también conocido como GEF

FV Fotovoltaico/a

GABC Global Alliance on Buildings and Construction (Alianza global en edificios y

construcción)

GEF Global Environment Facility (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)

GHG Greenhouse gas (Gas de efecto invernadero)

HC Hidrocarburo

HCFC Hidroclorofluorocarbono HFC Hidrofluorocarbono HFO Hidrofluoroolefina

IEC International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)

IEA International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)

IIEC International Institute for Energy Conservation (Instituto Internacional para la

Conservación de Energía)

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático)

IRAM Instituto Argentino de Normalización y Certificación

IRENA International Renewable Energy Agency (Agencia Internacional de Energías

Renovables)

ISO International Organization for Standardization (Organización Internacional de

Normalización)

K-CEP Kigali Cooling Efficiency Program (Programa Kigali de Eficiencia en la

Refrigeración y el Aire Acondicionado)

kWh Kilowatt hora

LAC Latin America and the Caribbean (América Latina y el Caribe, ALC)

LED Light emitting diode (Diodo emisor de luz)

LEED Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño

Ambiental)

LT Low temperature (Baja temperatura, para sistemas de refrigeración)

MEPS Minimum energy performance standards (Normas de rendimiento energético

mínimo).

MRV Measurement, Reporting and Verification (Medición, Reporte y Verificación)

MSEF MGM Sustainable Energy Fund (Fondo MGM de energías sostenibles)
MT Medium temperature (Temperatura media, para sistemas de refrigeración)

MWh Megawatt hora

NAMA Nationally Appropriate Mitigation Actions (Acciones de mitigación apropiadas a

cada país)

NASA National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de

Aeronáutica y Espacial, EEUU)

NDC Nationally Determined Contributions (Contribuciones determinadas a nivel

nacional: (compromisos de los países sobre cambio climático, informados a la

CMNUCC)

NIST National Institute of Standards and Technology (Instituto Nacional de Normas y

Tecnologías de los EEUU

NOM Normas Oficiales Mexicanas



NREL National Renewable Energy Laboratory (Laboratorio Nacional de Energías

Renovables de los EEUU)

ODP Ozone depletion potential (Potencial de agotamiento del ozono)
ODS Ozone depleting substances (Sustancias agotadoras del ozono)
OM Operating Margin (Margen operativo, factor de emisiones)

OMM Organización Meteorológica Mundial

OTEC Ocean Thermal Energy Conversion (Conversión de energía térmica oceánica)

PCG Potencial de calentamiento global = GWP

PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PoA Programme of Activities: Programa de Actividades, un conjunto de proyectos de

mitigación del cambio climático, dentro del MDL (ver arriba) y Gold Standard

(mercado voluntario)

PROCEL Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica (Brasil)

PV Photovoltaic (Fotovoltaico/a, también FV) **RETIQ** Reglamento Técnico de Etiquetado (Colombia)

RT Refrigeration ton (Tonelada de refrigeración, una medida de capacidad de

enfriamiento = 12,000 Btu/h,

RTQ-C Requisitos Técnicos de Calidad para el Nivel de Eficiencia Energética de Editores

Comerciales, de Servicios y Públicos (Brasil)

SAO Sustancia agotadora de la capa de ozono, = ODS

SIDS Small Island Developing States (Pequeños países isleños en desarrollo) SWAC Sea water air conditioning (Aire acondicionado con el agua del mar

TEAP Technology and Economic Assessment Panel (Panel de Evaluación Tecnológica y

Económica, Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono)

TEWI Total equivalent warming impact (Impacto de calentamiento equivalente total)
TDL Transmission and distribution losses (Pérdidas de transmisión y distribución)
TR Toneladas de refrigeración, una medida de capacidad de enfriamiento = 12,000

Btu/h = 3.5 kW

TRL Technology readiness level (Nivel de madurez tecnológica)

UNDP United Nations Development Programme (Programa de las Naciones Unidas para

el Desarrollo, PNUD)

UNEP United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para

el Medio Ambiente, PNUMA)

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de

las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC)

UNIT Instituto Uruguayo de Normas Técnicas UPB Universidad Pontificia Bolivariana

VRF Variable refrigerant flow (Flujo variable de refrigerante)

WMO World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial, OMM)



Glosario

Nota: En algunos casos, se utilizan los términos en inglés; por ello, se incluyen.

APF: Annual Performance Factor (ver Seasonal Energy Efficiency Ratio). Representa la capacidad de calefacción y refrigeración por kilowatt hora (kWh) durante un año de uso de un aire acondicionado en condiciones específicas.

Bomba de calor geotérmica: un sistema de calefacción central (y/o enfriamiento) que "bombea" calor desde el suelo para su uso como calefacción doméstica. Indicador de rendimiento: EER

Bomba de calor (con fuente de aire): una bomba de calor utilizada para enfriamiento mueve, o "bombea", calor del ambiente interior y rechaza el calor al ambiente exterior. Una bomba de calor con fuente de aire también puede mover, o "bombear", el calor del aire exterior y usar este calor para proporcionar agua caliente o calefacción doméstica. El indicador de rendimiento para calefacción es HSPF y para enfriamiento SEER.

Capacidad de enfriamiento: Una medida de la capacidad de un sistema para eliminar el calor. Medido en kW, BTU/h, o tonelada de refrigeración (TR), donde 1 TR = 3.5 kW = 12,000 BTU/h.

Carga máxima: la mayor demanda de electricidad que ocurre dentro de un período determinado en una red eléctrica.

Coefficient of performance (COP, a veces CP o CoP): Para una bomba de calor, un refrigerador o un sistema de aire acondicionado, esta es una relación de calefacción o refrigeración útil proporcionada para el trabajo requerido. Los valores de COP más altos equivalen a menores costos operativos. Es la relación entre la capacidad de calentamiento/enfriamiento y la entrada de potencia efectiva al dispositivo en cualquier conjunto de condiciones de clasificación (ISO 5151: 2017-7). Se expresa en vatios dividido por la entrada de potencia en vatios (medida sin unidad), o BTU por hora dividido por Watts de entrada de potencia (BTU/h/W).

Carga de refrigeración/calefacción: La cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar a un nivel de servicio deseado. Mejorar el aislamiento en un edificio es una estrategia para reducir la carga de calefacción y refrigeración al tiempo que proporciona el mismo nivel de comodidad al ocupante. Una medida de carga de enfriamiento/calentamiento son los grados días de enfriamiento/calentamiento en días. Un grado día mide cuán frío o cálido es un lugar determinado, comparando la media de las temperaturas exteriores altas y bajas registradas cada día (temperatura media diaria) con una temperatura estándar (por ejemplo, 18°C).

Consumo unitario de energía: la cantidad de energía consumida por una unidad de equipo, generalmente durante un año.



CSPF: Cooling season performance factor (ver Seasonal Energy Efficiency Ratio). Factor de rendimiento de la temporada de enfriamiento (ver Índice de eficiencia energética estacional).

Chiller Central: Un tipo de equipo de enfriamiento con ubicación central en un edificio y que produce agua fría para enfriar el aire. Indicador de rendimiento: EER, kW/ton, COP.

Distrito térmico de enfriamiento: El agua enfriada fuera de un edificio en una planta central que se canalizó hacia el edificio como fuente de frío.

Dobson unit (DU): ver Unidad Dobson.

Eficiencia de diseño: el rendimiento energético de los equipos diseñados o enviados, igual que la eficiencia de la placa de identificación.

Energy Efficiency Ratio (EER): Relación de la salida de enfriamiento dividida por la entrada de energía eléctrica cuando se mide a plena carga (es decir, a la capacidad máxima de enfriamiento o el punto de diseño) y se mide en W/W o Btu/h/W (1 W = 3.412 Btu/h)

Energy service company (ESCO): Una empresa que ofrece servicios de energía que pueden incluir la implementación de proyectos de eficiencia energética (y también proyectos de energía renovable) y, en muchos casos, llave en mano. Una ESCO puede financiar o ayudar a financiar estos proyectos. A veces, las ESCO brindan garantías de ahorro de energía, y/o sus ingresos dependen del ahorro de energía realmente logrado.

Energy Star®: Un programa dirigido por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU y el Departamento de Energía de EEUU que promueve la eficiencia energética.

Enfriador evaporativo: un tipo de equipo de enfriamiento que hace que el aire sea húmedo y frío al rociar agua fría en los conductos y enfriar el aire a medida que se evapora el rocío.

Eficiencia instalada: el rendimiento energético de los equipos instalados.

Flujo de refrigerante variable: Ver Variable refrigerant flow

Grados días de refrigeración (GDR, o CDD: Cooling degree days): Los GDR o CDD miden cuánto la temperatura diaria media excede la temperatura estándar o de referencia cada día durante un período determinado, que puede ser cualquier período de interés (por ejemplo, un período de medición) o todo el año.

HSPF: Heating Seasonal Performance Factor (ver Seasonal Energy Efficiency Ratio). Factor de rendimiento estacional de calefacción.

Isla urbana de calor (Urban heat island): una elevación en las temperaturas del aire urbano en comparación con las zonas rurales circundantes.



Kilowatt-hour (kWh): Una medida de energía, medida como 1 kilowatts (1,000 watts) de energía gastada durante 1 hora. Un kWh es equivalente a 3,412 unidades térmicas británicas (Btu British Thermal Units).

MGM Sustainable Energy Fund (MSEF): Un fondo de capital privado que invierte en proyectos de eficiencia energética y energía renovable en América Latina y el Caribe.

Millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) o (Mtoe, Million tons oil equivalent) 1 Mtep = 11.63 mil millones de kWh.

Operación a carga parcial: condición que ocurre cuando el sistema tiene que enfrentar una carga inferior a la nominal (las condiciones nominales se utilizan para el diseño del sistema). Los sistemas de refrigeración, A/A y bombas de calor generalmente operan en condiciones de carga parcial durante la mayor parte de su ciclo de vida.

Packaged A/C: un tipo de equipo de calefacción y/o enfriamiento que se ensambla en una fábrica y se instala como una unidad autónoma. Indicador de rendimiento: EER, SEER.

Pérdidas de transmisión y distribución (Transmission and distribution losses, TDL): proporción promedio de electricidad perdida desde la generación hasta el punto de uso.

Porcentaje de mejora de la eficiencia energética: cambio porcentual en el consumo de energía de una unidad eficiente en comparación con una unidad de base o de referencia.

Precio de venta minorista: precio para comprar el equipo.

Punto de diseño nominal: representa el conjunto de condiciones (por ejemplo, temperaturas interiores y exteriores) utilizadas para diseñar el sistema.

Rendimiento energético: la cantidad de energía consumida para que un equipo o sistema realice un nivel específico de servicio.

Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER): Relación de salida de frío dividida por la entrada de energía eléctrica, medida a carga completa y parcial, y ponderada para representar el rendimiento general del dispositivo para el clima durante una temporada de aire acondicionado típica en cada país. Un nombre alternativo a SEER es Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF). El factor de rendimiento estacional de calefacción (HSPF, Heating Seasonal Performance Factor) se utiliza para la calefacción. El Factor de rendimiento anual (Annual Performance Factor, APF) es una medida utilizada para los equipos reversibles de bombas de calor que pueden utilizarse tanto para calefacción como para refrigeración.

Technology readiness level (TRL): Originalmente definido por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration, NASA), pero desde entonces se ha aplicado a otras áreas tecnológicas. Los números TRL más altos indican tecnologías más maduras. La definición original de la NASA pasó de TRL Nivel 1 - Principios básicos observados e informados a TRL Nivel



7 - Adecuación del sistema validada en el espacio. Los números TRL más altos indican tecnologías más maduras. En este informe, para aplicaciones más terrestres, se han agregado tres niveles adicionales: TRL 8 - Producto desarrollado; TRL9 - En producción; TRL10 - Oferta madura o producto comercial.

Tonelada de refrigeración (TR): medida de la capacidad de enfriamiento, donde 1 tonelada se refiere a 3.5 kW (12.000 Btu).

Total equivalent warming impact (TEWI): Impacto de calentamiento equivalente total (TEWI) TEWI agrega emisiones directas de GEI (refrigerantes y otras fugas de gases de GEI) y emisiones indirectas (emisiones de CO₂ de la generación de electricidad).

Transmission and distribution losses (TDL): ver Pérdidas de transmisión y distribución

Unidad Dobson (Dobson Unit, DU): una unidad Dobson es la cantidad de moléculas de ozono que se necesitarían para crear una capa de ozono puro de 0.01 milímetros de espesor a una temperatura de 0 grados Celsius y una presión de 1 atmósfera. La "Unidad Dobson" lleva el nombre del profesor G.M.B. Dobson (1889-1976), quien comenzó a estudiar la capa de ozono en la década de 1920.

Urban heat island: Ver Isla urbana de calor.

Variable refrigerant flow (VRF) (Flujo de refrigerante variable): unidades de A/A más complejas que generalmente tienen un compresor y una unidad de condensación, pero múltiples unidades de evaporación en espacios acondicionados separados, que emplean un sistema de control complejo. El sistema de control ajusta el flujo de refrigerante para lograr el aire acondicionado deseado para cada uno de los diferentes espacios que se están acondicionando.

Variable speed drives (VSD) (Variadores de velocidad): un tipo de controlador de motor que controla un motor eléctrico variando la frecuencia y el voltaje suministrados al motor eléctrico, también conocido como "invertir".



"Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía había de recordar aquella tarde remota en que su padre lo llevó a conocer el hielo." Primera frase del libro **Cien años de soledad**, de Gabriel García Márquez (1967).

Perspectiva del informe

Este informe presenta una revisión de las tecnologías de refrigeración y aire acondicionado que reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero, que comprenden tanto "emisiones directas", debidas a la liberación de refrigerantes con alto potencial de calentamiento global, como "emisiones indirectas" debidas al consumo de electricidad.

Puesto que el tema es muy extenso, el presente informe limita el alcance (a) al enfocarse en América Latina y el Caribe (ALC), y (b) al considerar la perspectiva de una empresa de servicios energéticos (ESCO), es decir, una empresa privada que invertiría en proyectos con el objetivo de la reducción de emisiones tal como se define en el párrafo anterior.

La limitación geográfica de ALC tiene en cuenta que:

- El clima es templado o cálido, con solo una pequeña población en climas muy fríos;
- Los recursos solares son excelentes en muchos países;
- La generación de electricidad es en gran medida a partir de fuentes renovables (históricamente hidroeléctrica, pero se ha extendido a la energía solar y eólica en los últimos años); y
- Las alternativas tecnológicas son limitadas en algunos países, porque el tamaño del mercado es pequeño.

La perspectiva de ESCO se enfoca en áreas donde existen oportunidades de inversión y mercado, e incluye:

- Enfriamiento en edificios comerciales y públicos, por ej. hoteles, hospitales, edificios de oficinas;
- Refrigeración comercial, por ejemplo, supermercados/retails, expendedoras ("displays") de alimentos y bebida, máquinas expendedoras de hielo y agua fría, refrigeradores para hielo y helados, etc.;
- Centros de distribución de alimentos y bebidas; y
- Enfriamiento de procesos industriales, p. ej. para conservar carne, pollo, pescado
- Financiar el reemplazo de refrigeradores y equipos de aire acondicionado en viviendas; etc.

La perspectiva de ESCO se enfoca en el corto plazo, es decir, las inversiones en los próximos cinco años, y por lo tanto se enfoca en tecnologías que ya están maduras, tal vez en otras regiones, pero no en ALC. Por lo tanto, una ESCO no considera tecnologías relativamente nuevas que no han sido demostradas comercialmente, ni ninguna otra alternativa, por prometedora que sea, que se encuentre en una etapa temprana de desarrollo.



Las oportunidades de inversión de ESCO generalmente excluyen los siguientes tipos de actividades que serían complementarias para avanzar hacia la reducción de emisiones de GEI en refrigeración y aire acondicionado, pero más allá del alcance de una ESCO:

- Iniciativas gubernamentales, incluidas leyes, reglamentos e incentivos fiscales;
- Edificios residenciales, excepto donde están agrupados, por ejemplo, conjunto de edificios públicas y privadas;
- Construcción de edificios;
- Fabricación de equipos, aunque una ESCO puede participar en proyectos piloto y de demostración para ayudar a llevar al mercado tecnologías prometedoras específicas;
- Proyectos que requieren inversiones muy grandes, digamos más de 10 millones de dólares.



Contexto

El Banco Mundial ha identificado cuatro elementos de enfriamiento sostenible^{1.} Estos se comentan a continuación:

- 1. La refrigeración es vital tanto para la salud como para la prosperidad.
- 2. La refrigeración "habitual" (como escenario "Business as usual (BAU)") será un desastre para el planeta. La refrigeración contribuye al cambio climático al aumentar la demanda de electricidad, gran parte de la cual aún se genera a partir de combustibles fósiles, y a través de fugas de refrigerantes, que tienen un potencial de calentamiento global mucho mayor que las emisiones de CO₂. Los dispositivos de enfriamiento convencionales—como refrigeradores, acondicionadores de aire compactos, enfriadores a escala industrial y otros dispositivos—representan hasta el 10% de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Además, si no se controlan, se espera que las emisiones del enfriamiento se dupliquen para 2030 y se tripliquen para 2100, impulsadas por las olas de calor, el crecimiento de la población, la urbanización y una creciente clase media. La refrigeración "habitual" genera un círculo vicioso: a medida que el mundo se calienta, la mayor demanda de refrigeración aumenta los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero que, a su vez, aumentan las temperaturas y hacen que el acceso a la refrigeración sea aún más crítico, al tiempo que pone en peligro la seguridad humana y medios de vida.
- 3. Enfriar bien es una gran oportunidad. El enfriamiento asequible y sostenible en los países en desarrollo puede ayudar a aliviar la pobreza, reducir la pérdida de alimentos, mejorar la salud, gestionar la demanda de energía y combatir el cambio climático.
- 4. Asia será clave para el desarrollo de tecnologías de refrigeración sostenibles. Comentario de MGM: las megaciudades asiáticas son vulnerables al fenómeno de las islas de calor urbano. Si bien América Latina alberga algunas de las áreas metropolitanas más grandes, especialmente las áreas metropolitanas de Sao Paulo, Ciudad de México, Buenos Aires, Río de Janeiro (todas superan los 10 millones), con Lima y Bogotá (cada una supera los 8 millones), en su mayoría no se encuentran en climas cálidos. Además, muchos países latinoamericanos tienen un factor de emisión relativamente bajo para la generación de electricidad, lo que reduce aún más el impacto del uso de electricidad para el sector de la refrigeración en el cambio climático. Por supuesto, hay muchas personas en climas cálidos y varios países tienen emisiones relativamente altas de la generación de electricidad, por ejemplo, las islas del Caribe y los países de Centroamérica (excepto Belice, Costa Rica y Panamá), que generan electricidad principalmente a través del combustóleo (fuel oil).

La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha estado siguiendo el progreso de la energía limpia (Tracking Clean Energy Progress, https://www.iea.org/tcep/). Las tecnologías que están por buen camino están marcadas en verde, mientras que las que están atrasadas están marcadas en rojo. Entre ellas (amarillo) se encuentran "enfriamiento (entendido como refrigeración y aire acondicionado)" y "Electrodomésticos y equipos". Esta revisión se enfoca

_

http://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/23/four-things-you-should-know-about-sustainable-cooling



en tecnologías de enfriamiento limpias aplicadas a la refrigeración y el aire acondicionado. Sin embargo, tenemos en cuenta que la AIE marcó en rojo tres categorías, "Envolvente de edificios", "Calefacción" y "Bombas de calor". Las tres están relacionadas con el aire acondicionado y también se analizan en este informe.

El informe se ha organizado de la siguiente manera:

La Sección 1 presenta una breve introducción a la refrigeración y el aire acondicionado, destacando la prevalencia de los sistemas de compresión de vapor, que tradicionalmente usaban refrigerantes.

La Sección 2 revisa los refrigerantes utilizados en los sistemas de compresión de vapor, incluidas sus propiedades, el impacto ambiental, con un enfoque en alternativas que no son sustancias que agotan la capa de ozono (ODS, ozone depleting substances) y tienen un bajo potencial de calentamiento global (GWP, global warming potential).

La Sección 3 revisa las alternativas a los sistemas de compresión de vapor, especialmente porque estos no requieren refrigerantes que son ODS ni tienen un GWP significativo.

La Sección 4 señala que la calefacción y el aire acondicionado a menudo involucran tecnologías similares, y que existen oportunidades para la reducción de emisiones de GEI al incluir la calefacción en la discusión.

La Sección 5 señala brevemente que la iluminación eficiente reduce el consumo energético en el aire acondicionado y la refrigeración.

Una ESCO u otro inversionista enfrenta opciones para aplicaciones específicas. Por lo tanto, un enfoque específico de las distintas aplicaciones es la base de la **Sección 6**.

La Sección 7 revisa las tecnologías en función de las ofertas de productos de los fabricantes, enfocándose en dos fabricantes globales y resumiendo el resto.

La Sección 8 presenta algunos comentarios sobre la medición del ahorro de energía y la reducción de emisiones.

Por último, **la Sección 9** proporciona conclusiones y principales recomendaciones basadas en las secciones anteriores.



1. Introducción a la refrigeración y el aire acondicionado

La mayoría de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado involucran energía mecánica y / o eléctrica. La forma en que se logra el enfriamiento se puede clasificar en términos generales en las cinco categorías indicadas en la Error! Reference source not found. El sistema más común comprende un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, explicado simplemente en la Error! Reference source not found.

Tabla 1. Categorías para proporcionar refrigeración, con idoneidad para refrigerar personas y objetos

#	Tabla 1. Categorías para proporcionar refrigeración, con idone	Apto para enfriar		
"	Categoría y breve descripción	Personas	Objetos o ambientes	
1	Ventiladores. Dispositivos mecánicos que enfrían personas y no espacios. Si bien estos se han utilizado ampliamente, especialmente en los países más pobres, no son relevantes para las actividades de las ESCO y no se discuten más en este informe.	Sí	No	
2	Enfriamiento evaporativo. La mayoría de los sistemas de aire acondicionado enfrían los espacios al reducir la temperatura y la humedad para lograr el confort térmico. Sin embargo, la temperatura puede reducirse evaporando agua, lo que aumenta la humedad. En lugares secos, el aumento de la humedad no produce molestias. Grandes partes de ALC, especialmente a lo largo de la costa del Pacífico, y que a menudo alcanzan tierra adentro, son secas, por lo que el enfriamiento por evaporación es relevante para las ESCO, y se discutirá en este informe.	Sí	No, aunque las ollas de barro se usan para mantener el agua fresca	
3	Enfriamiento por absorción. Un sistema de enfriamiento activado por calor basado en la absorción de la solución. Aunque nominalmente menos eficiente que la compresión de vapor, la fuente de calor puede ser calor residual de la generación de electricidad, otro calor residual o la energía solar. Los refrigerantes típicos son una combinación de agua y amoníaco, que no agotan el ozono ni tienen un alto potencial de calentamiento global (GWP o PCG).	Si, aire acondicionado	Sí, equipos de refrigeración	
4	Enfriamiento por compresión de vapor. Esta es la base de la mayoría de los sistemas mecánicos de refrigeración y aire acondicionado. Requieren de un refrigerante, y muchos refrigerantes usados eran sustancias que agotan el ozono (ODS o SAO) hasta que su uso fue prohibido por el Protocolo de Montreal. Otros refrigerantes aún en uso tienen un alto potencial de calentamiento global. Los refrigerantes que no son SAO (u ODS), que tienen un bajo PCG (o GWP), mientras que sean	Si, aire acondicionado	Sí, equipos de refrigeración	



	energéticamente eficientes, requieren de un amplio estudio de alternativas. Una revisión exhaustiva de los refrigerantes forma parte importante de este informe.		
5	Enfriamiento en estado sólido. El enfriamiento en estado sólido, como su nombre lo indica, no requiere del movimiento de ningún fluido ni tiene partes móviles. Hay cuatro tipos: termoeléctrico (basado en el efecto Peltier) se conoce desde hace mucho tiempo; magnético (basado en el principio magnetocalórico), termoacústico y termoelástico .	Aún no	Sí, p.e. Enfriamiento termoeléctrico

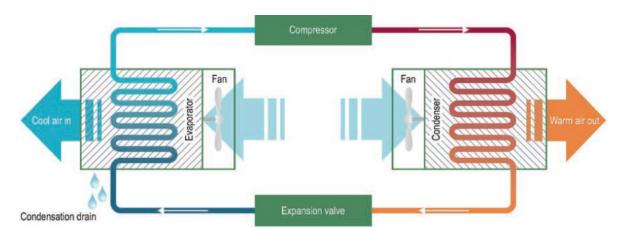


Figura 1. El funcionamiento conceptual de un ciclo de refrigeración por compresión de. In un refrigerador, generalmente no se requieren los ventiladores (Fans).

Fuente: IEA, 2018, Figure 1.1

En esta revisión de tecnologías, con un enfoque en las opciones que ya son comerciales o que probablemente lo sean en el corto plazo, nos enfocamos en las Opciones 2, 3 y 4 de la tabla anterior. No consideramos la Opción 1 (ventiladores), ya que la tecnología ya se usa ampliamente y, además, no requiere inversión de terceros. La opción 5 se descarta por diferentes razones, como se discutará en una sección sobre enfriamiento de estado sólido.

Las tecnologías de las Opciones 2, 3 y 4 requieren refrigerantes, que se revisan en la siguiente sección.

Otra forma de clasificar los equipos de refrigeración y aire acondicionado es mediante la configuración, que a menudo depende de la aplicación. Los refrigeradores domésticos y los refrigeradores comerciales pequeños son unitarios, mientras que los sistemas de refrigeración comercial más grandes están formados por componentes conectados. En la Figura 2 se muestra una clasificación de las configuraciones de aire acondicionado, con los detalles en el cuadro más abajo. Todos los acondicionadores de aire, excepto los compactos (instalados en ventanas o a través de la pared) son relevantes para esta revisión tecnológica. Los equipos de aire acondicionado compactos están actualmente en desuso, y fueron reemplazados por los A/A mini-split, que se hacen cargo de este segmento del mercado.



Los sistemas de compresión de vapor (Opción 4) así como los sistemas de estado sólido (Opción 5) también se pueden usar para la calefacción de espacios, calentar agua y otros usos de calor. Dichos sistemas comprenden alternativas mucho más eficientes energéticamente que el calor generado por la quema de combustibles o por el calentamiento por resistencia eléctrica. Por lo tanto, el enfriamiento limpio puede extenderse a la calefacción, para reducir aún más las emisiones de CO₂. Es necesario tener en cuenta las propiedades de cualquier refrigerante utilizado.

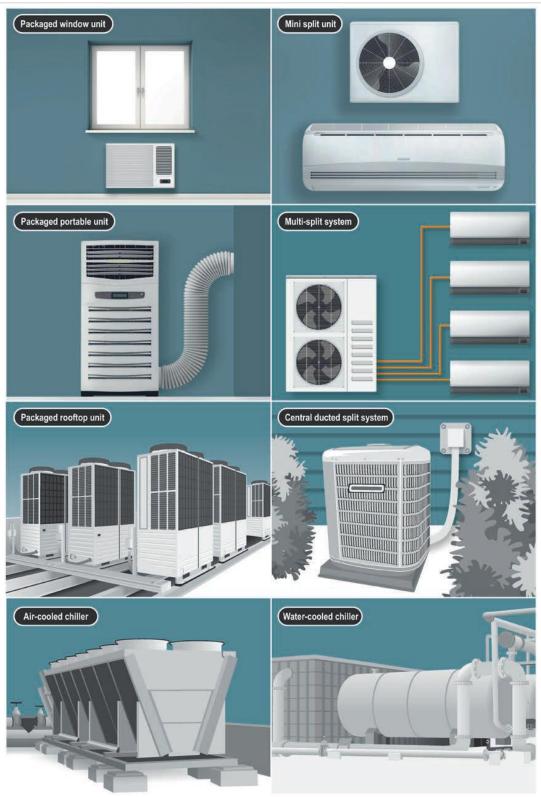


Figura 2. Configuraciones de sistemas de aire acondicionado Fuente: IEA, 2018, Fig. 1.2.



Tipos de aire acondicionado en uso hoy (Traducido y adaptado de: IEA, 2018, Box 1.1)

Los A/A unitarios "paquetes" van desde unidades de ventana pequeña que enfrían una habitación individual hasta unidades de techo grandes que son capaces de enfriar un edificio completo (a menudo como parte de un sistema HVAC general). Todos los A/A unitarios, contienen el condensador y el evaporador en una sola caja que saca el aire caliente del edificio y entra al aire frío del interior. Los principales tipos de A/A unitarios o paquetes son los siguientes:

- *Unidades compactas* (o de ventana) que son lo suficientemente pequeñas como para caber en un marco de ventana estándar. A veces se las instalan a través de la pared. En Colombia, se las conocen como equipos autocontenidos.
- Equipos de A/A terminales, comunes en los hoteles, se caracterizan por una unidad grande debajo de una ventana con una abertura a la parrilla que atraviesa la pared que conecta la unidad de condensación en el exterior con la unidad de evaporación en el interior.
- *Unidades portátiles* están diseñadas para ser transportadas fácilmente dentro de un edificio de una habitación a otra, con una manguera para evacuar el aire caliente de la unidad al exterior.
- Equipos unitarios de techo, también conocidas como unidades exteriores, son sistemas enfriadores ("chillers") unitarios más grandes que suministran aire frío al edificio a través de conductos.

Los sistemas de A/A denominados "Split" van desde unidades de habitaciones pequeñas hasta sistemas grandes que pueden enfriar un gran complejo de edificios. En todos los casos, el condensador se encuentra fuera del edificio y se separa a través de una tubería que lleva el refrigerante al evaporador, o unidad de tratamiento de aire, en el interior del edificio.

- Los sistemas mini-split sin conductos entregan el frío a un edificio a través del refrigerante que se canaliza desde la unidad de condensación exterior al evaporador interior montado en una pared o techo. Los sistemas sin conductos tienen ventajas sobre los sistemas de conductos, que incluyen menores pérdidas de distribución, mayor eficiencia energética y mayor control de la temperatura en cada habitación.
- Los sistemas multi-split sin conductos permiten que se enfríen varias habitaciones desde una sola unidad exterior, con una(s) unidad(es) evaporadora(s) interior(es) separada(s). La principal ventaja de este sistema es la reducción del número de unidades exteriores al tiempo que conserva la flexibilidad para enfriar habitaciones individuales. Los sistemas de flujo variable de refrigerante son una variante de los sistemas múltiple-split, que se han desarrollado para suministrar una cantidad variable de refrigerante en función de las necesidades de enfriamiento de cada evaporador.
- Los sistemas centrales split con conductos entregan frío a través de aire conducido, por lo que el evaporador se coloca en una única ubicación central, proporcionando enfriamiento para todo un edificio residencial o comercial a través de un sistema de conductos. La temperatura en cada zona se puede controlar por separado.

Los enfriadores (chillers) son grandes acondicionadores de aire, que producen agua fría y la distribuyen a través de un edificio o red de enfriamiento, por medio de tuberías a un sistema interior que enfría el aire. Los enfriadores de ciclo de compresión pueden ser centrífugos, alternativos ("reciprocating") o del tipo tornillo. Los enfriadores de ciclo de



absorción pueden ser alimentados por electricidad, gas natural o incluso calor solar. Hay tres tipos principales de enfriadores:

- Los chillers enfriados por agua usan un condensador y refrigerante para rechazar el calor al agua, que se bombea a una torre de enfriamiento con aletas para expulsar el calor a la atmósfera (generalmente por evaporación). En ciertos casos, las torres de enfriamiento pueden ser reemplazadas por intercambiadores de calor del suelo, lo que puede reducir la cantidad de agua que se evaporará.
- Los chillers enfriados por aire tienen condensadores en los que el refrigerante rechaza el calor directamente al aire exterior utilizando uno o más ventiladores para enfriar las bobinas de intercambio de calor.
- Los chillers enfriados por evaporación implican el uso de un rocío de agua para rechazar el uso de calor de manera más eficiente. Dichos chillers pueden utilizar gas natural o fuentes de calor cogeneradas para impulsar el ciclo de refrigeración. Esto puede ser particularmente útil en edificios con grandes necesidades de refrigeración o con una necesidad concurrente de aire acondicionado y calefacción. Ellos también alivian la demanda general de electricidad.

Los tipos más comunes de aire acondicionado por ciclos de compresión, son2:, así:

Minisplit: equipos de acondicionamiento de aire, con una unidad de condensación y una de evaporación, instaladas por separado, sin ducto.

Unidad condensadora: equipos de aire acondicionado sin ducto, en el que se pueden conectar varias unidades evaporadoras por cada unidad condensadora.

Equipos autocontenidos: son los equipos de un solo cuerpo, donde el sistema de condensación y evaporación se encuentran en un único equipo y no requieren ningún sistema de distribución de refrigerante o de aire frio.

Unidad paquete: Son aquellas donde el sistema de condensación y evaporación se encuentran en un único equipo, pero la distribución del aire frio se hace a través de ductos de distribución de aire.

Como se señaló anteriormente, se necesitan refrigerantes para varios tipos de sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Dado que los refrigerantes pueden ser inflamables, tóxicos, pueden dañar la capa de ozono y/o pueden tener un alto potencial de calentamiento global, se analizan en detalle en la siguiente sección.

² Esta clasificación se utiliza en Colombia para el Inventario de Importación/Producción, Venta e Instalación de Equipos de Refrigeración y Aire Acondicionado (UTO, 2017).

23



2. Refrigerantes para sistemas de compresión de vapor

Los sistemas de compresión de vapor utilizados para enfriar (y calentar) requieren el uso de un refrigerante. En una excelente revisión de la evolución de los refrigerantes, James Call (2008) dividió la progresión de los refrigerantes en cuatro generaciones, como se muestra en la Figura 3.

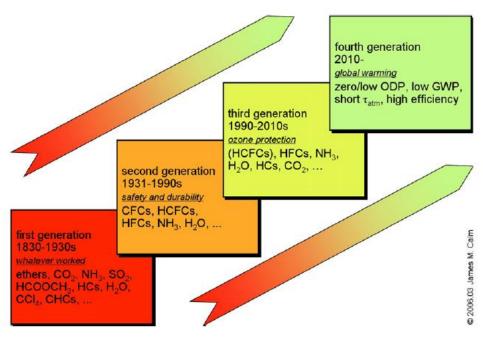


Figura 3. Progresión de los refrigerantes.

Fuente: Calm, 2008, Fig. 1

En síntesis, las preocupaciones por la seguridad y la durabilidad condujeron a la evolución de los refrigerantes artificiales CFC y HCFC para reemplazar los refrigerantes usados previamente. En la segunda generación, los refrigerantes comunes utilizados en refrigeración y aire acondicionado eran clorofluorocarbonos (CFC), siendo los más comunes R-12 o CFC-12.

La tercera generación se centró en la protección de la capa de ozono. Siguiendo el Protocolo de Montreal sobre Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO u ozone depleting substances, ODS), la fabricación y uso de CFC y HCFC fueron prohibidos progresivamente, y en muchos casos fueron reemplazados por HFC, sin potencial de agotamiento de ozono (ozone depleting potential, ODP).

Debido a que los refrigerantes alternativos para el aire acondicionado en particular no estaban disponibles, se siguió usando R-22, un HCFC, con un ODP pequeño (0,055 comparado con CFC 12 considerado como uno). Actualmente, el R-22 está siendo reemplazado por HFC y otros gases en los sistemas de aire acondicionado que se venden e instalan en ALC. Sin embargo, los refrigerantes que reemplazaron al R-12, tanto el R-22 como los HFC, tienen un Potencial de Calentamiento Global (PCG o GWP) relativamente alto. El reconocimiento de estos gases de efecto invernadero (GEI), y otros producidos en la



fabricación de HCFC, condujeron al desarrollo de una serie de proyectos de mitigación del cambio climático que implican la reducción o eliminación de las emisiones de estos gases. También hubo iniciativas nacionales y regionales, por ejemplo, en la Unión Europea, para reemplazar los HFC con otros refrigerantes para algunas aplicaciones. Esto comprende la cuarta generación de refrigerantes. Esta generación se formalizó en el primer acuerdo internacional aplicable al GWP de todos los refrigerantes como las Enmiendas de Kigali al Protocolo de Montreal.

2.1. Protegiendo la capa de ozono

Sabemos que ciertos refrigerantes, junto con agentes espumantes y otros gases que contienen cloro, han sido responsables del agotamiento de la capa de ozono. La producción/consumo de sustancias que agotan la capa de ozono ha disminuido después del Protocolo de Montreal (firmado en 1987), ver Figura 4.

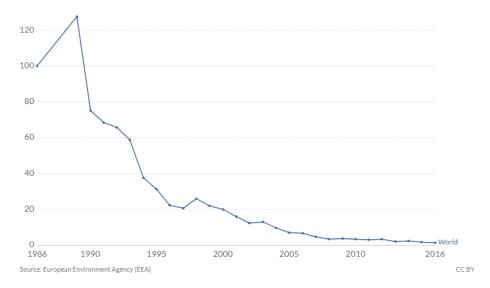


Figura 4. Consumo mundial de substancias agotadoras de ozone, relativo al año 1986 (=100)

Fuente: https://ourworldindata.org/ozone-layer, de una recopilación de la Agencia Ambiental Europea (European Environment Agency, EEA)

Es importante tener en cuenta que la *producción / consumo* de sustancias que agotan el ozono (SAO) no es lo mismo que las *emisiones* de SAO, cada una como se define a continuación:

La producción/consumo de sustancias que agotan el ozono se refiere a la producción primaria de nuevos materiales o productos que contienen cualquiera de los gases halógenos señalados como SAO. El aspecto importante a tener en cuenta aquí es que esto se relaciona con la producción o liberación de sustancias nuevas/recientes.

Las emisiones de sustancias que agotan el ozono pueden ser naturales o artificiales. Pequeños niveles relativamente de sustancias que agotan el ozono se emiten a través de procesos naturales. Por lo tanto, la mayor parte de la discusión en relación con las emisiones de SAO se centra en las emisiones artificiales que pueden controlarse.



Si bien el consumo ha disminuido sustancialmente, las emisiones no lo han hecho, a través de fugas de refrigerantes y otras SAO, así como cuando los equipos que contienen estas SAO llegan al final de su vida útil, sin la recuperación y el reciclaje adecuados de las SAO. Una consecuencia de las emisiones continuas es que la concentración de ozono estratosférico sigue siendo baja en el hemisferio sur (Figura 5), que incluye el Cono Sur de América del Sur.

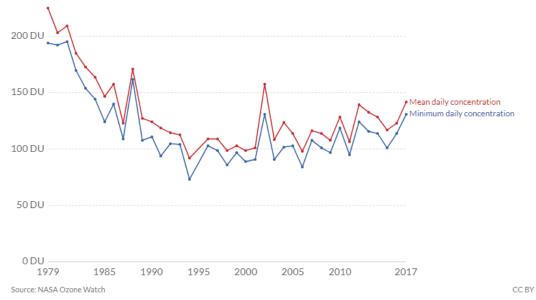


Figura 5. Concentración del ozono estratosférico en el Hemisferio Sur, en Unidades Dobson (DU, 1979-2017. Una Unidad Dobson (DU) es el número de moléculas of ozono que se requeriría para crear una capa de ozono puro con espesor 0,01 milímetros a una temperatura de 0 grados Celsius y una presión de 1 atmosfera. Fuente: https://ourworldindata.org/ozone-layer, desde NASA Ozone Watch

Un agotamiento de la capa de ozono significa que la radiación ultravioleta más dañina llega a la superficie. La Figura 6 muestra la variación horaria en el índice ultravioleta el día de Navidad de 20153.

³ En años recientes, los niveles máximos han caído algo, por ejemplo alcanzando un valor máximo de sólo 12 el 31 de diciembre de 2018.



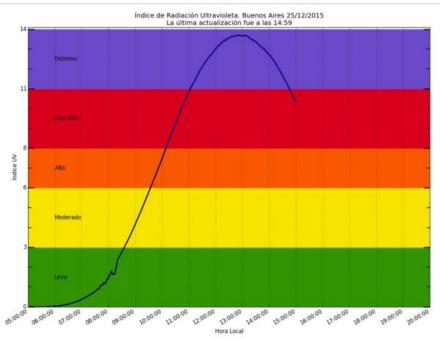


Figura 6. Índice de radiación ultravioleta en Buenos Aires, 25 Dec. 2015. (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Argentina)

Las mediciones como las que se muestran en la Figura 6, siguiendo las pautas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) e informadas a nivel mundial, se realizan en una *superficie horizontal*. La radiación solar medida en una superficie horizontal alcanza su punto máximo al mediodía solar. Sin embargo, la radiación solar total recibida en las *superficies verticales* orientadas al este puede ser alta temprano en el día (y las superficies verticales orientadas al oeste al final del día), como se muestra en la

Figura 7 para un día despejado el 21 de septiembre a una latitud que corresponde aproximadamente a Santiago (Chile), Buenos Aires y Montevideo. Por lo tanto, las superficies verticales, como las caras de las personas, también pueden estar expuestas a altos niveles de radiación en la mañana y en la tarde.

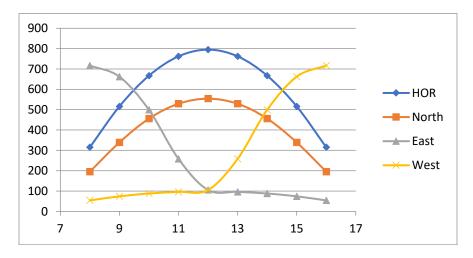


Figura 7. Radiación solar en un día despejado en 21 de Septiembre, en una latitud de 32° Sur Fuente: Adaptado para el hemisferio sur, de ASHRAE Handbook HVAC Fundamentals, Spanish Edition, 1985, Tabla 22



Una consecuencia de una alta exposición a la radiación UV es el cáncer de piel. En Argentina se diagnostican anualmente unos 130,000 casos de melanoma (una forma agresiva de cáncer de piel) y, a pesar del tratamiento, mueren casi 600 personas cada año. ⁴

Si bien se supone que el agotamiento de la capa de ozono se centra en el Polo Sur, los niveles de radiación UV son más altos en latitudes menores (por ejemplo, Buenos Aires) en comparación con Ushuaia. Lo mismo se observa en Nueva Zelanda, donde las ciudades del norte como Auckland registran niveles de UV más altos que las ubicaciones del sur⁵.

Los niveles de radiación UV aumentan en la primavera del hemisferio sur y alcanzan su punto máximo alrededor de fin de año (véase, por ejemplo, la Figura 6). Por lo tanto, la situación de peligro de UV aún no ha llegado a su nivel máximo el día de hoy (20 de noviembre de 2019). A partir de este año, el Servicio Meteorológico de Argentina proporciona mapas de radiación UV con un día de anticipación que cubren todo el país Figura 8). Es de destacar que las exposiciones casi no cambian en días nublados (aunque el nivel de nubosidad no está indicado). Además, la proyección no solo muestra niveles de UV más altos en latitudes más bajas, sino también niveles de UV más altos en altitudes mayores. Por supuesto, los niveles de UV siempre han sido altos en latitudes altas, porque hay menos atmósfera para protegernos. Muchas grandes ciudades de ALC se encuentran a mayor altitud. 6 (La Paz, 3690 m; Quito, 2850 m; Bogotá, 2640 m; Ciudad de México, 2300 m). Éstas y muchas ciudades más pequeñas están expuestas a mayores niveles de radiación UV por el agotamiento de la capa de ozono, lo que se suma a los niveles ya altos por su altitud. Por ejemplo, se espera que los niveles máximos de UV en Bogotá en la primera semana de septiembre de 2019 sean 12 utilizando el mismo índice UV de la OMM que en la Figura 67. índice UV para todo el mundo y por regiones está disponible https://www.woespana.es.

-

⁴ https://www.infobae.com/salud/2019/05/23/en-la-argentina-se-diagnostican-por-ano-cerca-de-130-mil-casos-de-melanoma/

https://www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz/files/sites/default/files/import/attachments/Web_plots.pdf

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_South_American_cities_by_elevation

⁷ https://www.woespana.es/Colombia/Bogota/IndiceUV.htm, accessed 3 Sep 2019



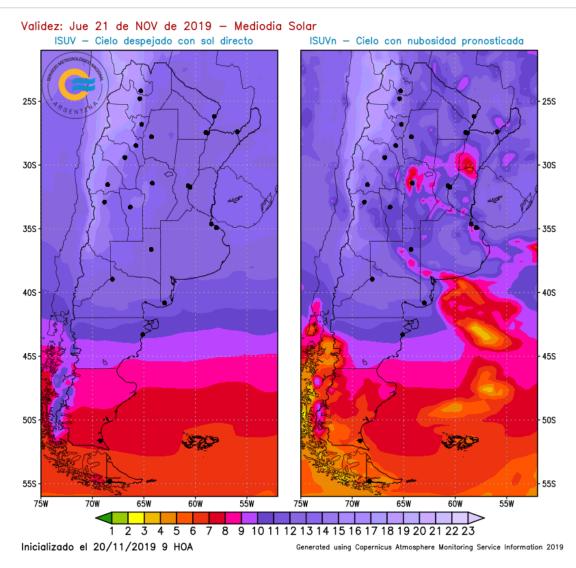


Figura 8. Niveles de UV levels con cielo despejado (izquierda) y cielo con nubosidad (der.) en Argentina.

Fuente: https://www.smn.gob.ar/radiacionuv. consultado 21 Nov. 2019

Por supuesto, el agotamiento de la capa de ozono es una consecuencia de las emisiones globales de SAO. Sin embargo, dado que la región de ALC incluye a algunas de las víctimas más grandes, un objetivo importante del enfriamiento limpio en ALC es, no sólo reducir el consumo de sustancias que agotan el ozono, sino también reducir sus emisiones, por ejemplo incluso a través de la recuperación de refrigerante y técnicas de mantenimiento mejoradas para reducir las fugas.

2.2. Refrigerantes en términos de su protección de la capa de ozono y el calentamiento global.

La Tabla 2 enumera algunos refrigerantes comunes, con su ODP y GWP de 100 años, los últimos valores publicados en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC); Grupo de trabajo 1 (WG1, Working Group 1).



Tabla 2. Potencial de agotamiento del ozono (ODP) y potencial de calentamiento global de 100 años (GWP)

Fuente: ODP basado en el informe UNEP (2006), utilizando R-12 como referencia con valor 1, y GWP basado en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), WG1 (IPCC, 2007)

Product information (sorted by Product Type and Name)

Туре	Product	ODP ¹		GWP^2	
	R- Number				
CFC	12	1	High	10900	High
	502	0,33	High	4657	High
HCFC	22	0,055	Medium	1810	Medium
	123	0,060	Medium	77	Low
	401A	0,033	Medium	1182	Medium
	401B	0,036	Medium	1288	Medium
	402A	0,019	Medium	2788	High
	402B	0,030	Medium	2416	Medium
	408A	0,024	Medium	3152	High
	409A	0,046	Medium	1909	Medium
HFC	23	0	Zero	14800	High
	32	0	Zero	675	Medium
	134a	0	Zero	1430	Medium
	404A	0	Zero	3922	High
	407A	0	Zero	2107	Medium
	407C	0	Zero	1774	Medium
	407F	0	Zero	2088	Medium
	417A	0	Zero	2346	Medium
	422A	0	Zero	3143	High
	4220	0	Zero	2729	High
	423A	0	Zero	2280	Medium
	424A	0	Zero	2440	Medium
	427A	0	Zero	2138	Medium
	428A	0	Zero	3607	High
	434A	0	Zero	3245	High
	437A	0	Zero	1805	Medium
	438A	0	Zero	2265	Medium
	442A	0	Zero	1888	Medium
	507A	0	Zero	3985	High
	508B	0	Zero	13396	High
	M089	0	Zero	3805	High
HFO	1234yf	0	Zero	4	Low
	1234ze	0	Zero	6	Low
Natural/Not in Kind	170	0	Zero	6	Low
	290	0	Zero	3	Low
	600a	0	Zero	3	Low
	717	0	Zero	0	Zero
	744	0	Zero	1	Low
	1150	0	Zero	4	Low
	1270	0	Zero	2	Low

A medida que mejoró el conocimiento de cómo los gases interactúan con la atmósfera para causar el calentamiento global, el IPCC revisó sus estimaciones de GWP en su Quinto Informe de Evaluación (AR5, IPCC, 2013). Los valores son ligeramente diferentes para los refrigerantes de interés, con una comparación de AR 4 y AR 5 que se muestra en la Tabla 2, que también incluye algunos de los llamados refrigerantes "naturales": propano (R-290), amoníaco y dióxido de carbono. Por otro lado, R-170 (etano) y R-1150 (etileno) se usan en aplicaciones de muy baja temperatura, no relevantes para esta revisión. R-1270 es propileno,



que no se ha encontrado en ningún equipo o sistema en consideración. Si bien estos gases no se enumeran en la Tabla 3, cabe señalar que no son SAO y tienen esencialmente cero PCG.

Tabla 3. Comparison of 100-year GWP of common refrigerants used in air conditioning, as per IPCC Fourth Assessment Report and Fifth Assessment Report. Comparación de PCG a 100 años de de refrigerantes comunes utilizados en el aire acondicionado, según el Cuarto Informe de Evaluación y el Quinto Informe de Evaluación del IPCC

Fuente: IPCC (2007, Table TS-2 o Tabla 2, arriba), IPCC (2013, Table 8.A.1) y otras fuentes

Refrigerante	Familia	GWP a 100 años, fuente:	
		AR 4	AR 5
R-12	CFC	10,900	10,200
R-22	HCFC	1,810	1,760
R-134A	HFC	1,430	1,120
R-410A (Ver Nota 1)	HFCs	2,088	No incluido
R-32	HFC	675	677
R-125	HFC	3500	3170
R-290 (Ver Nota 2)	C_3H_8	3	No incluido
R 600 A (Ver Nota 3)	HC	3	No incluido
R-1270 (Ver Nota 3)	HC	2	No incluido
Amoniaco (Ver Nota 4)	NH ₃	0	0
R-744 (Dióxido de carbono)	CO_2	1	1

Notas:

- a. R-410A es una mezcla de R-32 y R-125. El IPCC no proporciona valores de GWP para mezclas de HFC. El valor que se muestra arriba (2088) se toma de Tabla 2.
- b. R-290 es propano, un hidrocarburo. Nuevamente, el IPCC no proporciona valores de GWP para este gas, ya que los hidrocarburos distintos del metano no se consideran GEI. El valor que se muestra arriba (3) se toma de la Tabla 2. De manera similar, R-1270 es propileno, otro hidrocarburo. El valor que se muestra arriba (2) de la Tabla 2
- c. R 600A eis isobutane, un hidrocarburo. Valor indicado de la Tabla 2, no del IPCC
- d. El amoníaco no se considera un GEI, por lo tanto, hemos asignado un valor de cero.

El Instituto Nacional de Normalización y Tecnologías de los EEUU (National Institute of Standards and Technology, NIST) provee una herramienta web para la determinación de las Propiedades termofísicas de sistemas fluidos que incluyen muchos refrigerantes⁸. Estos datos incluyen las siguientes propiedades:

Densidad Volumen específico

 C_p C_v

Entalpía Entropía

Energía interna Velocidad del sonido Viscosidad Conductividad térmica

Coeficiente de Joule-Thomson Tensión superficial (Solamente curva de saturación)

⁸ https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/



Transición de refrigerantes actuales a refrigerantes con bajo GWP

Si bien los refrigerantes que agotan la capa de ozono, como el R-12, continúan utilizándose en equipos antiguos de refrigeración y aire acondicionado, la mayoría de los equipos nuevos pasaron al R-410A en América Latina, aunque algo de R-22 continuaron utilizándose en América del Sur hasta hace poco (Figura 9).

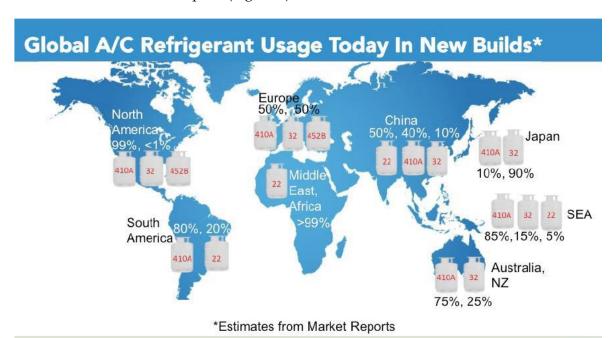


Figura 9. Uso global de refrigerante para el A/A en nuevos equipos de climatización unitarios Fuente: (©ASHRAE, www.ashrae.org, ASHRAE Webcast April 2019.). Citado en UNEP/TEAP, 2019, Figure 2.3.

Los datos a menudo indican el *consumo* de refrigerantes, que de hecho no se "consumen" en el sentido de estar agotados. Aquí, como en otros lugares, el consumo se define como: Consumo = Producción + Importación - Exportación

Se puede suponer que, a excepción de las transferencias ilegales, el consumo de CFC se ha eliminado en los países de ALC. A continuación, consideramos el consumo de HCFC en países seleccionados:

Argentina

Según la Oficina de Ozono de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina, la producción y el uso de HCFC para su uso en los equipos de aire acondicionado residenciales se eliminaron desde mediados de 2013⁹:

https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/cambioclimatico/comunicacionnacional/capa-deozono/aireacondicionado



Argentina ha llevado a cabo la reconversión del sector de fabricación de equipos acondicionadores de aire de tipo doméstico, y a partir del 30 de junio de 2013 se ha prohibido tanto la fabricación como la importación de estos equipos que contengan HCFC 22.

A partir de esa fecha, los equipos de fabricación local estarán cargados con el gas HFC-410A, el cual no afecta la capa de ozono y tiene una mayor eficiencia energética que las unidades con HCFC-22.

Sin embargo, las estadísticas oficiales de la misma organización indican que los HCFC continuaron siendo "consumidos" al menos hasta 2015, como se muestra en la Figura 10.

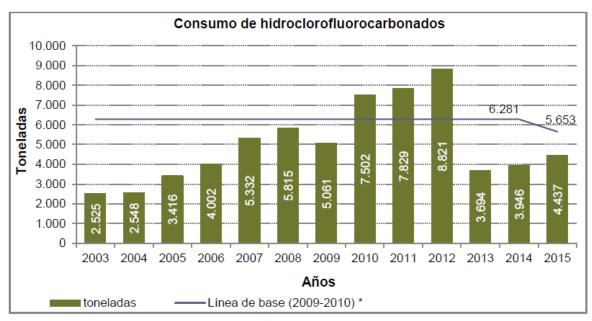


Figura 10. Consumo de HCFCs en Argentina, 2003-15.

Fuente:

http://estadisticas.ambiente.gob.ar/archivos/web/Indicadores/file/SIDSA%202016/textopdf/36 %20Consumo%20de%2 OHCFC.pdf

La misma fuente también anota lo siguiente:

A partir de enero de 2015 comenzaron las medidas de reducción del consumo según el calendario de eliminación: reducir un 10% de la línea de base. Eso significa que el consumo anual máximo permitido es de 5653 toneladas de HCFC hasta el 1° de enero de 2020, cuando entre en vigencia una nueva reducción.

Sin embargo, las estadísticas más recientes sobre la producción o el uso de HCFC en Argentina no están disponibles.

Brasil

El consumo de HCFC (sustancias que agotan la capa de ozono) en Brasil, de 2010 a 2015, se muestra en la Figura 11. Las unidades están en toneladas de potencial de agotamiento del



ozono, no el consumo absoluto en toneladas. Teniendo en cuenta que el PAO (u ODP) de HCFC es sustancialmente menor que uno (por ejemplo, el PAO de HCFC-22 es 0.055, ver Tabla 2), las toneladas absolutas son sustancialmente mayores. Sin embargo, queda claro que, en 2015, hubo un consumo sustancial de HCFC en Brasil.

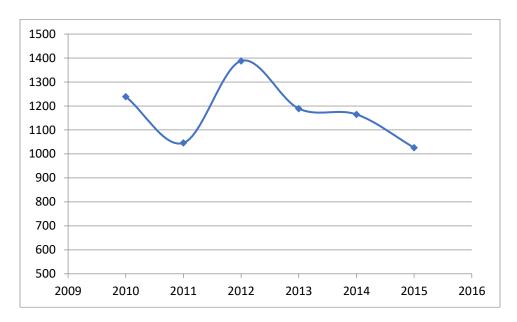


Figura 11. Consumo histórico de HCFC en Brasil, 2010-15, en toneladas del potencial de agotamiento del ozono (ODP, Ozone Depletion Potential

Fuente: Elaboración propia con datos de https://www.mma.gov.br/publicacoes/item/587-consumo-de-sdos.html

Brasil se ha comprometido a reducir el consumo de HCFC, sustancias que agotan el ozono utilizadas para la refrigeración, así como para el soplado de espuma. El programa brasileño comienza congelando el consumo en 2013, con respecto al consumo de referencia de 2009-10, con reducción progresiva a -67% de la línea de base en 2025, -97.5% en 2030, y eliminación completa para 2040¹¹º.

Colombia

En Colombia, los refrigerantes HCFC y HFC se usaron para refrigeración, aire acondicionado y como agente espumante en 2015 (Figura 12, izq.). Hubo un uso sustancial de HCFC-22, una sustancia que agota el ozono (ODS), en los nuevos equipos que aún se instalaron en 2015 (Figura 12 der.)

¹⁰ Source: https://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protecao-da-camada-de-ozonio/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfcs-pbh



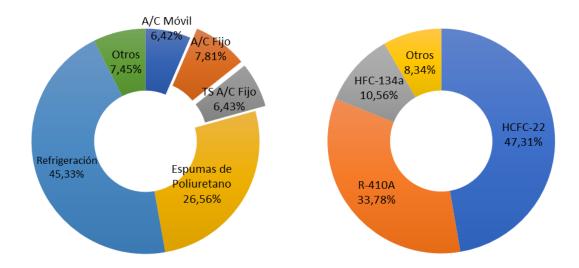


Figura 12. Izquierda. Contribución de HCFC y HFC en Colombia por refrigeración, aire acondicionado y otros usos en 2015. Derecha. Participación de diferentes refrigerantes en 2015.

Fuente: MGM Innova, 2019. Deliverable 1, Fig. 21, basado en CAEM, 2016.

La Figura 13 muestra la evolución del consumo de HCFC-22 y diferentes HFC, desde 2008-15 en Colombia. El consumo total de estos refrigerantes se duplicó en este período, aunque la proporción de HCFC-22 disminuyó durante el mismo período, se mantuvo sustancial en 2015, con un aumento sustancial en el consumo de R-410A, que no es una SAO, pero con un GWP sustancial. Estas dos Figuras se basan en un importante estudio realizado en 2016 (CAEM, 2016). Desde entonces, el consumo de HCFC-22 ha caído a cero.

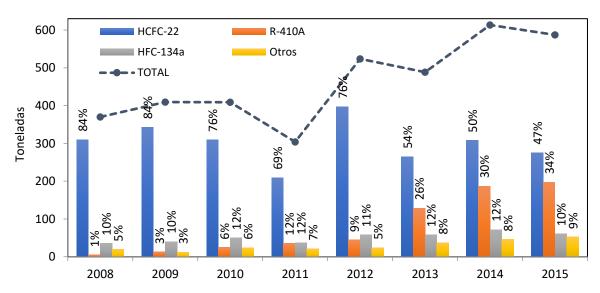


Figura 13. Consumo de refrigerantes en aire acondicionado estacionario en el período 2008-2015 Fuente: MGM Innova, 2019. Deliverable 1, Fig. 22, basado en CAEM, 2016.



México

Un comunicado de prensa de 2017 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México indicó que el consumo de HCFC en 2017 fue de 7109 toneladas ¹¹.

El consumo actual de HCFC en México es de 7,109 toneladas. Este consumo significa, a su vez, un total de 9.8 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Por lo anterior, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales desarrolla el Plan Nacional de Eliminación de Hidroclorofluorocarbonos. En sus dos primeras etapas (2013–2022) se tiene como meta la eliminación del 67.5% del consumo registrado en 2008, meta que se podrá alcanzar antes de tiempo.

México también tiene un programa importante para la destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono. Para 2017, se habían destruido 113 toneladas de PAO¹²:

En el marco del 30 aniversario del Protocolo de Montreal, la SEMARNAT informa que finalizó el proyecto de manejo y destrucción de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), la cual consistió en la eliminación de 113 toneladas de estas sustancias que fueron recuperadas de equipos de refrigeración y aire acondicionado, así como de diversos procesos industriales y de la prevención del tráfico ilícito ejecutado de manera efectiva por las aduanas mexicanas.

Otra fuente proporciona datos sobre la producción de HCFC entre los países del "Anexo 5" (del Protocolo de Montreal) para el año 2017, mostrando una disminución sustancial en la producción en los tres países de ALC, ver Tabla 4. Tener en cuenta que los datos se muestran en ODP equivalente, no en cantidades reales.

Tabla 4. Producción de HCFC en países del Anexo 5 del Protocolo de Montreal en 2017, comparado con una línea de base. (Toneladas de ODP)

Fuente: Del Valle Méndez, 2019, cuadro 1

País	Consumo de 2017	Nivel base	% de reducción
Argentina	100.3	224.6	55,4
China	21.670.5	29.122.0	25,6
República Popular Democrática de Corea	24.8	27.6	10,1
India	1.789.5	2.399.5	25,4
México	190.1	697.0	72,7
República de Corea	305.6	395.1	22,6
Venezuela (República Bolivariana de)	15.0	123.1	87,8
Total	24.095.8	32.988.9	27,0

_

https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-ha-eliminado-el-99-de-las-sustancias-agotadoras-de-la-capa-de-ozono Press release, 15 September 2017

https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-cumple-con-el-manejo-y-destruccion-de-sustancias-que-danan-la-capa-de-ozono Press release, 22 March 2017



Otro problema con las sustancias que agotan el ozono es la continuada producción y uso ilegal. Con este fin, la oficina de "Ozone Action" del PNUMA emitió un editorial sobre el control del comercio de HCFC (UNEP/Ozone Action, 2019). La producción ilegal de CFC-11, que se utiliza como agente espumante y no como refrigerante, recientemente causó revuelo en la comunidad ambiental¹³.

Cuestiones de salud y seguridad de refrigerantes alternativos

Como se mostró en la Figura 3, la segunda generación de refrigerantes se desarrolló centrándose en la salud y la seguridad, principalmente la toxicidad y la inflamabilidad. La tercera generación comprendía principalmente refrigerantes que eran todos seguros y sin inflamabilidad (HCFC y HFC) o baja inflamabilidad (pequeñas cantidades de hidrocarburos utilizados en refrigeradores domésticos vendidos en Europa y otros países). La cuarta generación incluye algunos refrigerantes que se usaron en la primera generación, pero donde hay problemas de toxicidad e inflamabilidad.

La Tabla 5 resume la información sobre seguridad e inflamabilidad para refrigerantes alternativos con bajo GWP, seleccionados para uso en el aire acondicionado estacionario. Esta lista excluye los CFC que ya no se usan en equipos nuevos, pero retiene HCFC 22, el único refrigerante con ODP, como se indicó anteriormente. En la mayoría de los países de ALC, la transición para alejarse del HCFC-22 está en progreso. Sin embargo, este refrigerante permanece en uso en algunos equipos y sistemas, por lo que la disposición final es importante para la protección de la capa de ozono. Ninguno de los otros refrigerantes enumerados en la Tabla 5 es una sustancia que agota el ozono. Sin embargo, dos HFC aún en uso extenso y en equipos que se están instalando (HFC-410A y HFC-134A) tienen un alto GWP, y el programa K-CEP busca promover alternativas que tengan un GWP más bajo. Sin embargo, estos dos HFC de alto GWP están en la clase de seguridad más alta (A1) y en la clase de inflamabilidad más baja (1). Excepto por dos refrigerantes "naturales" (agua y dióxido de carbono), HFO-1336mzz (Z) y tres mezclas de HFO / HFC (R450A, R513A y R513B), ninguno de los otros refrigerantes está en la misma clase que los dos mencionados anteriormente.

¹³ Por ejemplo, la revista Nature señaló "Rogue emissions of ozone-depleting chemical pinned to China." 22 Mayo 2019. https://www.nature.com/articles/d41586-019-01647-z



Tabla 5. Propiedades de refrigerantes alternativos con bajo GWP para el aire acondicionado estacionario Fuente: Park et al., 2019.

Туре	Chemical	Safety Class ^a	GWP ^b	Flamma- bility ^e	Comments
HCFCs	HCFC-22	A1	1,760	1	
HFCs	HFC-410A	A1	1,900	1	
	HFC-134a	A1	1,300	1	
Low-GWP Alten	natives	•		•	
HFCs	HFC-32	A2L	677	2L	Small self-contained AC systems available. Small split AC systems also available in parts of
IIEOs	IIEO 1224-rf	AOT	< 1	2L	Asia, India, and Europe. Considered for ducted and rooftop units, subject
HFOs	HFO-1234yf	A2L	_		to safety standards and codes.
	HFO-1234ze	A2L A1	< 1	2L	U.S. EPA SNAP approved in 2016 for use in
	1336mzz(Z)	AI	2	1	industrial process AC (new equipment).
HFO/HFC	R-446A	A2L	460	2L	Newly developed blends being developed for
Blends	R-447A	A2L	570	2L	small split ACs. Also for multi-splits, VRF
Diches	R-452B	A2L	680	22	systems, and ducted systems subject to safety
	R-454B	A2L	470	2L	standards and codes.
	R-450A	A1	550	1	Possible alternatives for ducted and packaged
	R-513A	A1	570	1	rooftop units.
	R-513B	A1	540	1	
Hydrocarbons	HC-290	A3	3	3	Limited availability for small split ACs in
(HCs)	HC-1270	A3	2	3	Europe and parts of Asia owing to flammability concerns.
Ammonia	R-717	B2L	0	1	Used only for chillers with small capacities owing to costs.
Water (H ₂ O)	R-718	A1	N/A	1	Limited to special applications for chillers.
CO ₂	R-744	A1	1	1	Limited applicability for stationary AC systems
					and chillers based on reduced efficiency in high
					ambient temperatures. Market may not support
					development cost of components.

Notas:

- a. Clasificación de seguridad según ASHRAE Standard 34 (ASHRAE 2019B) donde A1 es de menor toxicidad / sin propagación de llama, A2 / A2L es de menor toxicidad / baja inflamabilidad, A3 es de menor toxicidad / mayor inflamabilidad, B1 es de mayor toxicidad / sin propagación de llama, B2 / B2L es mayor toxicidad / baja inflamabilidad, y B3 es mayor toxicidad / mayor inflamabilidad.
- b. GWP de horizonte temporal de 100 años en relación con el CO2 del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).
- c. c) Inflamabilidad del refrigerante clasificada según ASHRAE 34 donde 1 no tiene propagación de llama, 2L es menor inflamabilidad, 2 es inflamable y 3 es mayor inflamabilidad.

Entre los refrigerantes comparados en la Tabla 5, el amoníaco es "el peor" en la clase de seguridad con una clasificación "B2L", lo que significa alta toxicidad y baja inflamabilidad.



En términos de inflamabilidad, los dos hidrocarburos enumerados en la Tabla 5 son claramente inflamables: HC-290 (propano) y HC-1270 (propileno), en la clase de inflamabilidad más alta, 3. Ambos están en la clase de seguridad A3 correspondiente a menor toxicidad y mayor inflamabilidad.

La clasificación "safety class" (clase de seguridad) considera tanto la toxicidad como la inflamabilidad. La Tabla 6 muestra otra representación de las clases de inflamabilidad y toxicidad.

Tabla 6. Combinaciones de inflamabilidad y toxicidad.
Fuente: Sallent, 2018

		TOXICIDAD		
٠		INFERIOR	SUPERIOR	
IMFLAMABILIDA	No hay propagación de llama	A1	B1	
MABI	Inflamabilidad Baja	A2L	B2L	
Ŗ	Inflamabilidad	A2	B2	
Ξ	Inflamabilidad Alta	A3	В3	

Si bien la "clase de seguridad" ("safety class") considera tanto la toxicidad como la inflamabilidad, es conveniente evaluar la inflamabilidad por separado. La inflamabilidad es una propiedad de una mezcla en la cual una llama es capaz de propagarse a sí misma a cierta distancia. En términos generales, la inflamabilidad de un refrigerante es su capacidad de quemarse o encenderse, causando fuego o combustión. La inflamabilidad depende de la cantidad de refrigerante en el aire (kg/m^3) , y la mezcla es inflamable cuando se encuentra entre los límites inferior y superior de inflamabilidad.

Las clases de inflamabilidad de los refrigerantes también se pueden representar como en la Figura 14.



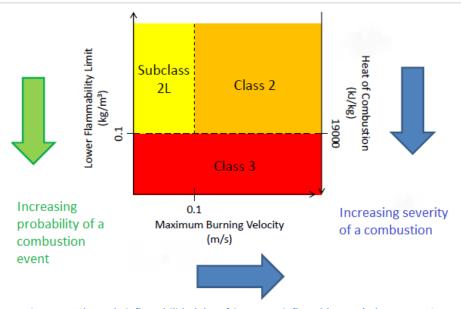


Figura 14. Clases de inflamabilidad de refrigerantes inflamables según la norma ASHRAE standard 34

Fuente: Makhnatch, 2015B, Figure 3. Es de notar que la Norma fue actualizada en 2019 (ASHRAE, 2019B), para que 2L fuera una clase de inflamabilidad distinta para refrigerantes, entre otros cambios.

Según un estudio del Instituto de aire acondicionado, calefacción y refrigeración (Amrane 2013), la mayoría de los refrigerantes alternativos son inflamables, como se muestra en la Figura 15. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la revisión reciente que se muestra en la Tabla 5 incluye algunos refrigerantes alternativos que no son combustibles.

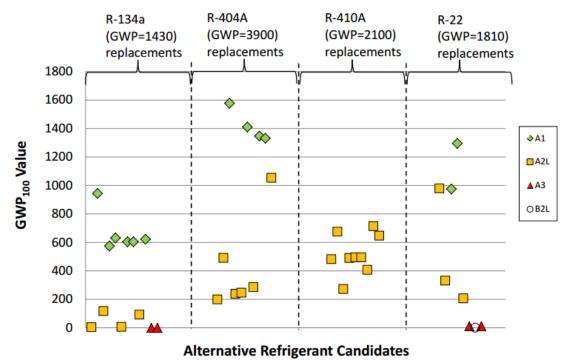


Figura 15. Propiedades de algunos refrigerantes de bajo GWP Fuente: Amrane, 2013, citado en Makhnatch (2015B, Figure 4)



Normas relacionadas con la inflamabilidad y seguridad de los refrigerantes

- ASHRAE Standard 34: Designation and Safety Classification of Refrigerants (ASHRAE, 2019B)
- ISO 817 "Refrigerants -- Designation and safety classification" proporciona un sistema inequívoco para asignar designaciones a refrigerantes y su inflamabilidad a nivel internacional
- European Standard EN 378 "Safety and Environmental Requirements for Refrigeration Systems and Heat Pumps";
- ASHRAE Standard 15: "Safety Code for Mechanical Refrigeration"; actualizada por "Designation and Safety Classification of Refrigerants" (ASHRAE, 2019A)
- ISO 5149 "Refrigerating systems and heat pumps -- Safety and environmental requirements"; y
- European standards EN 60335-2-34 and EN 60335-2-40.

El Instituto Americano de Calefacción y Refrigeración (AHRI) ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de refrigerantes alternativos con bajo potencial de calentamiento global (GWP). La lista de informes emitidos, y su relevancia de un ESCO se discute en el Apéndice H. En general, estos informes son más relevantes para los fabricantes de equipos y componentes, y algunos para el personal de servicio, pero no para una empresa que invierte en eficiencia energética y en equipos e instalaciones de enfriamiento con bajo GWP.

En general, una ESCO tiene que elegir entre los equipos disponibles para una aplicación determinada. Debido a la seguridad e inflamabilidad de algunos refrigerantes, pueden usarse siempre que la cantidad de refrigerante esté por debajo de ciertos límites, determinados por la masa de refrigerante (kg) x el volumen de espacio (m³) donde se instalará el equipo. La Tabla 7 enumera la clase de seguridad y los límites de refrigerante para cuatro refrigerantes de bajo GWP: dióxido de carbono, amoníaco, isobuteno y propano.

Tabla 7. Seguridad e inflamabilidad de refrigerantes alternativos seleccionados (Fuente: Sallent, 2018, lámina 6)

Refrigerante	Clasificación de riesgo	Límite inferior de inflamabilidad (LFL en inglés) (kg/m³)	Temperatura de ignición (C)	Límite de carga (kg/m³)
R 744 (CO ₂)	A1	N.A.	N.A.	0.1
R 717 (NH ₃)	B2L	0.116	630	0.00035
R 600 a (isobuteno)	A3	0.043	460	0.011
R 290 propano, C ₃ H ₈)	A3	0.038	470	0.008

La Tabla 8 presenta los requisitos para refrigerantes bajo estándares de seguridad para sistemas de aire acondicionado, refrigeración y bombas de calor, de acuerdo con las normas internacionales: IEC 60335 e ISO 5149.



Tabla 8. Obligaciones técnicas generales bajo estándares de seguridad para sistemas de A/A, refrigeración y bombas de calor

Fuente: GIZ, 2018, Table 2.

Category	IEC 60335-2-24	IEC 60335-2-89	IEC 60335-2-40	ISO 5149-1, -2, -3, -4	
	EN 60335-2-24	EN 60335-2-89	EN 60335-2-40	EN 378-1, -2, -3, -4	
Scope	Domestic refrigerators, freezers and ice makers	Plug-in commer- cial appliances and cabinets with a condensing unit and single compressor	Factory-made whole air conditioners, heat pumps, dehumid- ifiers and partial units	All commercial and industrial refrigeration, air conditioning and heat pump systems	
Limits on refrigerant charge amount.	150 g flammable refrigerant No limits for R744 R717 is out of soope	150 g flammable refrigerant No limits for R744 R717 is out of scope	Approx. 1 kg of HC in a direct system inside (depending upon room size) and 5 kg outside or special enclosure No limits for R744 R717 is out of scope	1 kg, 1.5 kg, 5 kg, 10 kg, 25 kg of HC and no limit, depending upon type of system and/or room size No limits for R744 or limited by room size No limits for R717 if located outside or in machinery room	
Marking	Requires flammability or high pressure warning symbols, as appropriate				
Strength pressure	Specifies pressure	tests for systems a	nd components (where	applicable)	
Electrical equipment	Specifies design, construction and test requirements Refers to appropriate standards				
Sources of ignition	Describes what to consider and how to avoid a potential source of ignition, including a test method option (applies to all these standards except ISO 5149)				
Information & instructions	Details concerning the installation, use, service, maintenance, and disposal of the equipment so that users, operators and technicians are aware of how to handle flammability hazards				
System tightness	Systems generally have to be constructed as "sealed" or "hermetically sealed" systems if they are to use flammable refrigerants indoors (e.g., no or limited number of reusable mechanical connections or fittings)				
Pressure limiting/ relief devices	The need for additional devices to limit or relieve excess pressure may apply to smaller systems if flammable refrigerants are used				
Secondary/ indirect systems	Additional components for secondary or indirect circuits (such as those using water or brine) are required to vent a leak that has occurred from the evaporator into the secondary circuit if the primary refrigerant circuit exceeds a certain charge size				
Gas sensors	n/a Gas sensors may be mandated to initiate mitigation measures such as ventilation, alarms, terminating electrical supplies, etc. These may be applicable to systems using flammable refrigerants in machinery rooms or even for systems in occupied spaces				
Construction of machinery rooms or ventilated enclosure	n/a	Machinery rooms or special enclosures may have certain requirements if flammable refrigerants are used, such as number and opening of doors, fire resistance of walls, tightness and minimum airflow rates, etc.			

La norma IEC 60335-2-89 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece límites sobre la cantidad de refrigerante según el tipo de aplicación. Estos incluyen límites absolutos (kg), así como límites por volumen de habitación. Los valores aplicables para refrigerantes A3 inflamables (hidrocarburos) hasta hace poco se muestran en la Tabla 9, que muestra un límite de 0.15 kg (carga total) para varias aplicaciones, que se elevó a 0.5 kg para



refrigerantes A3 (y a 1.2 kg para A2 / A2L refrigerantes) en una reunión de IEC en mayo de 2019^{14} .

Tabla 9. Límites de carga para refrigerantes inflamables (A3) según IEC 60335, antes de los aumentos de 2019 en los límites de carga

(Fuente: Sallent, 2018, lámina 8)

TABLA RESUMEN - LIMITE DE CARGA

	•	60335-2-24, 40, 89)	Horizontal (ISO 51	49-1;UNE 378-1)
Equipo/Aplicación	Máxima Carga	Carga Permitida	Máxima Carga	Carga Permitida
Refrigeración Doméstica	0,15 kg	0,15 kg	N/A	N/A
Refrigeración Comercial				
Stand alone	-76	0,15 kg	1,5 kg	0,008×Vrm
Unidades Condensadoras	0,15 kg	0,15 kg	1,5 kg	0,008×Vrm
Sistemas centralizados			1,5 kg	0,008×Vrm
Transporte Refrigerado			1,5 kg; 2,5kg	1,5 kg; 2,5kg
Cuartos Fríos			2,5kg;10kg;25kg; sin limite	0,008×Vrm
Aire Acondicionado y Bombas de Calor				
Auto contenidos (ventana)	0,3kg	0,01×Vrm	0,3kg	0,01×Vrm
Mini-split	1kg		1,5 kg	
Multi-split	1kg		1,5 kg	
Split con ductos	1kg		1,5 kg	
Compacto con ductos	1kg		1,5 kg	
Bomba de calor para agua	1 kg; 5kg	0,04xhxArm	1,5 kg; 5kg; 10kg; 25kg: sin limite	
Bomba de calor para espacios	1 kg; 5kg	0,04xhxArm	1,5 kg; 5kg; 10kg; 25kg: sin limite	
Chillers				
Desplazamiento positivo	1kg; 5kg	1kg; 5kg	1,5 kg; 5kg; 10kg; 25kg: sin limite	
Centrífugos			1,5 kg; 5kg; 10kg; 25kg: sin limite	

Leyenda: Vrm: volumen del espacio (m3) Arm: área del espacio (m2)

Arm: área del espacio (m2) h: altura de instalación del evaporador

Fuente: Elaboración propia - International Safety Standards in Air Conditioning, Refrigeration & Heat Pump by Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

La cantidad total de carga de refrigerante depende de la capacidad de enfriamiento del equipo, así como de su COP o EER. La Figura 16 da un ejemplo de la relación para los aires acondicionados que usan R-290 como refrigerante.

¹⁴ See, e.g. https://www.achrnews.com/articles/141742-iec-approves-higher-charge-limits-for-flammable-refrigerants?v=preview, accessed 14 August 2019.



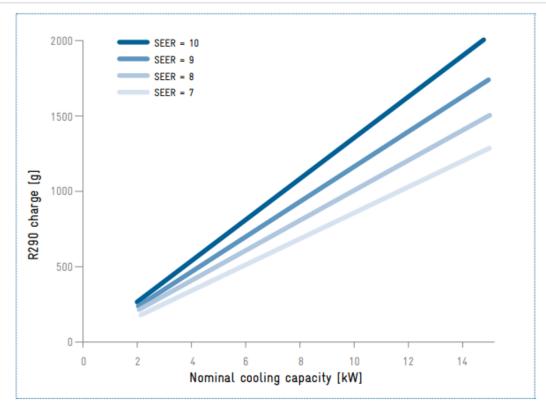


Figura 16. Ejemplo de relación entre la carga de refrigerante y la capacidad de enfriamiento en función de la eficiencia estacional de un aire acondicionado (SEER) con R290

Fuente: GIZ, 2018, Figure 1

El rango aproximado de capacidad máxima para diferentes aplicaciones que usan refrigerantes alternativos se muestra en la



Tabla 10.

Tabla 10. Rango de capacidad aproximado para diferentes tipos de aplicaciones que utilizan HC (hidrocarburos), R744 (dióxido de carbono) o R717 (amoníaco)

Fuente: Sallent, 2018, lámina 9

TABLA RESUMEN - CAPACIDAD

Equipo/Aplicación	Capacidad Máxima aproximada en (kW)				
C.J.J.J.J.A.J.J.J.J.J.J.	HC(R290,R600a, otros)	R744*	R717		
Refrigeración Doméstica	Sin limite	Sin limite	Sin limite (Absorción)		
Refrigeración Comercial					
Stand alone	1 a 15	Sin limite	No permitido		
Unidades Condensadoras	5 a 10	Sin limite	No permitido		
Sistemas centralizados	2 a 4	Sin limite	No permitido		
Transporte Refrigerado	6 a 15	Sin limite	No aplica		
Cuartos Fríos	60 hasta sin limite	Sin limite	Sin limite		
Aire Acondicionado y Bombas de Calor					
Auto contenidos (ventana)	4 a 10	Sin limite	No permitido		
Mini-split	Hasta 10	Sin limite	No permitido		
Multi-split	3 a 6	Sin limite	No permitido		
Split con ductos	10 a 20	Sin limite	No permitido		
Compacto con ductos	10 a 20	Sin limite	No permitido		
Bomba de calor para agua o espacios (doméstico)	10 a 50	Sin limite	No permitido		
Bomba de calor (comercial)	50 hasta sin limite	Sin limite	No permitido		
Chillers					
Desplazamiento positivo	150 hasta sin limite	Sin limite	Sin limite		
Centrífugos	25 hasta sin limite	Sin limite	No aplica		

<u>Levenda:</u>
*: Podría haber disminución de la capacidad y la eficiencia a temperaturas ambiente de moderadas a altas.

Fuente: Elaboración propia - International Safety Standards in Air Conditioning, Refrigeration & Heat Pump by Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



En conclusión, podemos notar que los hidrocarburos, aunque son inflamables, pueden ser tan seguros como los refrigerantes convencionales, siempre que el diseño y las cantidades de refrigerante cumplan con las normas aplicables. Se deben evitar las fugas de cualquier refrigerante. Sin embargo, el esfuerzo debe ser mayor para los refrigerantes tóxicos o inflamables. En general, se necesitan cantidades mucho más pequeñas de hidrocarburos en comparación con sus homólogos de HFC. Además, muchos equipos de refrigeración que utilizan refrigerantes de hidrocarburos son muy eficientes energéticamente, por lo que las emisiones indirectas en la generación de electricidad son pequeñas y esto es una consideración importante.

Estados Unidos tiene reglas mucho más estrictas sobre el uso de refrigerantes inflamables. Esto es más por razones legales (responsabilidad del fabricante) que por factores técnicos absolutos, ya que los fabricantes globales ofrecen sus productos tanto en los EEUU como en Europa y en otros lugares, donde el uso de hidrocarburos es común. Esto fue notado por Calm (2008, p. 1130). El caso especial de la inflamabilidad del refrigerante estadounidense se analiza en el Apéndice G.

Costos para la fabricación y uso de refrigerantes inflamables

Hay costos adicionales sustanciales para que las instalaciones de fabricación cambien de un refrigerante de alto GWP a refrigerantes inflamables de bajo GWP, ver, por ejemplo, UNEP/TEAP (2019, Tabla 3.1). UNEP/TEAP (2019, p. 49) además observa: "... that the distinct cost increase associated with the use of HC-290 over HCFC-22 or R-410A is in the order of €105,000 to €200,000 (24.4% to 25.3%) and is primarily due to the need for additional safety equipment associated with handling flammability. They also estimate that this results in an additional cost per unit output of €0.20 at most assuming 250,000 units produced annually. There may be additional costs related to production line machinery." (...que el aumento de costos distinto asociado con el uso de HC-290 sobre HCFC-22 o R-410A es del orden de € 105,000 a € 200,000 (24.4% a 25.3%) y se debe principalmente a la necesidad de equipos de seguridad adicionales asociados con manejo de inflamabilidad. También estiman que esto da como resultado un costo adicional por unidad de producción de 0,20 € como máximo suponiendo 250,000 unidades producidas anualmente. Puede haber costos adicionales relacionados con la maquinaria de la línea de producción.)

En otras palabras, una vez que una línea de producción ha cambiado, el costo adicional por unidad de refrigerante es insignificante.

En cuanto al refrigerante se carga, los refrigerantes convencionales representan aproximadamente el 1% del costo total del aire acondicionado. Los precios indicativos de los refrigerantes comúnmente utilizados en el aire acondicionado en China se muestran en la Figura 17.



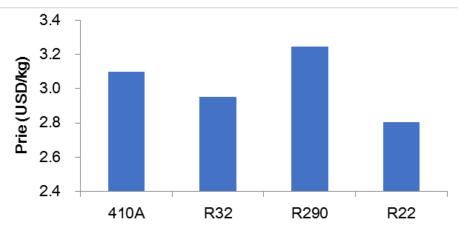


Figura 17. Estimaciones de precios de refrigerantes en China

Fuente: UNEP/TEAP (2019, Figure 3.2)

Con respecto al precio de los refrigerantes en el Reino Unido, UNEP/TEAP (2019) observe (traducido):

It is worth noting that in UK, the bulk HC (HC290, HC-600a, HC-1270) price varies between USD 1 to USD 1.5 per kg. Furthermore, the average HCFC-22 price is USD 6/kg. Vale la pena señalar que en el Reino Unido, el precio a granel de HC (HC290, HC-600a, HC-1270) varía entre USD 1 y USD 1,5 por kg. Además, el precio promedio de HCFC-22 es de USD 6/kg.

[En el Reino Unido] El rango general de precios de los refrigerantes es bajo, alrededor de 3 USD / kg +/- 10%. En una etapa temprana, los nuevos refrigerantes son más caros y difíciles de establecer en el mercado. Por ejemplo, HC290 es un subproducto de la industria del gas natural licuado (GNL). Su proceso de producción es más simple que el HFC-32, pero su precio actual es ligeramente superior al del HFC-32. Sin embargo, al comprar en grandes cantidades, el propano de grado refrigerante puede ser tan bajo como \$ 1 por kg. El costo de los HFC de alto GWP aumentará con la implementación de la regulación de los gases "F" y la Enmienda de Kigali, que afectan la competitividad de los productos que contienen HFC. Por ejemplo, el precio cotizado de R-410A en Europa se multiplicó por diez en 2017, y en 2018 es de ~ 20 euros / kg, lo que supera con creces el costo del material del refrigerante (Figura 3.3). Esto aumenta la competitividad de los refrigerantes alternativos de GWP medio y bajo y promueve en gran medida la comercialización de tecnologías refrigerantes ecológicas.

Se pueden hacer dos observaciones sobre el precio relativo de los refrigerantes:

- El precio del refrigerante es una parte muy pequeña del costo del equipo;
- Incentivos fiscales, por ejemplo, los impuestos sobre los refrigerantes con alto GWP pueden hacerlos mucho más caros.

A continuación, discutimos varios refrigerantes específicos.

Dióxido de carbono

El dióxido de carbono tiene un GWP de 1 (uno) por definición, que es el más bajo de todos los refrigerantes disponibles. Tampoco es inflamable y en gran medida no tóxico. En



comparación con una concentración atmosférica de 380 ppm, una concentración en interiores de 800 ppm todavía se considera de buena calidad, con una concentración promedio de 8 horas de 5000 ppm permitida para entornos de trabajo, según ASHRAE Standard 34 (ASHRAE, 2019B).

Según la información que hemos recibido, los sistemas que usan CO₂ como refrigerante generalmente no son más eficientes que las tecnologías actuales para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, hay ciertas aplicaciones, incluida la refrigeración industrial y la refrigeración de supermercados, donde el CO₂ y las mezclas que incluyen CO₂ pueden ser eficientes. La Figura 18 muestra los resultados de modelar ocho sistemas diferentes usando CO₂ y mezclas contra un sistema de referencia con R-404A como refrigerante. A una temperatura ambiente de 20°C, ninguna de las alternativas es más eficiente que el sistema de referencia (vea la barra izquierda de cada una de las 9 alternativas y la fila superior de los resultados debajo de la figura). Sin embargo, el valor mejora con temperaturas ambiente más bajas, p. 10 C (barra central y fila central), y especialmente a una temperatura ambiente de 0°C (barra derecha y fila inferior, resaltadas en la figura a continuación).

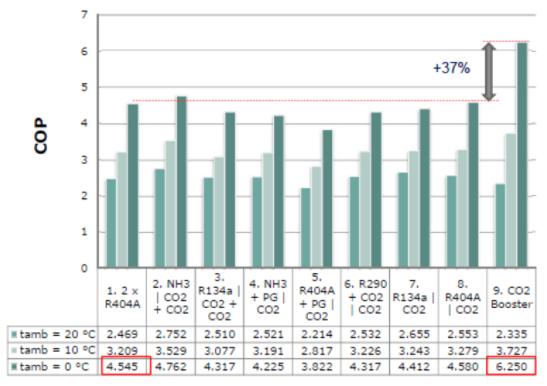


Figura 18. COP de diferentes tipos de sistemas refrigerantes que usan CO₂ contra un sistema de referencia que usa R-404A, en función de la temperatura ambiente

Fuente: Presentación: "Diseño de sistemas de CO2 aplicados a la refrigeración industrial", slide 36.

Es nuestra conclusión que los sistemas de CO₂ generalmente no son actualmente más eficientes para muchas aplicaciones. Sin embargo, este refrigerante puede ser adecuado para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, el CO₂ puede ser preferible para lograr bajas temperaturas (-50 ° C) con tiempos de congelación más rápidos y mejorar la productividad.



A continuación, observamos algunos proveedores de equipos que utilizan CO₂ como refrigerante:

Daikin (Japón, global) ofrece sistemas de bomba de calor de volumen variable de refrigerante (VRV, variable refrigerant volume) que utilizan dióxido de carbono como refrigerante¹⁵. La unidad exterior **RXYN-AY1** tiene una capacidad de enfriamiento de 28 kW con un COP de 2 (y una capacidad de calefacción de 31.5, con un COP de 3). Las unidades interiores **FXSN-AV1** se ofrecen en capacidades de enfriamiento de 20 a 100 kW.

Arneg (global, con plantas en Argentina, Brasil, Colombia, EEUU, Italia y otras partes) fabrica unidades de refrigeración transcríticas de CO₂ para temperaturas medias y bajas¹⁶, "ideal para aplicaciones de locales comerciales pequeños", según el fabricante. No pudimos encontrar datos de COP en las especificaciones proporcionadas. Arneg también fabrica otros sistemas de refrigeración, donde también las especificaciones técnicas son escasas.

Enex (Italia) enumera una serie de productos de A/A y refrigeración que utilizan CO₂ como refrigerante¹⁷. Sin embargo, no pudimos encontrar datos de COP en las especificaciones proporcionadas. Una compilación realizada por IIEC¹⁸ tampoco incluye información de eficiencia, pero señala lo siguiente:

Enex ofrece una amplia gama de productos:

- Unidades de refrigeración para aplicaciones comerciales.
- Enfriadores de salmuera / agua;
- Bombas de calor (para agua sanitaria)
- Sistemas de refrigeración industrial (para centros de distribución o grupos de celdas refrigeradas)
- Sistemas de refrigeración para túneles de congelación.

Green and cool (Suecia) enumera una serie de productos de refrigeración y A/A que utilizan CO_2 como refrigerante. Sin embargo, no pudimos encontrar datos de COP en las especificaciones proporcionadas. Una compilación realizada por IIEC¹⁹ tampoco incluye información de eficiencia

Mayekawa (Japón, global) ofrece bombas de calor que utilizan CO₂ como refrigerante. Mejorando su modelo EcoCute, ahora ofrece el sistema de bomba de calor UNIMO A/W. El sistema proporciona agua caliente y también puede proporcionar agua fría. El folleto²⁰ enumera actualmente solo el COP para el calentamiento.

18 http://www.iiec.org/coolingdemo-technologies/711-commercial-refrigeration/692-refrigeration-systems

https://my.daikin.eu/dam/document-library/catalogues/ac/vrv/bevn-a/CO2-based%20VRV%20-%20ECPEN09-207_Catalogues_English.pdf

¹⁶ https://www.arneg.com.ar/en/products/refrigeration-systems/condensing-units/hcp-co2

¹⁷ http://www.enex-ref.com/eng/download.aspx

^{19 &}lt;u>http://www.iiec.org/coolingdemo-technologies/711-commercial-refrigeration/691-transcritical-refrigeration-systems</u>

²⁰ https://www.mayekawausa.com/pdf/brochures/Unimo-AW.pdf



Amoniaco

En la historia y el futuro de los refrigerantes, Calm (2008) señaló (traducción):

"Uno de los refrigerantes más antiguos, el amoníaco sigue siendo el refrigerante preferido en los sistemas industriales y especialmente para el procesamiento de alimentos y bebidas, que a menudo requieren grandes volúmenes internos y flexibilidad en la modificación del sistema, así como en el almacenamiento".

El amoniaco es un refrigerante de dos maneras. Primero, el amoníaco puede usarse como refrigerante en un ciclo de refrigeración por compresión, típicamente para refrigeración industrial. El amoníaco también puede usarse en un ciclo de absorción, donde se usa una fuente de calor para proporcionar enfriamiento. Reindl (2014) proporciona una introducción general al amoníaco y algunas aplicaciones en refrigeración de tipo compresión.

GEA Group AG (Alemania) fabrica varias familias de enfriadores ("chillers") que funcionan con amoníaco como refrigerante, que incluyen:

- GEA BluAir
 - o Capacidad de enfriamiento de 370 a 1,270 kW (R717, 12/6 °C)
 - o Máxima temperatura ambiente: -15/40 °C
 - Temperatura de salida del refrigerante secundario -15/18 °C
- GEA BluAstrum
 - Capacidad de enfriamiento de 390 a 1,730 kW (R717, 12/6 °C)
 - o Temperatura de salida del refrigerante secundario -15/18 °C
- GEA BlueGenium
 - Excelente eficiencia con carga parcial, ESEER por encima de 9
 - Capacidad de enfriamiento de 280 a 1,210 kW (R717, 12/6 °C)
 - o Temperatura de salida del refrigerante secundario -15/18 °C

El índice de eficiencia energética (Energy Efficiency Ratio) versus la carga operativa de los modelos típicos en cada familia con respecto a los modelos "estándar", según lo informado por el fabricante, se muestra en la Figura 19. Específicamente, los modelos GEA muestran un rendimiento de carga parcial mejorado en comparación con los modelos estándar.

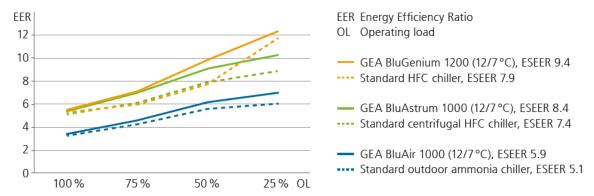


Figura 19. Rendimiento de modelos de chillers GEA BluAir, BluAstrum y BluGenium comparados con modelos "estándar" utilizando HFC y amoniaco.

(Fuente: gea-blu-chiller-brochure_tcm11-18596.pdf)



REFTECO (Italia) también ofrece enfriadores de amoníaco CHA en un amplio rango de capacidad de enfriamiento de 80 a 950 kW²¹.

Azane (EEUU) También ofrece enfriadores de amoníaco:

• Azanechiller 2.0²². El fabricante (Azane) afirma una eficiencia mejorada del 20% en comparación con los chillers de HFC y una baja carga de refrigerante, tan baja como 0,64 kg / TR. Tenga en cuenta que Star Refrigeration (Reino Unido) incluye Azanechiller 2.0 entre sus "Productos"²³.

Azanefreezer 2.0²⁴. El fabricante informa grandes ahorros de energía en comparación con el "Promedio europeo" ("European Average") para congeladores comerciales (-22 C), vea la

Figura 20y la nota al pie asociada.

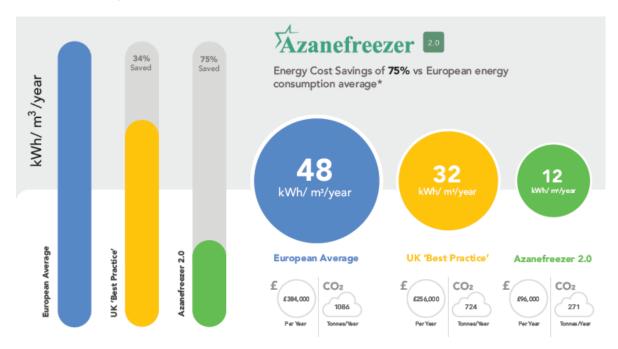


Figura 20. Consumo energético de Azanefreezer 2.0 comparado con el promedio europeo (European Average) y la major práctica ("Best practice") del Reino Unido²⁵

Fuente: http://www.azane-inc.com/media/39192/af 20 tri compressed.pdf

Se debe tener en cuenta que los datos de rendimiento de Azanechiller y Azanefreezer informados por Star Refrigeration, ver

Figura 20, corresponden al Reino Unido, con una temperatura exterior promedio anual de solo 12 C. Para Azanechiller 2.0, Star Refrigeration afirma "Con COP hasta 3.63 con una carga

²¹ https://www.refteco.com/chillers/ammonia-chiller-cha/

²² http://www.azane-inc.com/media/39191/ac 20 tri compressed.pdf

²³ https://www.star-ref.co.uk/our-products/azanechiller-20.aspx

²⁴ http://www.azane-inc.com/media/39192/af 20 tri compressed.pdf

²⁵ The manufacturer provides the following footnote to the figure: Figures based on an 80,000 m freezer volume. European Average figures based on Evans et al (2015). UK 'Best Practice' based on ETSU UK (1994). Azanefreezer 2.0 based on Star Refrigeration Data (2018) of a modern, well managed cold store at -22C and 10p/kWh. CO emissions are calculated using UK government conversion factors for 2018. (Source references not available.) Note that data correspond.



del 100% y 35 ° C ambiente, aumentando a 11.9 con una carga del 50% y temperaturas ambiente típicas del Reino Unido de 10 ° C, el nuevo Azanechiller 2.0 es 15% más eficiente que sus contrapartes de compresores de tornillo en condiciones de diseño". La temperatura ambiente es muy importante para cualquier refrigeración y el sistema de aire acondicionado, y deben tenerse en cuenta para garantizar que cualquier sistema y la referencia se prueben en las mismas condiciones.

Mayekawa (Japón, global) ofrece un sistema de agua sub-enfriada ("slurry ice") que produce hielo a 0° C, utilizando amoniaco como refrigerante. Se reclama un ahorro de energía del 20% en comparación con el sistema de hielo en barra ("stick ice"). Las posibles aplicaciones incluyen²⁶:

- Plantas lácteas: para enfriar leche, queso, yogur, mantequilla, etc.
- Plantas de bebidas para pasteurización de leche / bebidas
- Plantas alimenticias: para fideos, tofu, pan, pescado y cerveza.
- HVAC (Calefacción, ventilación y A/A)

El amoníaco también se puede usar en sistemas de refrigeración *por absorción*, como se presenta en una sección sobre este tema más adelante.

Dióxido de carbono con otros refrigerantes

El dióxido de carbono se puede usar con otro refrigerante en sistemas de refrigeración en cascada de dos etapas, que usan dos refrigerantes en cada uno de los dos ciclos de refrigerante y que comparten un intercambiador de calor común. Los dos refrigerantes tienen diferentes puntos de ebullición; uno se usa para la etapa de enfriamiento inicial, y el otro para el enfriamiento final. El enfriamiento en cascada se utiliza más en aplicaciones industriales y de almacenamiento de alimentos a baja temperatura, como (Visser, 2002, p. 22):

- 1. Plantas de almacenamiento en frío
- 2. Sistemas de congelación a gran escala y congelación de placas
- 3. Otros equipos de congelación: espirales, IQF, etc.
- 4. Plantas de helados
- 5. Plantas lecheras con instalaciones de almacenamiento en frío y congelación.
- 6. Plantas procesadoras de pescado
- 7. Plantas generales de procesamiento de alimentos que fabrican alimentos congelados.

El refrigerante de la etapa superior puede ser un HFC o amoníaco de bajo GWP, mientras que el refrigerante de la etapa inferior es CO₂. Visser (2002) sugirió un sistema en cascada con CO₂ a, por ejemplo, -55 a -8°C y NH₃ a, por ejemplo, -10°C / + 35°C. Peterson (2016) afirma una serie de ventajas para un sistema de CO₂ / amoníaco en comparación con un sistema que usa solo amoníaco, que incluye:

1. "Menores costos operativos. Un sistema en cascada de CO₂ / NH₃ usa menos energía por tonelada de refrigeración que un sistema típico de amoníaco de dos etapas que funciona a temperaturas de evaporación de -35 F (-37 C) a -60 F (-51 C)

²⁶ Source: https://www.mayekawausa.com/industrial-refrigeration/products/cooling-system/slurry-ice-system/



- 2. Menores costos de capital. El uso de CO_2 en lugar de amoníaco aprovecha las propiedades físicas únicas del CO_2 , lo que resulta en tuberías más pequeñas, bombas más pequeñas, menos aislamiento y menos mano de obra de instalación en comparación con un sistema de amoníaco de dos etapas.
- 3. Reducción de carga de amoniaco."

Estas ventajas podrían necesitar ser verificadas y cuantificadas en instalaciones reales.

A continuación, consideramos algunos productos que usan CO₂ con otro refrigerante en sistemas en cascada:

Kuroshiho (Japan). Kuroshiho ha desarrollado un sistema en cascada para temperaturas ultrabajas de -40 ° C a -80 ° C²⁷. Los refrigerantes serían R-407E para la etapa de alta presión y R-32 para la etapa de baja presión. El sistema de referencia utiliza R-404A y R-23. El GWP del sistema Kuroshiho es 894 en comparación con 8000 para el sistema de referencia. Kuroshiho afirma un costo inicial más bajo y un costo operativo más bajo en comparación con el sistema de referencia, así como un GWP reducido.

Hillphoenix (EEUU, global). Hillphoenix ofrece sistemas de refrigerantes industriales a baja temperatura que utilizan CO2 en combinación con un HFC. Su sistema de cascada de expansión directa a baja temperatura (SNLTX2, ver Figura 21) permite una disminución del 70% en la carga de refrigerante HFC.

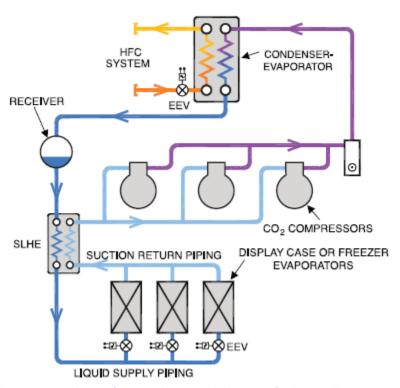


Figura 21. Hillphoenix Second Nature® Sistema de cascada de expansión directa a baja temperatura (SNLTX2), utilizando CO₂ junto con HFC

_

²⁷ Source: http://www.nissin-ref.co.jp/english/product_blog/1-2.html, accessed 17 August 2019



Fuente: SNLTX2-CO2-Cascade-Refrigerations-System-Sales-Sheet.pdf

Mayekawa (Japón) también ofrece sistemas de refrigeración industrial con amoníaco / CO₂, incluidos NewTon 3000, 6000 y 8000. Mayekawa informó ahorros de energía²⁸:

- Almacenamiento en frío, 39.200 m³: con NewTon 3000, la fábrica ahorró 27.8% de electricidad para todos los usos (incluyendo luces y ascensores). Sistema de referencia no especificado.
- Congeladores: 20% de ahorro de energía en comparación con un sistema de referencia que utiliza R-22.

Además, la configuración del sistema permite que el amoníaco se limite a la sala de máquinas, lo cual limita la exposición a este gas tóxico (Figura 22).

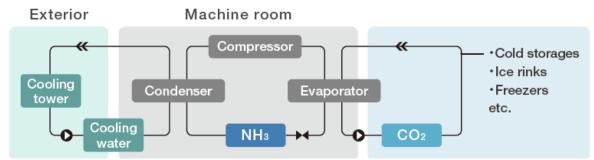


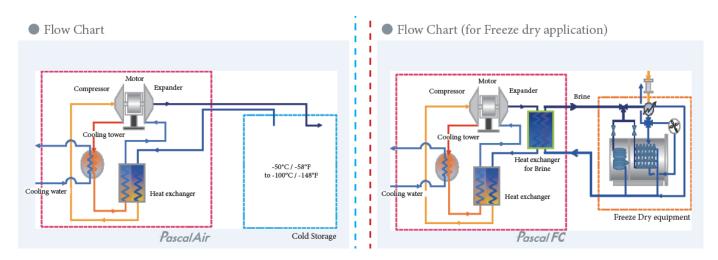
Figura 22. Configuracion de refrigeración Mayekawa NewTon que utilize amoniaco, CO₂ y agua.

Source: https://www.mayekawausa.com/pdf/brochures/Newton_Brochure.pdf

Aire como refrigerante

El aire también se puede usar como refrigerante.

Mayekawa (Japón, global) ofrece su sistema Pascal Air para generar temperaturas ultrabajas (-50 C-100 C), que también se puede utilizar para aplicaciones de liofilización ("Freeze drying", Figura 23).



²⁸ Source: https://www.mayekawausa.com/pdf/brochures/Newton Brochure.pdf



Figura 23. Diagrama de flujo a Mayekawa Pascal Air que usa aire como refrigerante para generar temperaturas ultra bajas (izquierda) y para liofilización (derecha)

Fuente: Mayekawa: Pascal-air-brochure.pdf

Refrigerante R1234ze

R1234ze es una hidrofluoroolefina (HFO) desarrollada por Honeywell, para una variedad de posibles aplicaciones que incluyen agentes de soplado de espuma, propulsores en aerosol y refrigerantes. Los dos isómeros de HFO-1234ze se muestran en la Figura 24. A pesar de la presencia de átomos de flúor, este refrigerante tiene un GWP inferior a 1. Este refrigerante tiene aplicaciones potenciales en refrigeración comercial e industrial. Sin embargo, se debe determinar la COP del HFC-1234ze para reemplazar los refrigerantes HFC. Al menos un estudio indica que "un simple reemplazo del refrigerante R134a con R1234ze en los sistemas de enfriadores (chillers) existentes, el COP se reducirá en un 16-18%" (Di Bella, Weaver y Osborne, 2017).

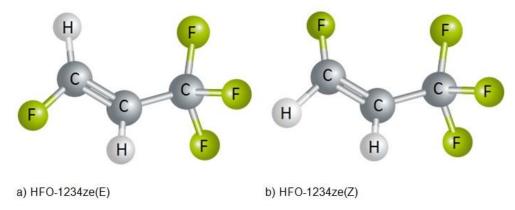


Figura 24. Los isómeros de HFO-1234ze Fuente: Makhnatch, 2015A, Fig. 1

Schneider Electric (Global) fabrica una amplia gama de equipos de enfriamiento en la serie Aquaflair²⁹, utilizando refrigerantes R-410A y R-134A. Sin embargo, también ofrecen dos modelos de enfriadores (chillers) que usan refrigerante R1234ze (BREC y BREF), cada uno con capacidades de enfriamiento en el rango de 300 a 1000 kW. El folleto del producto citado aquí incluye especificaciones de rendimiento detalladas para todos los modelos, incluidos R-410A, R-134A y R1234ze, de modo que el diseñador del sistema pueda hacer una comparación de R1234ze con sistemas alternativos. Schneider Electric también ofrece una gran cantidad de opciones de control para optimizar aún más el uso de energía.

Daikin (Japón, global) lanzó una nueva generación de series de enfriadores (chillers) de tornillo refrigerados por aire y refrigerados por agua con refrigerante R-1234ze en febrero de 2018³⁰. Observaron la disponibilidad futura de modelos de la siguiente manera:

• La gama de enfriadores enfriados por aire (serie TZ) estará disponible desde 130 kW hasta

²⁹ FFAI-9CHEMJ_R5_EN.pdf available at https://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/62213-aquaflair-df/#tabs-top.

³⁰ https://www.daikin-ce.com/en_us/press-releases/2018/new_chiller_ranges_R-1234ze.html



830 kW de capacidad de enfriamiento.

• La gama de enfriadores refrigerados por agua (serie VZ) estará disponible desde 340 kW hasta 1600 kW de capacidad de enfriamiento.

Además, la serie de enfriadores (chillers) DZ también estaría disponible en una "plataforma R-1234ze", así como con la "plataforma R-134A"³¹.

Refrigerante R-32

La discusión anterior indica que, en una transición a refrigerantes de bajo GWP, hay una serie de refrigerantes para elegir, dependiendo de la aplicación. Estamos de acuerdo con el fabricante Daikin en su evaluación (Daikin, 2016, párrafo 2, traducción):

El concepto principal de la política de Daikin es la "diversidad de refrigerantes". Y no existe una solución de refrigerante ideal para todos los usos, ya que se deben evaluar muchos criterios, como el valor ODP y GWP del refrigerante. y seguridad, consumo de energía, disponibilidad, asequibilidad, eficiencia de recursos, reciclabilidad, capacidad de recuperación e impacto total del calentamiento global de los equipos.

Para este efecto, esta compañía en particular, ha sugerido lo siguiente:

Daikin ha identificado al R32 como un refrigerante muy beneficioso para equipos de aire acondicionado y bombas de calor de tipo dividido ("Split") simple y múltiple en base a los criterios anteriores. Daikin cree que la transición a R32 ayudará a cumplir con el cronograma de eliminación gradual de HFC y el cronograma de eliminación de HCFC.

Como hemos señalado anteriormente (Tabla 3), R-32 es un HFC con un GWP de 675, mucho más bajo que otros HFC actualmente en uso (R-134A: 1430; R-410A: 2088). Desde 2012, Daikin y otros fabricantes han comercializado equipos de refrigeración y A/A utilizando R-32 como refrigerante, como se muestra en la Figura 25. Daikin ofrece acceso gratuito a patentes para equipos que utilizan R-32 (Daikin, 2018B, lámina 26).

³¹ https://www.daikin.eu/en_us/product-group/chillers/dz-chiller.html





Figura 25. Fabricantes de equipos que usan R-32 como refrigerante en A/A de sistema dividido ("split") e infraestructura asociada

Fuente: Daikin, 2018B, lámina 18

La importancia del R-32 como refrigerante intermedio también se ha formalizado en las políticas definidas por Colombia, e incluido en la NAMA para el sector de aire acondicionado (diseñada por MGM Innova). Varias actividades dentro de la NAMA indican un valor de corte de GWP de refrigerante de 1000. Un GWP de menos de 1000 incluye R-32 (GWP 675), así como todos los refrigerantes naturales. Las siguientes actividades de NAMA se verían directamente afectadas por el valor de GWP del refrigerante:

- Un proyecto piloto en la Universidad Nacional de Colombia (Medellín) para reemplazar los A/A mini-split usando R-410A y R-22, con mini-splits eficientes energéticamente usando R-32 como refrigerante.
- La introducción de estándares para que los edificios públicos adquieran equipos de aire acondicionado eficientes, utilizando un refrigerante con GWP <1000.
- Restricción de la venta de equipos de aire acondicionado que son menos eficientes o tienen refrigerantes con GWP> 1000.

2.3. Recuperación y tratamiento de refrigerantes

Chile

En 2014, el Ministerio de Medio Ambiente de Chile compiló la experiencia con la recuperación de refrigerantes y el reciclaje en varios países de América Latina y el Caribe, así como en los Estados Unidos, para diseñar su programa nacional (MMA, 2014). Desde entonces, Chile ha iniciado un programa propio³².

Colombia

_

³² http://regenerchile.cl/



El Decreto 1076 (2015) compila leyes y decretos anteriores relacionados con el tratamiento posterior a los consumidores de desechos peligrosos (MADS, 2017). El programa *Red Verde* comenzó en 2014, se ocupa del reciclaje de electrodomésticos, incluidos refrigerantes y agentes espumantes. Sin embargo, el programa ha tenido un éxito limitado, con solo 8609 elementos recuperados hasta ahora³³.

El programa Red Verde fue creado por la unión de Challenger, Haceb, Abba, LG, Mabe, Panasonic, Samsung y Whirlpool, con el apoyo de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Unidad Técnica Ozono y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

México

Gran parte de la emisión de las Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO u ODS) se origina dentro de los sectores de la refrigeración y aire acondicionado. Por ello, a partir de 2008, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) abrió 14 Centros de Reciclado de Refrigerantes (CRR) en varios estados de la República Mexicana con el fin de reducir el daño a la capa de ozono causada por algunos refrigerantes. Los 14 CRR están señalados en la Figura 26.



Figura 26. Centros de Reciclado de Refrigerantes, CRR
Fuente: adaptado de https://www.andira.org.mx/2017/01/02/red-nacional-de-centros-de-reciclaje-2/

Es nuestra conclusión que, a excepción de México, el reciclaje de refrigerantes está lejos de su potencial en ALC y, como resultado, se liberan una gran cantidad de SAO (ODS) y GEI a la atmósfera.

_

³³ http://www.redverde.co/index.php, consulted 22 September 2019.





3. Alternativas a los sistemas de compresión de vapor.

3.1. Enfriamiento evaporativo

El enfriamiento por evaporación reduce la temperatura mediante la evaporación de un líquido, lo que elimina el calor latente de la superficie desde la cual tiene lugar la evaporación. Para fines prácticos, un enfriador evaporativo enfría el aire por la evaporación del agua. El agua absorbe una cantidad relativamente grande de calor latente a medida que se evapora: 2,260 kJ/kg. No hay insumo de energía mecánica como en la refrigeración por compresión de vapor, ni se necesita ninguna fuente de calor como en la refrigeración por absorción. En los sistemas más simples, un enfriador evaporativo directo el aire (del exterior) pasa a través de un medio húmedo, ganando humedad y bajando la temperatura en el proceso (Figura 27). En un enfriador evaporativo indirecto, hay un intercambiador de calor para transferir el frío al suministro de aire. También hay sistemas pasivos, donde un elemento de construcción, como el techo, contiene agua que está expuesta al aire por la noche. Este proceso de estanques de techos con aislamiento móvil fue aplicado por primera vez por Hay y Yellott (1969), y se denominó enfriamiento por Sky-therm³⁴.

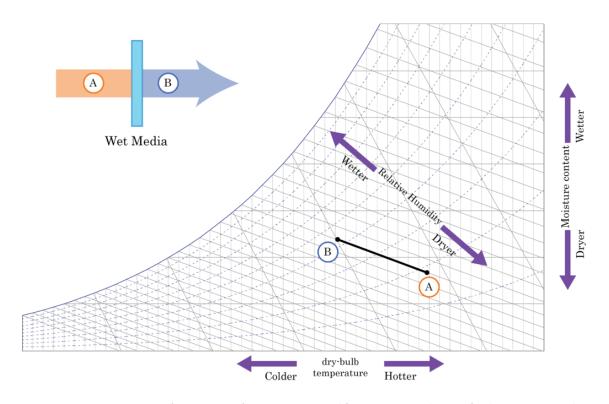


Figura 27. Diagrama psicrométrico esquemático que muestra el funcionamiento de un enfriador evaporativo directo. El aire caliente y seco (condición A) pasa a través de medios húmedos y alcanza la condición B, con una temperatura más baja del bulbo seco, pero una humedad relativa más alta.

Fuente: Hootman, 2013

.

³⁴ El aislamiento móvil no es práctico para edificios más grandes y Prasad et al. (1979) exploraron el diseño de un techo cerrado, lleno de agua, que dependía del enfriamiento de la radiación del cielo nocturno.



Para que funcione el enfriamiento por evaporación, el aire del ambiente (exterior) debe estar bastante seco. Por lo tanto, los enfriadores evaporativos también se llaman enfriadores del desierto. En climas extremadamente secos, el enfriamiento por evaporación agrega humedad al aire interior, mejorando el nivel de confort. La Figura 28 muestra un mapa mundial de la clasificación climática de Köppen, que indica las áreas adecuadas para el enfriamiento por evaporación en rojo. Dentro de la región de ALC, esto incluye el norte y el oeste de México, algunas partes de la costa del Pacífico de América Central y del Sur y el oeste de Argentina.

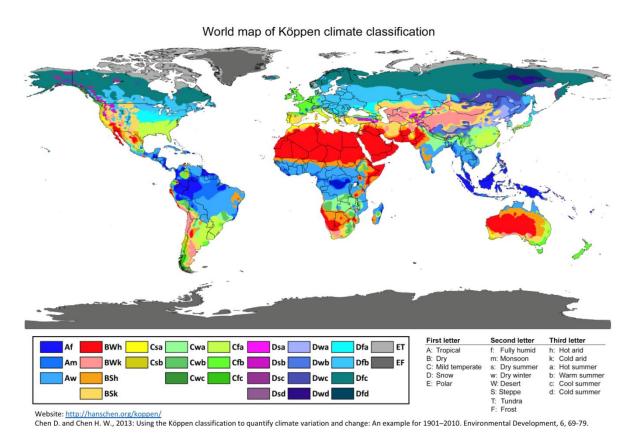


Figura 28. Mapa mundial de clasificación climática de Köppen. El enfriamiento por evaporación es más efectivo en lugares secos y calientes, específicamente BWh, que se muestra en rojo en el mapa (Fuente: http://hanschen.org/koppen/, citado en https://d-lab.mit.edu/research/food/post-harvest-storage-processing/evaporative-cooling-weather)

La Figura 28 muestra un mapa altamente agregado. Sin embargo, considerando grandes variaciones locales en el clima, así como grandes variaciones en la altitud, especialmente a lo largo de la costa del Pacífico de ALC, se necesitan más estudios locales. Uno de estos estudios encontró que el enfriamiento por evaporación era práctico para edificios residenciales, comerciales y públicos e incluso para centros de datos en Colombia, por encima de una altitud de 1400 m (Aire Caribe S.A., 2018). Dado el número de ciudades en altitudes superiores a este nivel, el estudio observó un potencial para esta tecnología en Colombia.

Una limitación obvia del enfriamiento por evaporación es evidente al observar el mapa en la Figura 28: las regiones donde funcionaría el enfriamiento por evaporación probablemente



no tienen agua. En las regiones desérticas costeras (por ejemplo, Baja California, así como las áreas costeras del interior del Golfo de California y la costa del Pacífico de México en general), la desalinización del agua de mar proporciona una fuente de agua. Sin embargo, el proceso más común para la desalinización es por ósmosis inversa, que requiere mucha electricidad. Es necesario tener en cuenta el consumo de electricidad para la desalinización del agua perdida por un proceso de enfriamiento por evaporación.

En los últimos años, se han realizado varios estudios sobre sistemas híbridos para enfriamiento por evaporación y desalinización. Muchos de estos involucran energía solar. No creemos que estos procesos hayan alcanzado una escala comercial. Sin embargo, dadas las grandes superficies a lo largo de la costa del Pacífico de ALC, así como en las islas del Caribe, merecen una revisión detallada en el futuro. Kabeel y col. (2018) presentan los resultados del sistema híbrido de enfriador de aire evaporativo indirecto y sistema de desalinización de humidificación-deshumidificación asistido por energía solar para áreas remotas. Byrne y col. (2015) señalan que los procesos separados de enfriamiento y desalinización requieren mucha energía. Proporcionan una revisión exhaustiva de los sistemas de refrigeración, desalinización y fotovoltaicos solares acoplados, que muestran que dichos sistemas acoplados generan beneficios energéticos y medioambientales.

Una tecnología para superar la limitación de la escasez de agua y reducir la demanda de agua, así como para extender el enfriamiento por evaporación a climas húmedos es el aire acondicionado evaporativo mejorado con desecante (Desiccant Enhanced Evaporative Air Conditioning, DEVap), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (National Renewable Energy Laboratory, NREL) de EEUU. Según NREL (2010), este proceso tiene el potencial de reducir el uso de energía en un 50 a 90% en comparación con las unidades más eficientes disponibles. Utiliza membranas, enfriamiento por evaporación y desecantes líquidos. Dado que el desecante elimina la humedad del aire, este tipo de enfriamiento por evaporación también funcionaría en climas húmedos. El proceso utiliza soluciones salinas, por lo que no hay refrigerantes involucrados.

La Figura 29 muestra cómo el "núcleo de enfriamiento DEVap utiliza agua y líquido desecante para extraer el aire exterior, expulsar parte de ese aire y devolver aire fresco y seco al área que se está enfriando. El componente evaporativo integrado de DEVap y su proceso de secado de desecante ofrecen una mejor deshumidificación y, por lo tanto, menores costos y mucho menor consumo de energía "35.

_

³⁵ https://www.nrel.gov/news/features/2010/1531.html



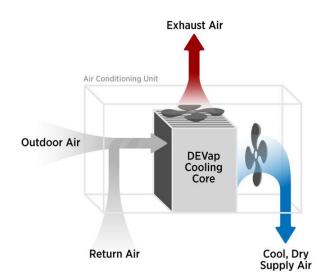


Figura 29. Funcionamiento del aire acondicionado evaporativo mejorado con desecante (Desiccant-Enhanced eVaporative air conditioner, DEVap)

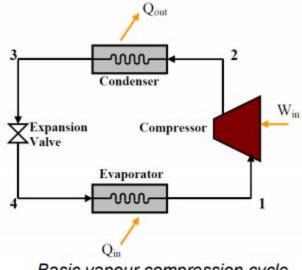
Fuente: US National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2010.

Se pueden encontrar más detalles en Kozubal et al. (2011). Sin embargo, hasta donde sabemos, esta tecnología no está disponible comercialmente.

3.2. Sistemas de refrigeración por absorción

Un sistema de refrigeración por absorción, como en el caso del enfriamiento por evaporación, no depende de la compresión del refrigerante (vapor). El sistema de enfriamiento por absorción es un sistema de enfriamiento activado por calor que utiliza la absorción de una solución. La diferencia entre el sistema de compresión de vapor y un sistema de enfriamiento por absorción se puede ver en la Figura 30.





Basic vapour compression cycle

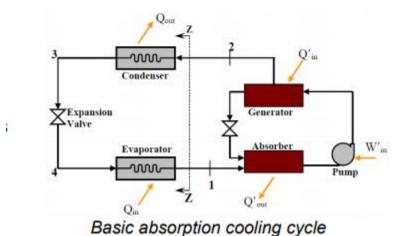


Figura 30. Ciclo básico de compresión de vapor (arriba) y un ciclo básico de enfriamiento por absorción (abajo) (Fuente: CIBSE, 2012)

Los sistemas de compresión de vapor dependen de compresores alimentados por energía eléctrica, mientras que el enfriamiento por absorción utiliza una fuente de calor para producir frío. Los sistemas básicos de refrigeración por absorción no necesitan electricidad en absoluto, mientras que los sistemas más complejos requieren electricidad para el bombeo (como se muestra en la parte inferior de la Figura 30). Como explica CIBSE (2012): en lugar de comprimir el vapor de refrigerante, el ciclo de absorción disuelve este vapor en un líquido (llamado absorbente), bombea la solución a una presión más alta (con mucho menos insumo de trabajo que el requerido por un compresor) y luego utiliza la entrada de calor para evaporar el vapor refrigerante de la solución.

Los sistemas comunes de enfriamiento por absorción usan bromuro de litio (LiBr), mientras que otros usan amoníaco y agua.

Broad USA es un fabricante de enfriadores (chillers) de absorción que utilizan bromuro de litio. La compañía ofrece una amplia gama de productos, que incluyen sistemas que



depende del gas, vapor, calor residual y agua caliente. Algunos sistemas usan múltiples fuentes de calor, por ejemplo, gas y calor residual. También hay enfriadores de absorción alimentados por energía solar³⁶. Los estudios de caso incluyen hoteles, escuelas / universidades y hospitales.³⁷.

El amoníaco también se puede utilizar en sistemas de refrigeración por *absorción*. Wu y col. (2017) proporcionan una excelente descripción general, cuyo resumen se copia a continuación (traducción):

El uso de fluidos de trabajo a base de amoniaco para la absorción prevalece en una amplia gama de aplicaciones debido a la baja temperatura de congelación del refrigerante y la ausencia de cristalización, así como la falta de problemas en condiciones de vacío. Este documento presenta una visión general exhaustiva sobre el uso de enfriadores (Chillers) y bombas de calor de absorción utilizando el amoníaco. Las propiedades termodinámicas y físicas del amoniaco puro y las mezclas binaria y ternaria de amoníaco se presentan en fórmulas de correlación. Se presentan y resumen desarrollos y aplicaciones en sistemas de refrigeración por subcongelación, calefacción / agua caliente sanitaria, utilización de energías renovables, recuperación de calor residual, almacenamiento de energía térmica y miniaturización de sistemas de absorción. En la refrigeración por subcongelación, las temperaturas de evaporación para la absorción en una sola etapa se encuentran principalmente entre -30 ° C y -5 ° C, y pueden alcanzar niveles tan bajos como -70 ° C en sistemas de absorción avanzados. Se recomiendan bombas de calor de absorción de fuente de aire y de tierra para aplicaciones de calefacción / agua caliente sanitaria en regiones frías. Para usos de energías renovables, las aplicaciones de absorción solar basadas en amoníaco con varios fluidos de trabajo son bastante populares, mientras que los sistemas de energía geotérmica y de biomasa están menos estudiados. En el almacenamiento de energía térmica, los fluidos de trabajo basados en amoníaco no son ventajosos para la capacidad de almacenamiento o la eficiencia del ciclo, pero prevalecen para el almacenamiento de energía por subenfriamiento. Además, los fluidos a base de amoníaco también son opciones atractivas para la miniaturización de los sistemas de absorción debido a la ausencia de cristalización.

Un ejemplo de amoníaco y agua como refrigerantes para un sistema de aire acondicionado basado en la absorción es el proyecto de Distrito Térmico de EPM, que se analiza más adelante en este estudio.

Xu y Wang (2016) proporcionan una excelente revisión de los sistemas de enfriamiento por absorción alimentados por energía solar. El resumen del artículo se copia a continuación (traducción):

El sistema de enfriamiento por absorción es un sistema de enfriamiento activado por calor basado en un proceso de absorción de solución. Es una buena opción para la refrigeración solar. Hay varios tipos de sistemas de enfriamiento por absorción disponibles para diversas condiciones de trabajo. En este capítulo, se presentan los fundamentos de la tecnología de enfriamiento por absorción, incluidos el principio de funcionamiento y los pares de trabajo. Estos son seguidos por una introducción a varios sistemas de enfriamiento por absorción. Estos sistemas se clasifican por colectores solares acoplados, ciclos termodinámicos y pares de trabajo. Se introducen cinco sistemas de energía solar de baja temperatura y cinco sistemas

³⁶ Source: https://www.broadusa.net/en/products-line/

³⁷ https://www.broadusa.net/en/case-studies/



de energía solar de temperatura media. También se introducen otros cuatro tipos de sistemas de enfriamiento por absorción diseñados específicamente para el enfriamiento solar. Se presentan los esquemas, parámetros y casos de energía solar de estos sistemas de enfriamiento por absorción. Esta información presenta opciones suficientes para los sistemas de enfriamiento por absorción alimentados por energía solar.

El diseño del sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar se describe a continuación, con detalles en el Apéndice G. El estudio de caso se refiere a un edificio de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín, Colombia. El edificio (Rectoría en "Bloque 3") fue previamente enfriado por una enfriadora (chiller) 50 TR usando R-22 como refrigerante³8. La enfriadora se trasladó a otro edificio y se reemplazó por equipos mini-split de A/A, equipos unitarios de A/A con R-22 o R-410A (con un EER promedio estimado de 2,3 o 1,5 kW / TR), y una enfriadora (chiller) con una capacidad total de enfriamiento de 108,4 TR.

El nuevo sistema de enfriamiento por absorción alimentado por energía solar tiene una capacidad de enfriamiento de diseño de 165 TR, destinado a proporcionar aire acondicionado a todas las partes necesarias del edificio. El sistema comprende los siguientes componentes principales:

- Enfriadora (chiller) de absorción. La unidad de absorción tiene una capacidad de enfriamiento de 580 kW (165 TR), con un caudal de diseño de agua caliente de 67,5 m³/h, con temperaturas de entrada / salida de agua caliente de 95 C / 85 C, proporcionando agua fría a temperaturas de entrada / salida de 12 C / 7 C. La entrada de energía eléctrica es de 1,5 kW.
- *Torre de enfriamiento*. Caudal nominal de agua de 101 litros/min con temperaturas de entrada / salida de 35,8 C / 31,8 C.
- *Colectores solares*. Los colectores de tubos evacuados se instalarían en el techo del edificio.
- *Tanques de agua fría y caliente.* Cada tanque tiene una capacidad de 1000 litros.
- Calentador auxiliar. Calentador a gas con una potencia de entrada de 40 kW.
- Bomba de agua. Se instalarían dos bombas en paralelo, de modo que su uso podría alternarse, así como para proporcionar redundancia. Cada bomba tendrá un caudal de diseño de 167 litros/min.

El sistema de circulación de aire y los conductos de la enfriadora (chiller) central anterior continuarán utilizándose.

3.3. Aire acondicionado con agua del mar

La temperatura en el fondo del mar es baja, y bombear agua de mar puede proporcionar una fuente de aire acondicionado en las islas y otras áreas costeras.

Básicamente, existen dos tipos de sistemas de aire acondicionado de agua de mar (SWAC, sea water air conditioning), "puros" e híbridos "como se resume en un informe del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF, 2015a):

³⁸ Carrier Model 30GT-050-510KA



En el "SWAC" puro, la tubería de admisión debe adquirir agua lo suficientemente fría como para suministrar a todos los clientes de refrigeración agua fría adecuadamente después de que se hayan tenido en cuenta todas las ganancias de calor en las tuberías. En SWAC híbrido, se obtiene agua de mar que es más cálida de lo requerido. Esto hace que salga agua fría del intercambiador de calor que está demasiado caliente para cumplir con los requisitos de temperatura de enfriamiento del cliente. Se utiliza un enfriador (chiller) auxiliar aguas abajo del intercambiador de calor para dejar caer el agua enfriada a la temperatura requerida. Al hacerlo, el enfriador está absorbiendo parte de la carga de enfriamiento proveniente del sistema de distribución. La Figura 31muestra un esquema de SWAC puro, y la Figura 32 muestra un esquema de SWAC híbrido".

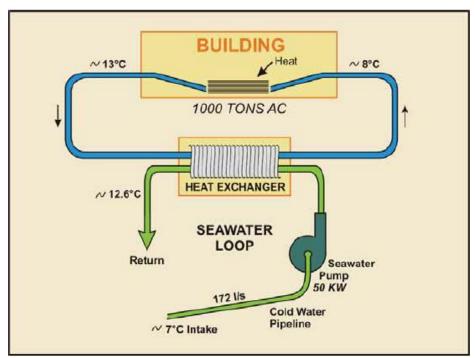


Figura 31. Esquema del sistema "puro" de aire acondicionado de agua de mar Fuente: CAF, 2015a, Figure 5.3, basada en Makai (2004)



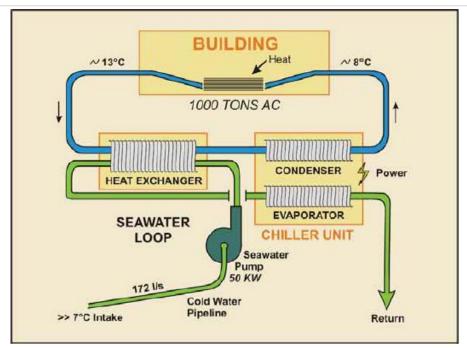


Figura 32. Esquema del sistema "híbrido" de aire acondicionado de agua de mar Fuente: CAF, 2015a, Figure 5.4, basada en Makai (2004)

En el sistema SWAC puro, el agua es el refrigerante, por lo que no hay SAO ni refrigerante de alto GWP involucrado. En el sistema híbrido, el enfriador (chiller) auxiliar incluiría un refrigerante, y el diseño de este enfriador debería requerir tanto la eficiencia como el GWP del refrigerante.

La Figura 33 muestra un mapa global de ubicaciones potenciales donde el aire acondicionado de agua de mar (SWAC) puede ser factible. La cifra ha sido publicada por un proveedor de tecnología SWAC³⁹ y, por lo tanto, es generosa. Muestra que todas las áreas costeras de América Latina y todo el Caribe son posibles ubicaciones para el SWAC.

³⁹ Bardot Ocean. https://www.bardotocean.com/pages/otec-ocean-thermal-energy-conversion-by-bardot-group.





Figura 33. Las ubicaciones potenciales para la aplicación del aire acondicionado de agua de mar incluyen las zonas costeras de América Latina y todo el Caribe

Fuente: : https://www.bardotocean.com/collections/all

Los costos de capital de los sistemas SWAC son altos, con un bajo costo operativo, por lo que los lugares ideales son donde la temperatura promedio durante todo el año es alta (por ejemplo, 28 ° C), "en las regiones intertropicales y donde la batimetría del fondo marino permite una tubería de entrada de agua de mar fría y razonablemente corta" (Hunt et al., 2019).

Para reducir el enfoque geográfico, el Banco de Desarrollo de América Latina evaluó ocho sitios en cuatro islas, ver Figura 34 (CAF, 2017).



Figura 34. Ocho ubicaciones en cuatro islas del Caribe evaluadas por CAF en 2014 Fuente: CAF, 2017, lámina 17.



La evaluación inicial de la CAF llegó a las siguientes conclusiones:

- Islas francesas: cargas pequeñas, sistema de distribución grande, tarifas de electricidad bajas
- Kingston y Santo Domingo: red costa adentro compleja, tuberías largas costa afuera
- Montego Bay, Jamaica y Puerto Plata, República Dominicana: seleccionados para su posterior análisis

Posteriormente, el Banco de Desarrollo de América Latina realizó un estudio de prefactibilidad de los sistemas de aire acondicionado de aguas profundas en Montego Bay, Jamaica y Puerto Plata en la República Dominicana (CAF, 2015a). Ambos casos estudiados consideraron sistemas de distritos térmicos de enfriamiento, es decir, la misma red que enfría varios edificios. Sus principales conclusiones fueron las siguientes (CAF, 2017, lámina 26):

- Tanto Puerto Plata como Montego Bay son excelentes candidatos para el desarrollo de SWAC
- Otros sitios del Caribe también pueden ser buenos candidatos si las condiciones económicas son correctas
- Los desarrolladores deben trabajar estrechamente con las partes interesadas locales para tener éxito.
- Siguiente paso: levantamiento del fondo marino de alta resolución para admitir un diseño SWAC más detallado.

Mientras tanto, un proveedor de tecnología (Makai Ocean Engineering) ya ha instalado sistemas SWAC en varias ubicaciones del Caribe: Curazao, Antillas Holandesas y Nassau, Bahamas, además de instalaciones en Hawái y la Isla de la Reunión en el Océano Índico⁴⁰.

Devis Morales y cols. (2014) estudiaron los recursos termales oceánicos de Colombia principalmente con miras a la generación de electricidad basada en la Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC, Ocean Thermal Energy Conversion). Sin embargo, las mediciones de la temperatura del océano también son útiles para cuantificar el potencial del aire acondicionado del agua de mar en la isla de San Andrés y las zonas costeras de Colombia. Un estudio brasileño considera la refrigeración de plataformas petroleras en alta mar, que es una aplicación bastante limitada (Miranda, 2008).

Arias Gaviria y col. (2018) modelaron el potencial del aire acondicionado con agua de mar en el Caribe, utilizando a Jamaica como ejemplo con el potencial más importante. Señalaron que el inicio de SWAC está limitado por un umbral, es decir, invertir en un sistema que sea rentable sin una garantía de que el número de edificios necesarios para unirse al sistema aceptaría estar conectado al sistema.

La evaluación técnica y económica más reciente de SWAC ha sido realizada por Hunt, Byers y Santos Sánchez (2019). Consideraron las instalaciones existentes, así como las propuestas por CAF y otros para América Latina y el Caribe. Concluyen que (Hunt et al., 2019):

SWAC tiene un gran potencial en las regiones oceánicas de temperaturas intertropicales, especialmente en pequeñas islas tropicales con altos costos de electricidad y con una batimetría

⁴⁰ https://www.makai.com/sea-water-air-conditioning/, accessed 22 July 2019



favorable del fondo marino que permite que la tubería de entrada de agua fría sea razonablemente corta. El potencial mundial para SWAC presentado en este documento se centra en cuatro aspectos principales, la longitud de la tubería, el factor de capacidad estimado del proyecto SWAC, la profundidad para alcanzar el agua de mar a 5 C y las estimaciones de costos. Según las figuras 12 y 13 [del documento fuente], las posibles ubicaciones viables para la construcción de proyectos SWAC, con un costo inferior a \$ 0,04 kWht, son las **islas intertropicales en los océanos Caribe**, Pacífico e Índico, y Fernando de Noronha, Santo Tomé y Príncipe en el Océano Atlántico. El potencial de Hawai se limita a pocos lugares debido al bajo factor de capacidad SWAC. El potencial de las islas de tamaño mediano y continental para SWAC se puede ver en la **costa oeste de México, Colombia, noreste de Brasil**, Togo, Yemen, Madagascar, Sri Lanka, Indonesia, Filipinas y Papua Nueva Guinea. (Énfasis añadido).

Los extractos de las dos figuras de Hunt et al. (señaladas anteriormente), limitadas a América Latina y el Caribe, se presentan en la Figura 35 y la Figura 36 a continuación.



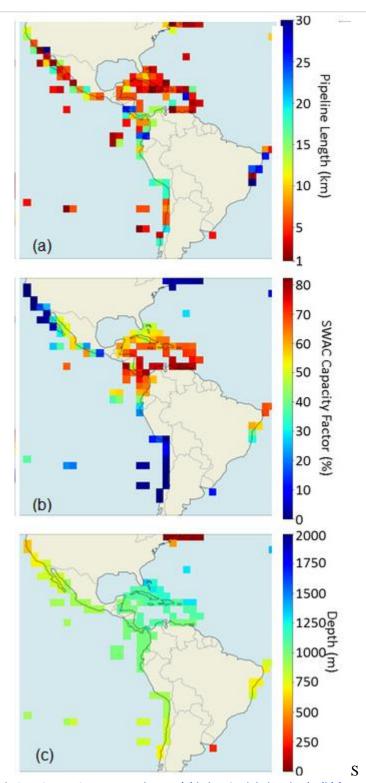


Figura 35. Mapas de SWAC en ALC representados por (a) la longitud de la tubería, (b) factor de capacidad y (c) profundidad donde se extrae el agua de mar.

Fuente: Extracto de Hunt, Byers and Santos Sánchez, 2019, Figure 12.



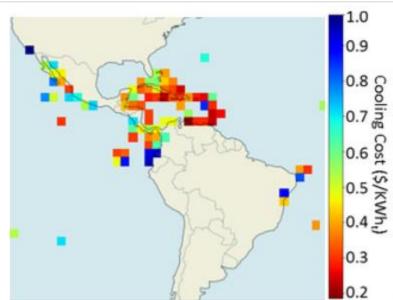


Figura 36. Posibles proyectos de SWAC en ALC: estimación de costos en dólares por kWh de enfriamiento.

Fuente: Editado de Hunt, Byers and Santos Sánchez, 2019, Figure 13.

La Figura 36 muestra un costo de enfriamiento relativamente bajo en varios lugares del Caribe y la parte norte de América del Sur. Sin embargo, existen grandes variaciones entre ubicaciones cercanas entre sí, por lo que se requieren estudios de demanda localizados para la selección de proyectos. De hecho, las ubicaciones de demanda de enfriamiento, según lo determinado por la densidad de población y la demanda de enfriamiento, no se consideraron en Hunt et al. (2019), y cualquier estudio de factibilidad necesitaría considerar centros de demanda específicos.

3.4. Enfriamiento de estado sólido

En la sección introductoria sobre refrigeración y aire acondicionado, mencionamos una categoría "Refrigeración en estado sólido". No requieren ningún refrigerante. Por lo tanto, sus emisiones de GEI dependen de la eficiencia energética. Como se señaló allí, hay cuatro tipos de enfriamiento en estado sólido, que se analizan brevemente a continuación:

Refrigeración termoeléctrica. Este proceso se basa en el efecto Peltier, que se conoce desde hace mucho tiempo. No es tan eficiente energéticamente como las tecnologías de enfriamiento convencionales, por lo que su uso se limita a aplicaciones específicas donde el espacio es una prima, por ejemplo, para enfriar microprocesadores. No esperamos que esta tecnología sea relevante para la mayoría de las inversiones en refrigeración.

La **refrigeración magnética** se basa en el principio magnetocalórico, donde ciertos materiales cambian de temperatura cuando están sometidos a un campo magnético cambiante. Se puede usar para alcanzar temperaturas extremadamente bajas. Una empresa, Cooltech, parece ofrecer un sistema de refrigeración magnética. Sin embargo, el producto puede no estar disponible comercialmente todavía⁴¹.

⁴¹ http://www.cooltech-applications.com/our-solution.html



Enfriamiento termoacústico. Los dispositivos termoacústicos producen o absorben la potencia del sonido, en lugar de la característica de "potencia del eje" de la maquinaria rotativa. Es posible que no tengan partes móviles o que tengan pocas, en cuyo caso no son estrictamente dispositivos de estado sólido. Garrett y Backhaus (2000) proporcionaron una extensa revisión de los dispositivos termoacústicos. No creemos que el enfriamiento termoacústico sea comercialmente maduro⁴².

El **enfriamiento termoelástico**, también conocido como enfriamiento elastocalórico, utiliza la transición de fase martensita-austentita que se encuentra en las aleaciones con memoria de forma. Es un invento reciente de la Universidad de Maryland. Una visión general se puede encontrar en Qian et al. (2015) con desarrollos recientes reportados por Takeuchi (2017). Un prototipo estaba en construcción. La tecnología no es comercial.

⁴² Sound Energy BV, una empresa holandesa ofrece A/A con tecnología electroacústica. Sin embargo, no se conocen instalaciones. Una empresa Cooltech Applications ofreció equipos de refrigeración magnética en 2016, pero no tiene un sitio web que funcione. http://www.cooltech-applications.com/our-solution.html



4. Calefacción y aire acondicionado

Aunque esta revisión de tecnología se centra en la refrigeración limpia, existen fuertes vínculos entre calefacción y refrigeración, en el sentido de que algunos equipos utilizados para la refrigeración de espacios también pueden ayudar a reducir las emisiones en la calefacción de espacios. Además, hay muchas situaciones en las que existe una demanda de calor y frío, y hay sistemas que pueden proporcionarlos simultáneamente.

4.1. Aires acondicionados y bombas de calor

En términos de la termodinámica, los refrigeradores y equipos de aire acondicionado, que mueven el calor de un espacio frío a un espacio más cálido, entran en una categoría de dispositivos llamados *bombas de calor*. (Esto está en oposición a un *motor térmico* que produce "trabajo" en un sentido termodinámico que toma calor de una fuente a una temperatura más alta y lo descarga a una temperatura más baja).

Una característica de las bombas de calor es que su rendimiento se define por un coeficiente de rendimiento (COP), en lugar de eficiencia, ya que el valor puede ser mayor que uno. El hecho de que el COP de una bomba de calor sea superior a uno significa que puede usarse para la calefacción y para calentar el agua, consumiendo menos electricidad que un dispositivo de resistencia eléctrica, que está limitado por la eficiencia de uno, o un sistema de calefacción basado en combustible cuya eficiencia es sustancialmente inferior a uno.

Según la AIE, el 90% de la demanda global de calor en edificios podría satisfacerse con bombas de calor⁴³. Por supuesto, la mayor parte de la demanda de calefacción está en los climas más fríos.

En la parte sur de América del Sur, existe una demanda estacional de acondicionamiento de espacios (calefacción y aire acondicionado). En estos climas, se puede lograr grandes ahorros energéticos mediante el uso de bombas de calor que proporcionan calefacción y refrigeración. De hecho, el crecimiento de los sistemas de aire acondicionado mini-split ha sido acompañado por un crecimiento similar en los sistemas mini-split que se pueden usar para calefacción o refrigeración de espacios. Además, los dispositivos de enfriamiento por calor son solo un poco más costosos que los sistemas de solo enfriamiento. Por ejemplo, las bombas de calor mini-split de mayor eficiencia energética disponibles en Argentina tenían un COP de alrededor de 3,3 tanto para calefacción como para enfriamiento (ver Apéndice E). Por lo tanto, este equipo usaría menos de un tercio de la electricidad en comparación con la calefacción eléctrica de resistencia. Los calentadores de espacio de gas típicos tienen una eficiencia de aproximadamente el 65%, por lo que el ahorro de energía es aún mayor. Aunque el gas natural es menos costoso que la electricidad por unidad de energía, el ahorro de energía es tan grande que también es posible un ahorro sustancial de costos. Un estudio para la calefacción de espacios residenciales en Argentina mostró un potencial de ahorro neto de gas natural de 5,000 millones de m³ y una reducción de emisiones de GEI de 9 millones de tCO₂-eq., Hasta 2030, a partir de una línea de base de 2010 (Nicchi, Tanides y

⁴³ IEA Webinar "Tracking clean energy progress". 13 June 2019.



Lavoria, 2015). Si bien el estudio no consideró la emisión de refrigerante, ya se enfatizó que las emisiones de GEI están dominadas por el uso de energía.

La aplicación de bombas de calor para calefacción y refrigeración de espacios no se limita a los sistemas mini-split. Por lo tanto, las bombas de calor también pueden proporcionar calefacción y refrigeración en sistemas centrales en edificios comerciales y públicos.

Es importante tener en cuenta que las bombas de calor son mucho más eficientes energéticamente, y sus emisiones de GEI son más bajas que la calefacción a base de combustible en cualquier lugar, y especialmente en países con un factor de emisión más bajo para la generación de electricidad, como es el caso en muchos países de ALC. Por lo tanto, hay reducciones sustanciales de emisiones de GEI en el uso de sistemas mini-split y bombas de calor en general para la calefacción de ambientes donde tales sistemas se utilizarían para la refrigeración de espacios. En la selección del sistema de bomba de calor para calefacción y refrigeración, la elección de refrigerantes sería tan importante como para los equipos de solo refrigeración.

Los calentadores de agua con bomba de calor (HPWH, Heat pump water heaters) son una alternativa a los calentadores de agua convencionales, ahorrando grandes cantidades de energía en comparación con los calentadores de agua alimentados por combustible, así como, por supuesto, los calentadores de agua de resistencia eléctrica. Para uso residencial, HPWH sigue siendo costoso en términos del costo inicial. Sin embargo, para ciertas aplicaciones, como la calefacción de piscinas, son una excelente opción y se utilizan cada vez más, por ejemplo, en Medellín (Colombia). En estas aplicaciones, los calentadores de agua con bomba de calor son menos intensivos en capital en comparación con los calentadores de agua solares, y no requieren una cantidad significativa de espacio.

Dado que hay pocos lugares en ALC con demanda de calefacción y refrigeración de espacios (por ejemplo, el Cono Sur), las variaciones anuales en la temperatura del aire exterior son generalmente pequeñas, especialmente en las regiones intertropicales. Por lo tanto, hay poco potencial para las bombas de calor de fuente terrestre, también llamadas bombas de calor geotérmicas.



5. Iluminación, aire acondicionado y refrigeración

La iluminación dentro de los edificios agrega calor, equivalente a su consumo de electricidad. Por lo tanto, el uso de la iluminación aumenta la carga de enfriamiento del edificio. La Torre Sears en Chicago, una vez el edificio más alto del mundo, fue diseñado sin ningún sistema de calefacción, ya que toda la calefacción del espacio sería proporcionada por la energía de iluminación utilizada.

Las últimas décadas han visto una revolución en la iluminación de bajo consumo. La aparición de lámparas fluorescentes compactas en 1982 proporcionó una alternativa a las lámparas incandescentes tradicionales, con modelos posteriores que proporcionaron alrededor de cinco veces la eficacia luminosa (lumen/W) y una vida útil de hasta 15 veces más. Los balastos electrónicos y los fósforos de alta eficiencia permitieron que las lámparas fluorescentes fueran más eficientes, al tiempo que mejoraron la reproducción del color en comparación con las lámparas fluorescentes tradicionales. Ver, por ejemplo, Dutt (1994) y Dutt (2002, revisado 2005).

Si bien los diodos emisores de luz (LED, light emitting diode) existieron desde la década de 1960, su reducción de costos a lo largo de los años y, finalmente, la invención de los LED de luz azul, permitieron que los LED estuvieran disponibles en todos los colores. La invención del LED azul fue tan importante que sus inventores recibieron el Premio Nobel de Física en 2014. Ahora los LED no solo son eficientes, sino que también pueden tener una vida útil muy larga, lo que los hace adecuados para todas las aplicaciones, incluidos los edificios comerciales y públicos. Por lo tanto, una ESCO a menudo incluye la iluminación eficiente junto con mejoras de eficiencia energética en aire acondicionado y refrigeración. Dado que las empresas de servicios energéticos no se limitan a la refrigeración y el aire acondicionado, es natural que las medidas de iluminación eficiente se incluyan en el paquete de inversión.

Es importante tener en cuenta que las mejoras en la eficiencia energética en la iluminación reducen la carga de enfriamiento del edificio. Para un ahorro de energía en iluminación de, digamos, 1 kWh, habrá ahorros de electricidad de enfriamiento de 1/COP kWh, donde "COP" es el coeficiente de rendimiento del sistema de enfriamiento en uso⁴⁴.

También vale la pena señalar que muchos equipos de refrigeración, por ejemplo, los dispensadores de bebidas o unidades de exhibición de alimentos incluyen luces dentro del recinto. Estas luces agregan calor al interior del equipo y aumentan su carga de enfriamiento. Cuando este equipo no siempre tiene iluminación de alta eficiencia, generalmente LED, una ESCO debe incluir dicha iluminación siempre que sea posible.

⁴⁴ Por supuesto, habría un aumento similar en la demanda de calefacción de espacios, donde está presente. En la mayoría de los casos, los beneficios de la iluminación de bajo consumo son lo suficientemente grandes como para ser rentables en todos los climas, incluso cuando existe una demanda sustancial de calefacción de espacios. En cualquier caso, los climas dominados por la calefacción de espacios son escasos en ALC.



6. Alternativas específicas a cada aplicación

La selección del sistema de refrigeración y aire acondicionado depende de la aplicación. A continuación, consideramos las siguientes categorías:

- Aire acondicionado del edificio
- Distritos térmicos de enfriamiento
- Refrigeración comercial, incluidos supermercados, almacenamiento de alimentos y bebidas, etc.

6.1. Aire acondicionado de edificios

Tal como se comentó al principio de este documento, el Banco Mundial identificó cuatro elementos de enfriamiento sostenible45. En un breve video, el Banco Mundial hace las siguientes cuatro recomendaciones:

- Mejora la eficiencia térmica de los edificios.
- Mejorar la planificación urbana y el uso de espacios verdes en las ciudades.
- Establecer límites de temperatura en edificios
- Políticas gubernamentales para reducir la demanda de refrigeración en edificios

Solo el primer elemento está potencialmente al alcance de una ESCO y se analiza a continuación.

Envolvente térmico de edificios

La clave para mejorar la eficiencia térmica de los edificios es la envolvente térmica del edificio. El consumo de energía para la refrigeración (y calefacción) del edificio depende del rendimiento de la envoltura térmica del edificio.

El Seguimiento del Progreso de Energía Limpia de la AIE (Tracking Clean Energy Progress, https://www.iea.org/tcep/) identificó algunas tecnologías que estaban en camino de cumplir con los objetivos climáticos. Específicamente, la AIE "incluyó la información más actualizada sobre dónde están las tecnologías hoy y dónde deben estar de acuerdo con el Escenario de Desarrollo Sostenible (Sustainable Development Scenario) de la AIE, una vía para alcanzar el Acuerdo de París muy por debajo de la meta climática de limitar el calentamiento mundial a 2 °C, entregar universal acceso a la energía y una reducción significativa de la contaminación del aire". Además, observaron lo siguiente: "Algunas tecnologías han hecho un gran progreso en 2017, particularmente fotovoltaico solar, LED y vehículos eléctricos, pero la mayoría no están en camino". En una tabla que compara las tecnologías, aquellos con un buen progreso fueron marcados en verde, otros en amarillo y el resto en rojo. Los edificios en su conjunto se consideraron "No encaminados", con las categorías, "Envolventes de edificios", "Calefacción" y "Bombas de calor" se marcaron en rojo, mientras que "Refrigeración" y "Aparatos y equipos" se marcaron en amarillo (ver Figura 37). En una edición anterior, había una anotación junto a "Refrigeración" como "algo para observar (to watch)". Por lo tanto,

45 <u>http://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/23/four-things-you-should-know-about-sustainable-cooling</u>



antes de que revisemos las tecnologías de enfriamiento como las "que hay que observar", comentamos brevemente algunas cuestiones que no deben olvidarse mientras avanzamos hacia tecnologías más limpias para el enfriamiento del espacio, así como para la refrigeración, que estaría dentro de los "Electrodomésticos y equipos" categoría de la AIE.

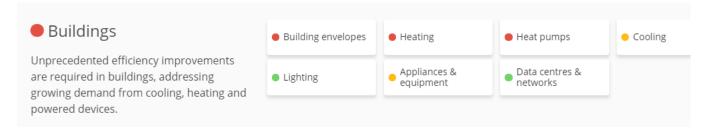


Figura 37. Seguimiento del Progreso de Energía Limpia (Tracking Clean Energy Progress): Edificios. Fuente: Agencia Internacional de Energía, https://www.iea.org/tcep/, consulado 28 Mayo, 2019.

La Agencia Internacional de Energía, en sus Perspectivas de Tecnología Energética (Energy Technology Perspectives, AIE, 2017, edición más reciente, al 9/2019), señaló que la envolvente térmica del edificio no ha mejorado mucho, señalando (AIE, 2017, p. 62):

"Se han logrado mejoras de la intensidad energética de la envolvente promedio anual global del 1,4% desde 2010. Las intensidades de envolventes de los edificios deben mejorar en un 30% para 2025 para mantener el ritmo de crecimiento en las superficies construidas y la demanda de mayor confort".

Para remediar esta situación, la AIE recomienda:

La cooperación global debe tratar de garantizar que todos los países implementen y apliquen Códigos de construcción y Normas de consumo energético para edificios, tanto para edificios nuevos como existentes, con mejoras en la aplicación y verificación de códigos y estándares para superar las barreras para su implementación.

La envolvente térmica de los edificios se puede mejorar para reducir la demanda térmica de calefacción y aire acondicionado, lo cual reduciría la energía necesaria para la calefacción y la refrigeración. Muchos países han establecido Normas de rendimiento energético de edificios (Building Energy Performance Standards, BEPS) que establecen niveles mínimos de eficiencia o límites superiores para el consumo específico de energía. Otros países se han limitado a crear etiquetas de consumo de energía, informando a los posibles compradores e inquilinos sobre el consumo de energía y los gastos asociados. El Apéndice A enumera las etiquetas y estándares de eficiencia energética en América Latina y el Caribe. México y Brasil son los países de ALC con los requisitos más estrictos para el rendimiento térmico de los edificios, especialmente para edificios comerciales y públicos, los más relevantes para MSEF y otras ESCO. Otros países con requisitos relevantes son Argentina, Colombia y Costa Rica.

La AIE recomienda una transición a edificios con cero emisiones de carbono y comunidades con bajas emisiones de carbono (IEA, 2017, p. 142).

Las mejoras en la envolvente del edificio y el rápido despliegue de las medidas de eficiencia energética en el sector global de los edificios son esenciales para cumplir los objetivos de



B2DS⁴⁶, pero estos por sí solos son insuficientes para lograr la transición energética a los edificios con bajas emisiones de carbono para 2060. El B2DS también requiere un cambio crítico lejos de los combustibles fósiles, yendo más allá de las medidas prescritas en el 2DS (por ejemplo, la obligatoriedad de la tecnología de caldera de condensación) para reducir el consumo de combustibles fósiles en edificios en un 75% adicional para 2060. Esto significa que casi todo el uso de carbón mineral y petróleo en los edificios se eliminaría en el próximo 40 años, mientras que el uso de gas natural en el B2DS se reduciría en un 70% adicional en comparación con el 2DS en 2060.

En el mismo sentido, la Alianza Mundial de Edificios y Construcción (Global Alliance for Buildings and Construction, GABC, 2016) ha concluido:

El uso de energía en edificios y para la construcción de edificios representa más de un tercio del consumo mundial final de energía y contribuye a casi a la cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo. Una población en crecimiento, así como un rápido crecimiento en el poder adquisitivo en las economías emergentes y en los países en desarrollo, significa que la demanda de energía en los edificios podría aumentar en un 50% para 2050, mientras que se espera que la superficie global de los edificios se duplique para 2050, impulsando el crecimiento de la demanda de energía y las emisiones de GEI relacionadas a la construcción.

Edificios "verdes"

Tal como definido por el Concejo Mundial de Edificios Verdes (World Green Building Council)⁴⁷:

Un edificio "verde" es un edificio que, en su diseño, construcción u operación, reduce o elimina los impactos negativos y puede crear impactos positivos en nuestro clima y ambiente natural. Los edificios verdes conservan preciosos recursos naturales y mejoran nuestra calidad de vida.

La construcción ecológica (verde) considera muchos otros aspectos además de la eficiencia energética. Hay representaciones del Green Building Council en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe. Consulte la lista en el Apéndice A. Los Consejos de Construcción Ecológica (Green Building Councils) promueven los edificios ecológicos de diferentes maneras y proporcionan certificación voluntaria de eficiencia energética y otros parámetros de sostenibilidad de los edificios. El más conocido es el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) desarrollado por el Consejo de Construcción Ecológica (Green Building Council) de EEUU.

Una ESCO generalmente no tiene la oportunidad para mejoras en la construcción de envolventes térmicas, ya que la ESCO está operando en un edificio existente o en un nuevo edificio que ya ha sido diseñado y construido de acuerdo con las normas y prácticas vigentes. Una posible excepción podría ser el aislamiento del techo, por ejemplo en edificios

⁴⁶ This is the most ambitious (or optimistic) of IEA scenarios, which are: the Reference Technology Scenario (RTS) and the 2°C Scenario (2DS), and the Beyond 2°C Scenario (B2DS)

⁴⁷ https://www.worldgbc.org/



comerciales de techo plano. Específicamente, en Colombia, existe un plan para eliminar el asbesto incorporado en los sistemas de techado. El proceso de remoción de asbesto puede presentar una oportunidad para agregar aislamiento de techo a un costo marginal relativamente bajo.

Demanda de enfriamiento en ALC

La densidad poblacional de ALC es generalmente baja en comparación con Asia o Europa, a excepción de México, América Central y el Caribe (ver Figura 38). Sin embargo, la población es en gran parte urbana, especialmente en los países de baja densidad poblacional (ver Figura 39). Otra característica de la distribución de la población es que gran parte de la población se encuentra en áreas (por ejemplo, lugares de altitud media en México y la región andina) que tienen una carga de enfriamiento relativamente baja (ver Figura 40). Sin embargo, a través de una combinación de islas urbanas de calor (urban heat islands) y calentamiento global, la demanda de refrigeración está aumentando. En su escenario de referencia, la AIE proyecta un aumento en las CDD, 2016-2050 (ver Figura 41).

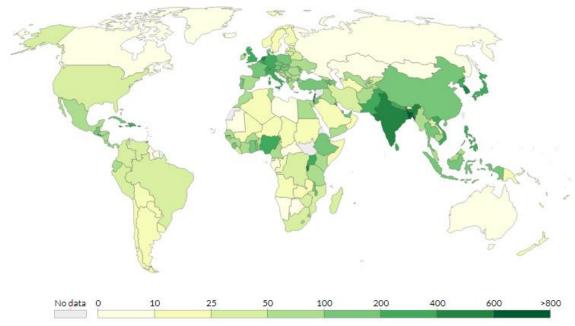


Figura 38. Densidad poblacional, personas por km², 2017

Fuente: Recopilado por *Our World in Data* a partir de datos del Banco Mundial https://ourworldindata.org/world-population-cartogram



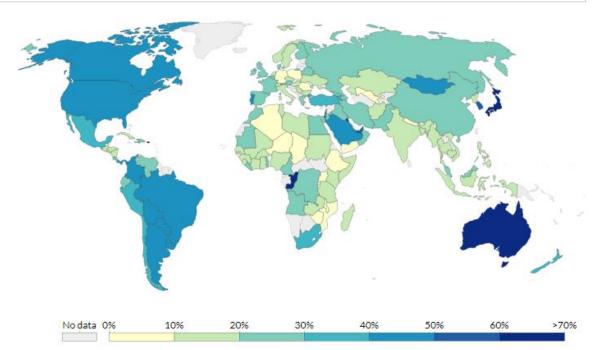


Figura 39. Porcentaje de la población total (%) que vive en entornos urbanos con una población de más de 1 millón de personas, 2017.

Fuente: Recopilado por Our World in Data a partir de datos del Banco Mundial. https://ourworldindata.org/urbanization



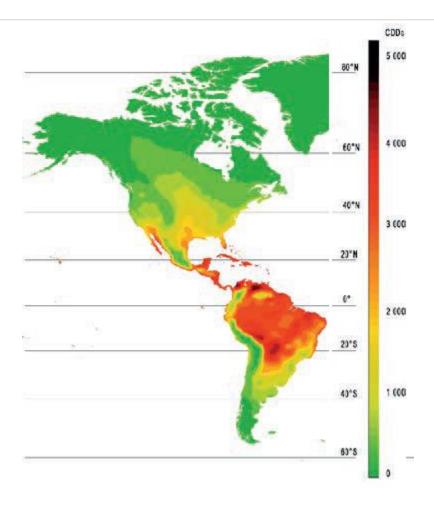


Figura 40. Demanda de enfriamiento, determinado por grados días de frío (cooling degree days, CDD), base 18 °C. (Fuente: Las Americas seleccionadas de IEA 2018, Map 2.1)

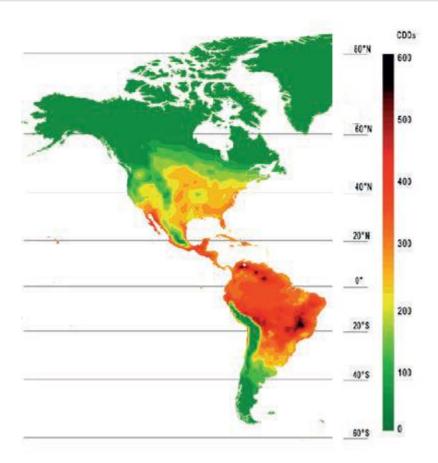


Figura 41. Aumento de los grados días de enfriamiento (cooling degree days, CDDs) en el Escenario de Línea de Base de la AIE en relación con los CDD históricos, 2016-50

(Fuente: Las Americas seleccionadas de IEA 2018, Map 2.1)

El efecto de isla de calor (heat island) significa que las áreas urbanas son más cálidas que las áreas circundantes, como se muestra en la Figura 42. Como señaló el Grupo de Isla de Calor (Heat Island Group) del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley⁴⁸:

"En una tarde soleada de verano, el aire urbano puede ser 1-3 °C (2-5 °F) más cálido que el aire rural cercano. Las elevadas temperaturas del aire asociadas con esta "isla urbana de calor " (urban heat island, UHI) del verano hacen que los acondicionadores de aire trabajen más para mantener los edificios frescos ... "

Una parte de la isla urbana de calor es causada por el calor generado en las zonas urbanas, y una de las fuentes de calor es, de hecho, el aire acondicionado. Por lo tanto, a medida que aumenta la demanda de enfriamiento, también lo hará el efecto de isla de calor, en un bucle de retroalimentación positiva indeseable. Hay formas de mitigar el efecto de isla de calor, por ejemplo, a través de superficies de color más claro (pavimentos y techos) que absorben menos radiación solar. Si bien una política de planificación urbana está más allá del alcance de una ESCO, puede modificar el color de la superficie del techo en el momento de la instalación y modificaciones en el equipo de aire acondicionado en la azotea o en el

_

⁴⁸ https://heatisland.lbl.gov/coolscience



momento en que se agrega el aislamiento del techo, y tales medidas reducirían la demanda de refrigeración del edificio en cuestión, mientras que hace una contribución a reducir el efecto de isla urbana de calor.

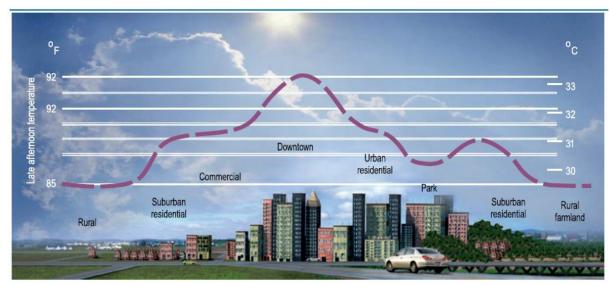


Figura 42. El efecto de isla urbana de calor (urban heat island effect).
Fuente: IEA (2018, Fig. 2.2), citando a LBNL (2013)

Las opciones para mejoras en la envolvente térmica de edificios existentes son limitadas. Además, los edificios tienen una larga vida. Por lo tanto, la mayoría de las opciones disponibles, especialmente desde una perspectiva de una ESCO, están relacionadas con equipos más eficientes, que se analizan a continuación.

Equipamiento más eficiente

A continuación, consideramos las dos configuraciones principales para sistemas de aire acondicionado en edificios:

- Sistemas de aire acondicionado mini-split
- Sistemas de aire acondicionado centralizados

Sistemas de aire acondicionado mini-split

Tal como señaló la AIE (2018, p. 19):

Entre 1990 y 2016, las ventas anuales de A/A casi se cuadruplicaron a 135 millones de unidades. La mayor parte de las unidades vendidas son equipos unitarios o compactos de A/A y de sistemas divididos (Split) para edificios residenciales y comerciales más pequeños, aunque el tamaño típico de A/A comerciales, incluidos los enfriadores (chillers), y el consumo energético asociado son generalmente mucho mayores.

En los países de ALC, las ventas e instalaciones de sistemas de aire acondicionado mini-split han aumentado considerablemente. Para nuevas instalaciones, se pueden elegir modelos que sean energéticamente eficientes y, si es posible, con un refrigerante de bajo GWP. En las regiones tropicales y ecuatoriales más bajas de ALC, existe una demanda de enfriamiento



durante todo el año, lo que significa que los sistemas mini-split típicos tienen una vida relativamente corta, estimada en solo cuatro años en Colombia (estudio anterior de MGM Innova). Por lo tanto, la vida útil restante del equipo no es un problema importante, e incluso para las instalaciones existentes, el reemplazo del equipo con modelos energéticamente eficientes y de bajo GWP puede ser una opción viable.

Un estudio de la AIE ha demostrado que existe un amplio rango de eficiencia no solo entre países, sino también dentro de los países, como se muestra en la Figura 43. La comparación no incluye a ningún país de ALC. Sin embargo, incluso los países con alta eficiencia energética como Corea del Sur muestran una amplia gama de valores. La Figura 44 muestra cómo la eficiencia de los equipos de A/A aumentó con el tiempo, con fuertes aumentos en los últimos años. También es digno de mención que el precio de los A/A cayó en comparación con el índice general de precios al consumidor (IPC) a lo largo de los años, lo que indica que, históricamente, la mejora de la eficiencia energética no ha estado acompañada de un aumento correspondiente en el precio del equipo, un fenómeno que se observó temprano para refrigeradores estadounidenses (por ejemplo, Meier, 1993; Sachs, 1994; citadios en Dutt, 1995) y otros equipos en muchos países.

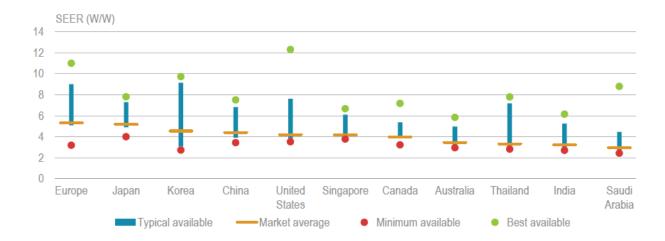


Figura 43. Relaciones de eficiencia energética estacional (Seasonal energy efficiency ratio, SEER) de equipos residenciales de A/A disponibles en países / regiones seleccionados, 2018 8

Fuente: IEA, 2018, Fig. 2.3.



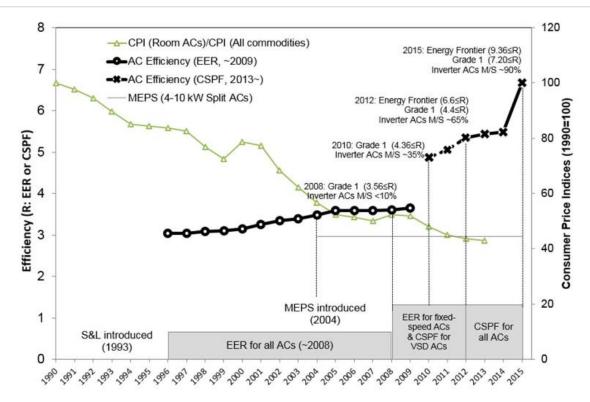


Figura 44. Tendencias en la eficiencia de equipos compactos de A/A e índices de precios en Corea del Sur Fuente: Abhyankar et al., 2017, Fig. 6.

El informe de la AIE (IEA, 2018) se centra en la eficiencia energética, señala la importancia de los refrigerantes, pero no proporciona información cuantitativa sobre el uso de refrigerantes. A continuación, consideramos la disponibilidad de equipos mini-split de A/A en ALC, considerando tanto la eficiencia energética como los refrigerantes.

En todos los países grandes de ALC y en muchos otros, la eficiencia de los equipos de aire acondicionado ha mejorado en los últimos años, debido al etiquetado y a las normas mínimas de rendimiento energético. Por lo tanto, para instalaciones nuevas, los valores indicados en rojo en la Figura 43 son demasiado bajos. Sin embargo, en las opciones de reemplazo, la unidad existente puede ser muy ineficiente, especialmente en climas más suaves donde la temporada de enfriamiento es corta, y el equipo puede ser bastante ineficiente, con un gran potencial de ahorro de energía.

En ALC, los equipos mini-split de A/A son fabricados por dos compañías chinas (Midea y Gree) y luego importados y vendidos bajo una variedad de marcas, incluidas las propias. Hasta donde sabemos, todos los modelos actualmente utilizan R-410 A como refrigerante. La Figura 45 muestra cómo la eficiencia de los equipos de aire acondicionado ha mejorado en los últimos años en Argentina, donde una actualización de las normas en 2019 requiere una clase de eficiencia mínima de A para enfriamiento, y todos los modelos vendidos cumplen con este requisito, con un COP de alrededor de 3,3. Los equipos de aire acondicionado compactos y split vendidos en Brasil caen en las clases de eficiencia A a D, de acuerdo con un estándar nacional, con modelos en la clase A con COP alrededor de 3,3, mientras que los de la clase D alrededor de 2,8 (con algunos alrededor de 2,66). México tiene



estándares mínimos de rendimiento de eficiencia para equipos Split de aire acondicionado, con EER estacional mínimo de 3,28 a 3,37, dependiendo de la capacidad de enfriamiento (SE-NOM-023-ENER, 2018).

Chile ofrece al menos un modelo de A / A, un modelo multi-split, con una clase de eficiencia A++ en modo refrigeración, con un COP de 7,2 (y clase A + en modo calefacción con un COP de 4.12)⁴⁹.

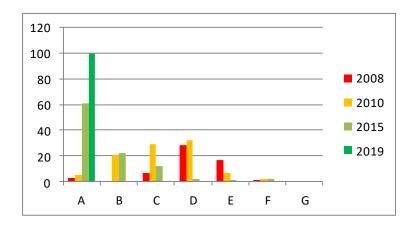


Figura 45. Argentina: Porcentaje de modelos de equipos de A/A mini-split en modo de enfriamiento, según la clase de eficiencia, que muestra un cambio desde 2008, antes de que se implementara el programa de etiquetado, cuando se estimó que los modelos estaban en las clases D y E, hasta el primer año después del etiquetado (2010) con la mayoría de los modelos C o D, hasta 2019, donde todos los modelos son A

(Fuente: Basado en AES/CLASP, 2008, Fig. 16 y Tanides, 2017, lámina 8, actualizado con información actual)

Colombia ha iniciado el proceso de etiquetado de eficiencia energética, con niveles mucho más altos de eficiencia para cada clase de eficiencia A a E, ver Apéndice E. La clase de eficiencia promedio para modelos comercializados en 2015 estaba en la categoría D colombiana, aproximadamente equivalente a la categoría B en Argentina y Brasil

Una dificultad en la comparación de las etiquetas de eficiencia en los países de ALC se deriva de las diferentes definiciones aplicables en diferentes países. Además, como IEA (2018, p. 46) ha señalado:

La mayoría de los principales mercados de refrigeración de hoy en día tienen Normas de eficiencia mínima (MEPS) obligatorias, aunque los niveles de eficiencia requeridos generalmente están muy por debajo de los de los productos más eficientes disponibles.

Mientras que los protocolos de ensayos, por ejemplo la temperatura y humedad exterior para las ensayos no son uniformes en todos los países, ni las clases de clasificación para etiquetas similares a la etiqueta de la UE, una comparación de las eficiencias de los equipos de A/A de ALC con la Figura 43 indican que hay más margen para mejorar la eficiencia energética. Una mirada a los modelos de aire acondicionado más eficientes de la UE que figuran en el Top Ten muestra una gran cantidad de modelos de alta eficiencia. Por ejemplo, al menos 25 modelos de A/A con el nivel A+++ están disponibles en Portugal, con COP estacional (SCOP) de 5,1 a 5,9, y EER estacional (SEER) de 8,5 a 10,5. Además, la mayoría de

_

⁴⁹ https://top-ten.cl/aire-acondicionado/view?id=52



los modelos (de Daikin y Mitsubishi Electric) usan R-32 como refrigerante, mientras que algunos usan R-410A.

Observaciones importantes para los países LAC son que los fabricantes generalmente no ofrecen (a) modelos con un refrigerante de bajo GWP como R-32, ni (b) los modelos más eficientes, por ejemplo, los disponibles en la UE.

Un proyecto de demostración que involucró al fabricante Daikin y al Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) de México comprendió el reemplazo de sistemas mini-split convencionales (encendido / apagado) que usan R-22 por sistemas "inverters" que usan R-32 como refrigerante. Durante un período de monitoreo de 30 días, se observó un ahorro de energía del 66%. El sistema convencional consumía 72 kWh, mientras que el sistema inverter con R-32 consumía solo 24 kWh (Daikin, 2018B, lámina 29).

Daikin (2018B) indicó una serie de otros proyectos de demostración y otras iniciativas en curso en ALC (Daikin, 2018B, láminas 32 a 37; MGM Innova, 2019):

- **México**: reemplazar el sistema convencional de "encendido y apagado" (on/off) con refrigerante R-410A con el sistema inverter R-32 en cinco ciudades: Tijuana, Monterrey, Guadalajara, Ciudad de México y Cancún;
- Brasil: como arriba, en tres ciudades: São Paulo, Florianópolis y Río de Janeiro;
- Colombia: un reemplazo a gran escala de sistemas divididos (Splits) convencionales con sistemas eficientes con refrigerante R-32 sería parte de una NAMA desarrollada por MGM Innova (2019). El gobierno colombiano proporcionaría un incentivo fiscal a los proyectos de eficiencia energética en el aire acondicionado que usan refrigerantes con bajo GWP (<1000)

Sistemas centralizados de A/A

Si bien los equipos compactos de aire acondicionado eran comunes en el pasado, y las instalaciones de sistemas mini-split han proliferado en los últimos años, una alternativa es un sistema central donde el frío se genera en un solo lugar y se distribuye a cada espacio acondicionado como agua fría o aire frío. La Figura 2 mostró diferentes configuraciones para los sistemas de aire acondicionado, incluida la de ventana compacta, mini-split y varias configuraciones de sistemas centrales de A/A. Muchos sistemas centralizados de A/A ya están instalados, especialmente en edificios comerciales y públicos. La Figura 46 muestra el desempeño comparativo de todos estos sistemas según una evaluación en Colombia, utilizando el sistema de etiquetado de eficiencia energética "RETIQ".



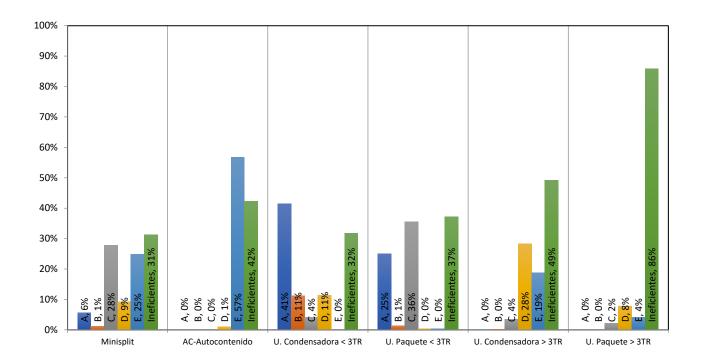


Figura 46. Eficiencia de diferentes tipos de sistemas de aire acondicionado, incluidos mini-split, compacto (autocontenido) y varias configuraciones de sistemas de aire acondicionado central

Fuente: MGM Innova, 2019. Entregable 1, basado en Resolution 41012, 2015; UTO; MADS, 2017

En la sección anterior, consideramos el reemplazo uno a uno de sistemas mini-split con modelos más eficientes, preferiblemente con refrigerantes de bajo GWP. Una alternativa al reemplazo uno a uno de los sistemas mini-split es su reemplazo por un sistema central. Además, la Figura 46 muestra, para Colombia, que muchos sistemas de A/A centrales existentes también son ineficientes. Por lo tanto, existen muchas oportunidades para mejorar la eficiencia energética en los sistemas de A/A centrales, tanto como un reemplazo para las unidades de A/A mini-split, como para reemplazar los sistemas de A/A centrales existentes. Cada uno de estos reemplazos del sistema también permitiría una opción de refrigerante de bajo GWP.

Además de la eficiencia del equipo, los sistemas de control avanzados permiten ahorrar energía. Estos se consideran a continuación.

Sistemas avanzados de control

Los sistemas centralizados de aire acondicionado para edificios brindan la oportunidad de ahorrar energía mediante sistemas de control mejorados, que incluyen:

 Sistemas de flujo variable de refrigerante (Variable refrigerant flow, VRF). También se llama volumen variable de refrigerante (VRV, variable refrigerant volume). Los sistemas VRF se pueden usar para ajustar el suministro total de refrigeración del edificio de acuerdo con la temperatura exterior. Los flujos variables de refrigerante permiten controlar las temperaturas en cada habitación según sea necesario,



conservando así el control individual que es posible con sistemas mini-split que solo enfrían una habitación. Ambas alternativas permiten una mejor regulación y ahorro de energía. El sistema VRF/VRV fue inventado por Daikin en 1982 y "duplicado por muchos", según la compañía⁵⁰. Ya en 2007, en Japón, los VRF se utilizaron en el 50% de los edificios de oficinas medianos (hasta 6.500 m²) y el 33% de los grandes edificios comerciales (más de 6.500 m²), según Goetzler (2007). Hillphoenix realizó un estudio de 12 meses en un edificio comercial (una tienda), que funcionó en semanas alternas en modos de flujo de refrigerante fijo y variable. Los resultados se ilustran a continuación (Figura 47). Como señaló Hillphoenix⁵¹, "durante el mes, el consumo de energía a velocidad constante alcanzó un máximo de casi 3000 kWh, pero el consumo de energía a velocidad variable nunca excedió los 2600 kWh".

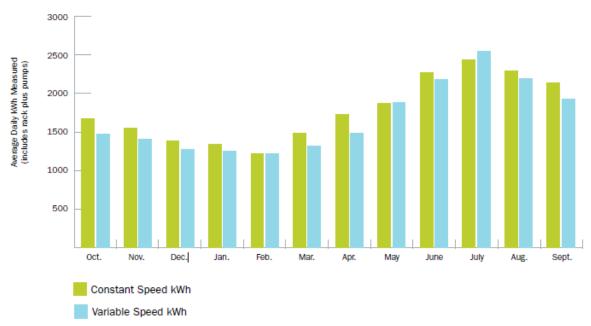


Figura 47. Consumo de energía de un sistema de enfriamiento del edificio operado, alternativamente a velocidad constante (y volumen de refrigerante constante) y velocidad variable (VRV)

Fuente: https://www.hillphoenix.com/wp-content/uploads/2018/02/Case-Study-Refrigeration-Variable-Speed-12-12.pdf, p. 7

• Manejador de aire de doble vía. Por lo general, se requiere un sistema de aire acondicionado para reducir la temperatura y eliminar la humedad. Khattar y Brandemuehl (2002) propusieron "Separar la V en HVAC" con un "enfoque de doble vía" para la ventilación del edificio, donde la provisión de las condiciones de temperatura y humedad podrían separarse. Los sistemas comerciales son ofrecidos por Toro Water Air Thermal Technologies Corp. La compañía afirma un 50% de eficiencia energética⁵². Dado que ALC incluye climas que van de secos a muy húmedos, vale la pena considerar esta tecnología. Sin embargo, el ahorro de energía debería verificarse a partir de estudios de casos reales.

.

⁵⁰ https://www.daikin.eu/en_us/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html

https://www.hillphoenix.com/wp-content/uploads/2018/02/Case-Study-Refrigeration-Variable-Speed-12-12.pdf, page 7.

⁵² http://www.torowatt.com/



- Almacenamiento de energía como hielo. La demanda de energía de enfriamiento es más alta durante el medio día, lo que se suma al pico de demanda de electricidad, que a menudo requiere una tarifa más alta. Una forma de reducir la demanda máxima es generar frío durante los períodos de menor actividad y utilizar el frío almacenado para enfriar durante los períodos pico. La forma más simple de almacenar frío es como hielo, donde el calor latente de la fusión del hielo permite un enfriamiento adicional más allá de lo que está disponible solo en la diferencia de temperatura. Una empresa que ofrece sistemas de almacenamiento de hielo es IceEnergy⁵³.
- Almacenamiento de energía utilizando otros materiales de cambio de fase. El hielo no es el único material con el cambio de fase para almacenar frío. Sin embargo, no creemos que otros materiales de cambio de fase para almacenamiento en frío sean actualmente comercialmente viables.

Más allá de los sistemas de A/A centralizados a nivel de edificio, existen sistemas de refrigeración de distrito que proporcionan refrigeración a un grupo de edificios. Estos sistemas de enfriamiento de distrito (o distritos térmicos) se analizan a continuación.

_

⁵³ https://www.ice-energy.com/commercial-industrial/



6.2. Distritos térmicos

La generación y distribución centralizada de calor como agua caliente o vapor se ha utilizado ampliamente durante muchos años en ciudades de países templados donde existe una demanda sustancial de calefacción. El primer sistema de calefacción urbana distribuyó agua caliente desde una fuente geotérmica a algunos edificios en Chaude-Aigues, Francia, en 1334 (Collins, 1959). En tiempos "modernos", la calefacción urbana comenzó a instalarse en la década de 1870. La calefacción urbana es común en ciudades de Dinamarca y otros países del norte de Europa, Canadá, China y Corea del Sur. Con excepción de algunas ciudades del sur de ALC (Buenos Aires, Montevideo, Santiago de Chile), hay poca demanda de calefacción, y no se conocen instalaciones de calefacción urbana en ALC.

Según un estudio reciente de distritos térmicos de calefacción y refrigeración (Werner, 2017):

La idea fundamental de distritos térmicos de calefacción es "usar recursos locales de combustible o fuente de calor que de otro modo se desperdiciarían, para satisfacer las demandas locales de calefacción de los clientes, mediante el uso de una red de distribución de calor de tuberías como mercado local".

Si bien la idea es utilizar recursos de combustible o calor que de otro modo se desperdiciarían, la realidad es diferente. La Figura 48 muestra que (en 2014) casi todos los distritos térmicos de calefacción y refrigeración fueron provistos por combustibles fósiles, con una pequeña participación de biomasa y energía geotérmica.

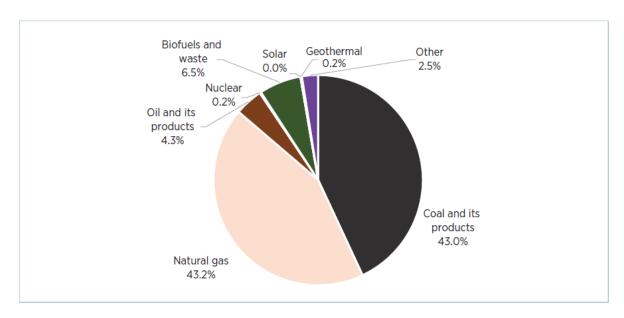


Figura 48. Desglose del uso de combustibles en distritos térmicos de calefacción y refrigeración en todo el mundo en 2014

(Fuente: IRENA, 2017a, Fig. ES-2)

Algunos de los distritos térmicos de calefacción y refrigeración en climas templados son muy complejos. Por ejemplo, MGM Innova desarrolló una nueva metodología MDL, NM 336 "Introducción de una nueva central eléctrica de ciclo combinado que funciona con gas natural para suministrar calor y frío a un distrito térmico urbano y electricidad a una red



eléctrica". La actividad del proyecto comprende una planta de ciclo combinado a gas natural que generaría electricidad durante todo el año, utilizando parte del calor residual para proporcionar calefacción urbana (invierno) y refrigeración urbana (verano).

Posteriormente, el Mecanismo para un Desarrollo Limpio - MDL aprobó (2016) la metodología AM 117: "Introducción de un nuevo distrito térmico de refrigeración". No hay ningún proyecto MDL registrado que utilice esta metodología. Un programa de actividades del MDL: PoA 0519, se presentó en diciembre de 2018. Según la Versión 1 del PoA DD (Documento de proyecto), "El proyecto típico empleará una nueva planta de enfriamiento de distrito con eficiencia energética (con chillers centrífugos enfriados con agua y accionados eléctricamente) con almacenamiento de energía térmica. El sistema de referencia (línea de base) se describe como "sistemas de enfriamiento alternativo refrigerados por aire menos eficientes". No está disponible ningún CPA DD (documento del proyecto MDL) para un proyecto específico en el sitio web de la CMNUCC. No hay una cuantificación del rendimiento de la tecnología que utilizará el sistema de enfriamiento propuesto, de modo que ni la eficiencia energética ni la reducción de emisiones puede ser determinado. Ni la metodología AM 0117 ni el PoA DD restringen el uso de refrigerantes, aunque las emisiones de GEI de las fugas de refrigerante se tienen en cuenta en los cálculos.

La metodología AM 0117 se utilizó en el procedimiento MRV para la NAMA colombiana de aire acondicionado, desarrollada por MGM Innova durante 2017-19.

IRENA publicó una serie de estudios de caso sobre distritos térmicos de calefacción y refrigeración utilizando energía renovable (IRENA, 2017b). La mayoría de los estudios se basaron en países industrializados, y algunos incluyeron refrigeración y calefacción. Sin embargo, señalaron que "hasta ahora no se ha construido ningún distrito térmico que incorpore la refrigeración solar". Tres estudios de caso consideraron Arizona, Singapur y Arabia Saudita. El enfriamiento con el agua de mar, que hemos discutido anteriormente, comprendió estudios de caso en Bahrein y Hawai.

Werner (2017) observó:

"La experiencia establecida en calefacción urbana ha allanado el camino para la introducción y el despliegue de sistemas de refrigeración urbana, principalmente para cubrir las demandas de refrigeración de espacios en edificios. Sin embargo, este desarrollo de enfriamiento de distrito ha sido más reciente en comparación con el desarrollo de calefacción de distrito. Por lo tanto, los sistemas de enfriamiento de distrito no son tan comunes ni tan extensos como los sistemas de calefacción de distrito ".

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) lanzó la Iniciativa de Distritos Térmicos Urbanos. Incluye tres países en América del Sur: Argentina, Chile y Colombia. Estos tres países se analizan a continuación.

Argentina. Los distritos térmicos de calefacción y refrigeración en el contexto de la cogeneración fueron propuesto y estudiado para Argentina por el fallecido Ing. Alberto Fushimi, experto en cogeneración y profesor de la Universidad Nacional de La Plata. En 2019, se anunciaron dos planes respaldados por la ONU para distritos térmicos de energía



en Argentina: uno en General Alvear, provincia de Mendoza; el otro en Ubajay, provincia de Entre Ríos. Ambos estarían basados en biomasa y se espera que sólo proporcionen calor.

Chile es uno de los tres países de ALC incluidos en la Iniciativa de Distritos Térmicos Urbanos del PNUMA⁵⁴. El distrito térmico es parte del programa del gobierno chileno para reducir la contaminación del aire en las ciudades del sur. La biomasa se utiliza para la calefacción de espacios, y una iniciativa financiada por el FMAM está apoyando el Sistema de Energía del Distrito (DES, District Energy System) al sur de Chile (PNUMA/FMAM, 2018). Sin embargo, el DES chileno se limitará a proporcionar calefacción y calentamiento de agua. No hay reducción de emisiones de HFC involucrada en el proyecto. Tractebel y ENGIE han realizado estudios de prefactibilidad de calefacción urbana en Chile⁵⁵. Hasta donde sabemos, no hay iniciativas para promover distritos térmicos de frío en el país, probablemente debido a la baja población del norte de Chile, que tiene un clima más cálido.

Colombia. La Universidad Nacional de Colombia revisó el potencial de distritos térmicos de frío en el país. Señalaron que, como país ecuatorial, no había variación estacional de temperatura, y que se necesitaba enfriamiento durante todo el año en lugares de baja altitud (ver Figura 49 y Figura 50).

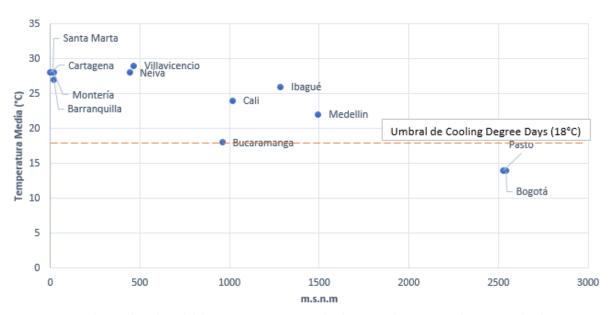


Figura 49. Altura sobre el nivel del mar y temperatura media de principales centros urbanos en Colombia.

Fuente: González Martínez, 2018, Figure 1.

55 <u>http://www.agrificiente.cl/tractebel-esta-desarrollando-estudios-de-perfectibilidad-sobre-distritos-termicos-en-chile/</u>

95

⁵⁴ http://www.districtenergyinitiative.org/chile <a href="https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-and-district-energy-secret-weapon-climate-action-a



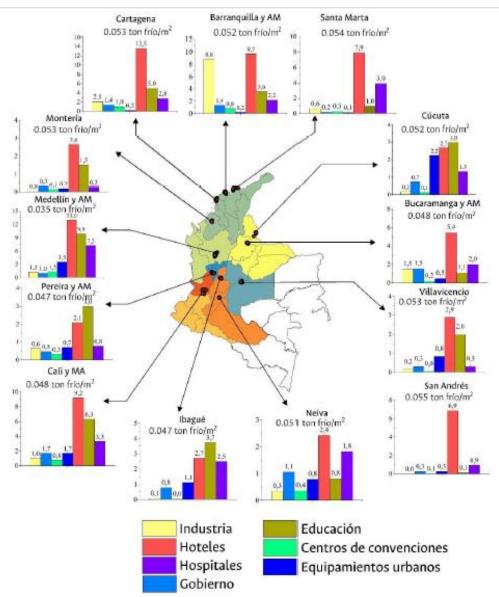


Figura 50. Distribución geográfica del potencial de refrigeración por sectores, en miles de toneladas de refrigeración.

Fuente: Smith Quintero et al., 2017, Figura 5.

El programa del PNUMA, mencionado anteriormente, propuso un distrito térmico de frío para la ciudad de Cartagena, Colombia, que forma parte de una NAMA preparada por MGM Innova para el gobierno colombiano (MGM Innova, 2019).

En 2015, el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) lanzó un programa de distrito térmico de frío para ciudades de América Latina y el Caribe (CAF, 2015b). La mayor parte de esto involucró aire acondicionado con agua de mar en áreas costeras, discutido en una sección anterior. El programa también incluiría ciudades alejadas del mar⁵⁶. La primera ciudad de la región con un sistema de enfriamiento de distrito es Medellín, Colombia, que se analiza a continuación.

⁵⁶ <u>http://scioteca.caf.com/handle/123456789/807</u> accessed 23 July 2019.



6.2.1. Distrito Térmico en Medellín, Colombia

Empresas Públicas de Medellín (EPM) encargó el primer sistema de distrito térmico de frío que se instalará en ALC. El proyecto comprende la generación central de frío que se distribuirá a varios edificios como se muestra en la Figura 51.

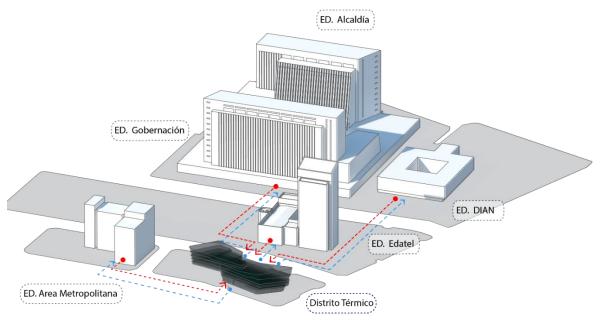


Figura 51. Esquema general del distrito térmico de frío de EPM en Medellín, Colombia Fuente: EPM, 2016, lámina 6

El proceso para la producción de agua fría se muestra en la Figura 52. Hay dos fuentes para la generación de frío:

- 1. Un enfriador (chiller) de absorción, con una capacidad de enfriamiento de 510 TR, que funciona con calor residual de una planta generación eléctrica con turbina de gas a gas natural de 1 MW;
- 2. Tres enfriadores (chillers) eléctricos, cada uno con una capacidad de enfriamiento de 1038 TR.

Una torre de enfriamiento, bombas, tuberías, equipos de medición y control completan el sistema.

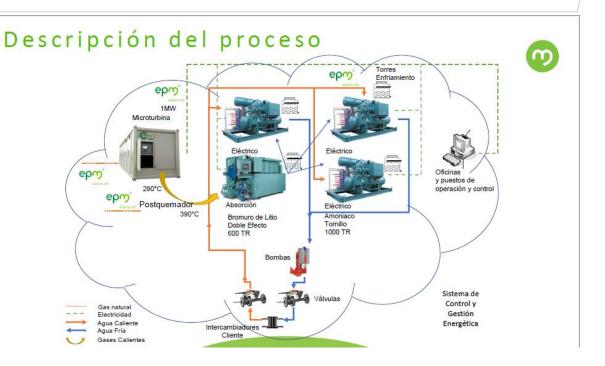


Figura 52. Proceso para la generación de frío en el distrito térmico de La Alpujarra.

(Fuente: EPM, 2018, lámina 13)

La Figura 53 muestra una vista aérea de la instalación donde se genera el frío, mientras que la

Figura 54 muestra una vista exterior de la misma.



Figura 53. Vista aérea del distrito térmico de frío de EPM en Medellín, Colombia, que muestra la planta de generación de frío en el centro

Fuente: EPM, 2018, lámina 27.



Figura 54. Vista exterior de la planta de generación de frío de La Alpujarra Fuente: EPM, 2018, lámina 25.

La Tabla 11 proporciona algunos detalles técnicos. Los únicos refrigerantes son agua, amoníaco y bromuro de litio, incluidos el chiller por absorción y los chillers eléctricos centrífugos. No hay refrigerantes clorados o fluorados, por lo tanto, no agotan el ozono ni tienen un alto GWP, por lo que las emisiones globales de GEI están determinadas por el consumo de electricidad y el factor de emisión del sistema eléctrico colombiano.

Tabla 11. Parámetros técnicos claves del distrito térmico de La Alpujarra

Capacidad de enfriamiento 3600 TR
Refrigerante en el enfriamiento por absorción Agua y bromuro de litio
Refrigerante en el chiller Amoniaco
Eficiencia energética estimada 0.54 kW/TR
COP estimado 6.5
Reducciones estimadas de emisiones deGEI 30%

La NAMA sobre aire acondicionado en Colombia recientemente redactada incluye un proyecto piloto de distrito térmico de frío en Cartagena. El proyecto propuesto proporcionaría refrigeración a nueve edificios, incluidos seis hoteles, tres de los cuales actualmente usan R134A, dos usan R-22, mientras que el último usa R123A, con GWP de



1.430, 1.810 y 77 respectivamente. Los tres edificios restantes son centros comerciales, dos de los cuales usan R134A, mientras que uno usa R410A. La capacidad de enfriamiento propuesta sería 9270 TR (32,4 MW), que comprende un enfriador (chiller) de absorción basado en el calor residual de una planta de generación eléctrica a turbina de gas, y cinco enfriadores (chillers) centrífugos, con los parámetros clave que se resumen a continuación (Tabla 12).

Tabla 12. Capacidad de enfriamiento de enfriadores (chillers) centrales para el proyecto de distrito térmico de frío de Cartagena

(Fuente: Hinicio-Tractebel, 2018, citado en MGM Innova, 2019)

Equipamiento	Número	Capacidad de	COP	Fuente de energía
		enfriamiento		
Chiller centrífugo	5	1770 TR (6,2 MW)	6.5	Electricidad
Chiller de	1	1285 TR (4,5 MW)	0.8	Calor residual de turbine
absorción				de gas

Es probable que los refrigerantes sean hidrocarburos, HFO 1234yf o amoníaco. Los detalles del proyecto propuesto se pueden encontrar en Hinicio-Tractebel (2018) y en MGM Innova (2019, Entregable 5).

6.2.2. Distritos térmicos de calor y frío

En el Cono Sur, donde existe una demanda tanto de calefacción de espacios como de refrigeración, puede ser apropiado un distrito térmico de calefacción y refrigeración. Las principales ciudades del Cono Sur incluyen Montevideo, Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Santiago de Chile y varias en el sur de Brasil. Un proyecto de Corea del Sur proporciona un ejemplo de calefacción y refrigeración de distrito, cuya metodología MDL fue desarrollada por MGM Innova. El proyecto comprende una planta de ciclo combinado a gas natural que genera electricidad con alta eficiencia. Sin embargo, la operación puede adaptarse estacionalmente, de modo que el calor residual esté disponible para la calefacción y el calentamiento de agua en invierno, y para el enfriamiento de espacios en verano, a través de un distrito térmico de calefacción y refrigeración. Las siguientes figuras muestran los tres modos de funcionamiento principales, según la temporada y las necesidades de calefacción (Fuente: KDHC, 2010):

Modo 1: Operación en el invierno

Modo 3: Operación en el verano

Modo 5: Operación en primavera y otoño



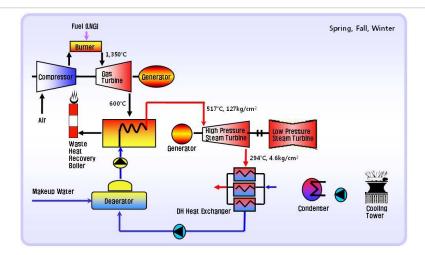


Figura 55. Modo de operación 1: invierno. El calor residual de la turbina de gas pasa a través del generador de vapor de recuperación de calor, y el vapor pasa sólo a través de la turbina de vapor de alta presión (AP). Vapor sale de la turbina de AP a 294 C y entra en el intercambiador de calor del distrito térmico de calor.

Fuente: KDHC, 2010

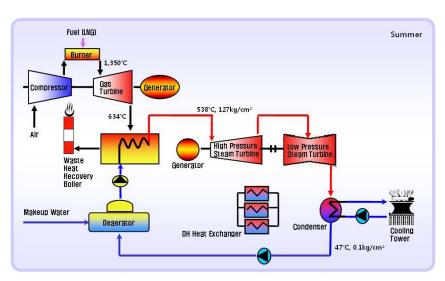


Figura 56. Modo de operación 3: verano. Todo el calor recuperado de la turbina de gas se envía a ambas etapas de la turbina de vapor para maximizar la generación de electricidad. Sin embargo, dado que se necesita algo de calor para calentar el agua y algo para el aire acondicionado, el sistema funciona en modo 1 y modo 3, alternativamente, según sea necesario.

Fuente: KDHC, 2010



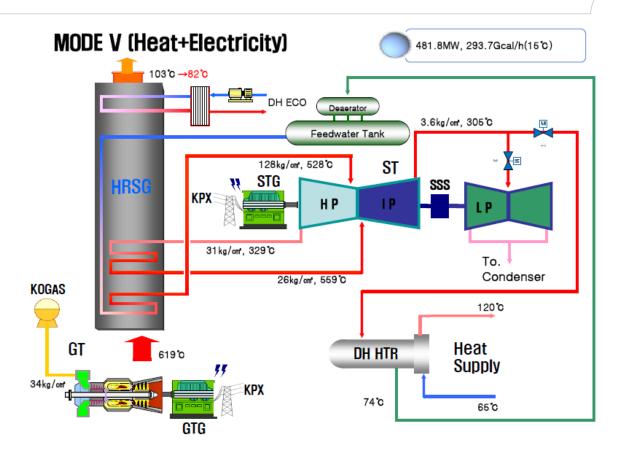


Figura 57. Modo de operación 5: primavera y otoño. Esto está entre los modos 1 y 3: algo de calor va a la turbina de vapor de baja presión dependiendo de la demanda de calor.

Fuente: KDHC, 2010

6.3. Refrigeración comercial

El Departamento de Energía de EEUU proporciona una clasificación de refrigeración comercial, que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación de refrigeración comercial Source: http://web.archive.org/web/20130214012615/http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/Glossary.aspx

Tecnología	Definición
Refrigeración de	The complete supermarket refrigeration system including
supermercados	display cases, compressor racks, condensers, and walk-ins. El
_	sistema completo de refrigeración de supermercados, que
	incluye vitrinas, bastidores de compresores, condensadores y
	equipos con entrada de personas ("walk-in).
Refrigeradores con	Una unidad de refrigeración o congelador (dentro de un
entrada de personas	edificio) que sea lo suficientemente grande como para la entrada
("walk in")	de personas.



Refrigeradores para	Cajas refrigeradas verticales e independientes con puertas		
alcanzar alimento o	sólidas o de vidrio cuyo propósito es contener productos		
bebida ("reach-in")	alimenticios congelados y / o refrigerados.		
Máquinas	Cajas refrigeradas verticales cuyo propósito es contener bebidas		
expendadoras	y / o productos alimenticios frías y venderlos a cambio de		
refrigeradas	monedas o fichas.		
Máquinas para	Máquinas que proporcionan una variedad de tipos de hielo		
producir el hielo	utilizados en las industrias de servicios de alimentos,		
	conservación de alimentos, hoteles y atención médica.		
Refrigeradores para	Armarios refrigerados autónomos, verticales, diseñados para		
comercializar bebidas	contener y / o exhibir bebidas refrigeradas para su compra sin		
	una función de venta automática.		

Algunos sistemas de refrigeración comerciales comprenden refrigeradores independientes para bebidas y máquinas de hielo. Estos casos son similares al caso de los sistemas de A/A mini-split donde un reemplazo uno a uno con equipos más eficientes que usan refrigerantes de bajo GWP es una opción relativamente simple.



6.3.1. Refrigeración en supermercados

La refrigeración y el aire acondicionado en los supermercados comprenden un componente principal de la refrigeración comercial, y a menudo incluyen algunas de las otras categorías enumeradas en la Tabla 13: "Refrigeradores para alcanzar alimento o bebida ("reach-in")" y "Refrigeradores para comercializar bebidas". La intensidad del uso de energía en los supermercados es alta en comparación con los edificios minoristas debido a la refrigeración necesaria para la conservación de productos refrigerados y congelados (Mylona et al., 2017).

Una consideración importante en la refrigeración de supermercados es el clima. En climas cálidos, como la mayoría de ALC, el supermercado puede requerir aire acondicionado todo o la mayor parte del año. En tales casos, el frío "perdido" de las vitrinas abiertas puede contribuir al enfriamiento del espacio. En climas templados, el enfriamiento del espacio se necesita sólo una parte del año, o no se necesita en absoluto. Por lo tanto, la experiencia en eficiencia energética de climas templados puede no ser relevante en muchas partes de ALC. Necesitamos tener esto en cuenta al revisar la literatura de estudios en climas templados.

Mota Babiloni y col. (2015) revisaron la congelación y conservación de alimentos en tiendas minoristas y supermercados. Esperan que debido a consideraciones de calentamiento global, los HFC como R404A y R507 se eliminarán gradualmente. Concluyen que "Además de los hidrocarburos y el HFO, el CO₂ aparece como uno de los substitutos para los HFC más prometedores debido a su baja contribución al calentamiento global y sus altas eficiencias cuando se utiliza en sistemas transcríticos y de baja etapa en cascada".

Islam et al. (2017) evaluaron el impacto de calentamiento equivalente total (TEWI, total equivalent warming impact) de los sistemas de refrigeración de supermercados. TEWI considera el calentamiento global directo e indirecto. Consideraron los sistemas de refrigeración para la evaporación a baja temperatura (BT) y la temperatura media (MT) a 0 C con condensación a 40 C. Consideraron varios refrigerantes como HFC 134a, mezcla de HFC 507A y sus combinaciones son fluidos de trabajo para abastecer a un Carga BT de 50 kW y carga MT de 250 kW. Observaron que HFC 134a para BT y MT proporcionaba la mejor combinación, lo que sugiere que las alternativas de bajo GWP a este refrigerante HFC pueden ser menos eficientes. Llegaron a la conclusión de que el refrigerante HFC de mezcla 507A tiene el TEWI más alto y los costos del sistema también son los más altos. Sin embargo, también evaluaron los sistemas de refrigeración transcríticos de CO₂ y descubrieron que podrían "posiblemente" tener un COP más alto en las condiciones operativas relevantes, lo que sería mejor desde la perspectiva de TEWI con una pérdida económica mínima debido a la fuga de refrigerante debido a su disponibilidad de abundancia.

Karampour y Sawalha (2017) también evaluaron el sistema integrado transcrítico de CO₂ en los supermercados. Su estudio incluyó mediciones de campo, así como la modelación. Sin embargo, su estudio se llevó a cabo en Suecia, el sistema proporcionaba calefacción y agua caliente, así como refrigeración y aire acondicionado. Llegaron a la conclusión de que el "sistema integrado de CO₂ utilizaba aproximadamente un 11% menos de electricidad que las soluciones independientes de HFC para refrigeración, calefacción y aire acondicionado en el norte de Europa. Debido a las diferencias en el clima, sus conclusiones pueden no ser válidas en la mayoría de ALC.



Del mismo modo, los resultados y conclusiones de un estudio de Sawalha et al. (2017), con mediciones de campo de sistemas de refrigerantes de supermercados, comparando HFC con CO₂ transcrítico, puede no ser válido en ALC. Sin embargo, la metodología de este estudio y un estudio anterior (Sawalha et al., 2015) proporcionarían procedimientos metodológicos útiles para evaluar los sistemas convencionales (basados en HFC), CO₂ transcrítico y otros sistemas.

Por el contrario, el estudio de Antunes y Bandarra Filho (2016) se realizó en Brasil, por lo que no hay incertidumbres de la extrapolación regional. Llevaron a cabo una evaluación experimental de un sistema de refrigeración de 5 toneladas que implica el reemplazo directo ("drop-in") del refrigerante R-22, con una variedad de refrigerantes halogenados como HFC-438A, HFC-404A, HFC-410A y HFC-32, así como los hidrocarburos HC-290 y HC-1270. Llegaron a la conclusión de que los refrigerantes naturales presentaban el mejor coeficiente de rendimiento y que los resultados para los HFC, con excepción del HFC-32, permanecían por debajo de los del HCFC-22. El impacto ambiental se evaluó utilizando el parámetro TEWI, y nuevamente se obtuvieron los mejores resultados con los hidrocarburos, mientras que el refrigerante HFC-404A presentó el mayor impacto ambiental.

Exhibidores de alimentos, verduras y frutas

Una serie de tecnologías de enfriamiento están disponibles para la exhibición de alimentos incluidos frutas y verduras, como se ilustra a continuación. Algunos usan hidrocarburos o CO₂ como refrigerante, mientras que uno parece estar en estado sólido. No hay información de rendimiento disponible. Las vitrinas abiertas no son energéticamente eficientes, por lo que una medida importante de eficiencia energética sería colocar puertas en vitrinas, siempre que sea posible.





Figura 58. Food display unit by De Rigo Refrigeration uses R-290 (hydrocarbon) refrigerant Source: DeRigoRefrigeration.com

La Figura 59 muestra la primera instalación de una unidad de condensación Panasonic que utiliza CO₂ como refrigerante en una instalación fuera de Japón.





OCU-CR2001MVF

Jaya Grocer Mutiara Tropicana store

Figura 59. Unidad de condensación Panasonic con refrigerante CO₂ (izq.) instalada en un supermercado de Malasia (der.)

https://news.panasonic.com/global/press/data/2017/05/en170509-3/en170509-3.html



Un proveedor de tecnología (Grener Systems) no da detalles de su tecnología. Sin embargo, la documentación limitada del producto sugiere que se trata de un sistema de enfriamiento de estado sólido, que utiliza un refrigerante que es un "aditivo biodegradable".⁵⁷



Figura 60. Exhibidor de verdure y fruta basado en Coolplates, Grener Systems Nederland BV Fuente: https://www.coolplates.nl/en/applications

_

⁵⁷ <u>https://www.coolplates.nl/en/about-coolplates</u>



7. Revisión de la oferta tecnológica de los fabricantes

7.1. Introducción

Como punto de partida para una revisión de la oferta tecnológica de los fabricantes, consideramos dos fuentes:

- 1. Un número de tecnologías de enfriamiento fueron comparadas en una hoja Excel "181204_Technology list from 29oct workhsop_review CF.xlsx", preparada para un taller realizado el 29 de octubre de 2018⁵⁸. Proporciona una breve revisión de las tecnologías más relevantes. Se evaluaron todas las empresas y tecnologías para preparar una lista más corta de tecnologías relevantes, como se detalla en el Apéndice C.
- 2. El Instituto Internacional para la Conservación de Energía (International Institute for Energy Conservation, IIEC) también preparó una lista de tecnologías limpias y eficientes de enfriamiento⁵⁹. La lista de empresas y tecnologías es mucho más corta que la compilación de Excel mencionada anteriormente y revisada en el Apéndice C. La lista de IIEC se revisa en el Apéndice D.

Las compilaciones anteriores se complementaron con nuestra propia revisión de las ofertas de los fabricantes. Los resultados se resumen por fabricante, refrigerante, aplicación, etc. en un libro de Excel, una parte del cual se extrae en la Tabla 14 más adelante en esta sección.

La Tabla 14 considera principalmente aplicaciones comerciales e industriales. No incluye A/A mini-split comunes en aplicaciones residenciales y comerciales pequeñas. Como se señaló anteriormente, dos empresas chinas, Midea y Gree, fabrican la mayoría de los A/A mini-split vendidos en ALC, bajo una variedad de marcas, incluidas las propias. Algunos son modelos de "invertir", por lo que es probable que sean más eficientes que los modelos de potencia constante⁶⁰. Actualmente, ninguno de los modelos que se ofrecen en el mercado de ALC usa refrigerantes de bajo GWP⁶¹. Sin embargo, en algunos países existen modelos de alta eficiencia en el mercado, por ejemplo, con la clase de eficiencia A, de acuerdo con la etiqueta de eficiencia energética de Argentina, ver Apéndice E.

Ambas compañías, así como muchas otras, ofrecen A/A mini-split con refrigerante R-32 en otros mercados. De hecho, Panasonic ofrece A/A mini-split con refrigerante R-32 en Panamá. Podemos esperar que, con el estímulo adecuado de la política, los mini-splits

⁵⁸ The exact details of the workshop are not available. It was likely a K-CEP workshop. The Excel file was made available to MGM Innova as part of background documentation for the K-CEP grant.

⁵⁹ http://www.iiec.org/coolingdemo-technologies

For model offerings of Midea and Gree in the global market, see http://global.gree.com/ywb/productsservices/residentialairconditioner/guaji_e/index.shtml

⁶¹ As an example, for Argentina, see https://www.midea.com.ar/producto/climatizacion-residencial/aires-acondicionado/



energéticamente eficientes con R-32 estén disponibles en todos los países de ALC a mediano plazo.

Para el mercado comercial, Gree ofrece una serie de modelos múlti-split con flujo variable de refrigerante (VRF), donde el fabricante afirma: "Su eficiencia energética mejora en un 78% en comparación con el VRF múltiple convencional"62. Los detalles no están claros.

También para la refrigeración comercial, Gree ofrece varios modelos de enfriadores (chillers). No se mencionan los refrigerantes utilizados, por lo que se puede suponer que son convencionales. Si bien no hay información suficiente en el sitio web para evaluar la mayoría de los modelos, lo siguiente parece interesante⁶³:

- Enfriador (chiller) centrífugo síncrono de imanes permanentes con inverter de la serie CVE. El imán permanente sugiere un motor eléctrico más eficiente, mientras que el inverter indica una eficiencia mejorada.
- Enfriador (chiller) centrífugo fotovoltaico de accionamiento directo con inverter. Esto permite que el equipo funcione utilizando combinaciones de electricidad de la red y generación de FV in situ, intercambiando energía con la red según sea necesario.

A continuación, proporcionamos detalles de dos fabricantes importantes (Daikin y Mayekawa) que tienen una presencia importante en el mercado de ALC. Daikin está preparado para ofrecer equipos de aire acondicionado eficientes con R-32 y otros refrigerantes de bajo GWP. Mayekawa ofrece equipos con una variedad de refrigerantes de bajo GWP.

Posteriormente, proporcionamos una tabla resumen (Tabla 14) basada en la revisión de MGM Innova de las ofertas de los fabricantes. Muchos de los productos y sistemas de la tabla aún no se ofrecen en ALC o tienen una presencia muy limitada en la región. Sin embargo, todos representan oportunidades interesantes para un enfriamiento limpio en la región.

http://global.gree.com/ywb/productsservices/commericalairconditioner/chiller/index.shtml#product_menu

-

⁶² http://global.gree.com/ywb/productsservices/commericalairconditioner/light_commercial_ac/index.shtml



7.2. Daikin

Daikin es un fabricante japonés que abastece el mercado global. Sus innovaciones desde 1980 se muestran en la Figura 61. Han desarrollado sistemas que utilizan todos los refrigerantes discutidos anteriormente, y para una amplia variedad de aplicaciones.

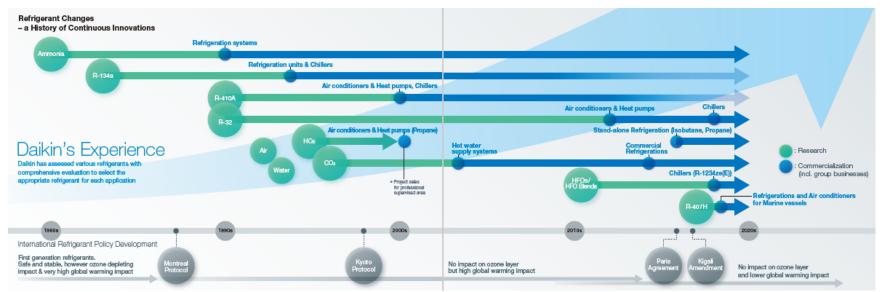


Figura 61. La experiencia de Daikin en el desarrollo de refrigeración, aire acondicionadores y bombas de calor Fuente: Daikin, 2018A

La presencia de Daikin en ALC es algo limitada, pero con un interés en la expansión (Figura 62). Daikin hizo una presentación a MGM Innova en agosto de 2018 (Daikin, 2018B).



- We established Latin America Head Office Mexico in 2014 to accelerate business expansion in the region.
- 11 sales subsidiaries in the market which occupy 80% of the demand (Brazil, Mexico, Argentina, Chile, Peru, Colombia, Puerto Rico, Panama, Costa Rica and Dominican Rep.).
- 2 production bases in Mexico (SLP) and Brazil (Manaus) to meet local demands.
- No. of employees in the region: 850 (E/Mar'18)













Figura 62. Daikin en América Latina y el Caribe

Fuente: Daikin, 2018B, lámina 5

Daikin ya ha aumentado la proporción de equipos de aire acondicionado tipo inverter, así como R-410A para reemplazar R-22 en la región como se muestra en la

Figura 63, señalando lo siguiente (Dakin, 2018B, lámina 6):

- La proporción de equipos con inverter ha aumentado del 32% al 51%. Brasil, México y Colombia con el mayor crecimiento.
- La proporción de equipos con R-410A ha aumentado del 49% al 65%. Perú y Chile con el mayor crecimiento. Argentina al 98%.
- América Central y el Caribe con un logro del 60%/80%. Panamá al 80%/90%.



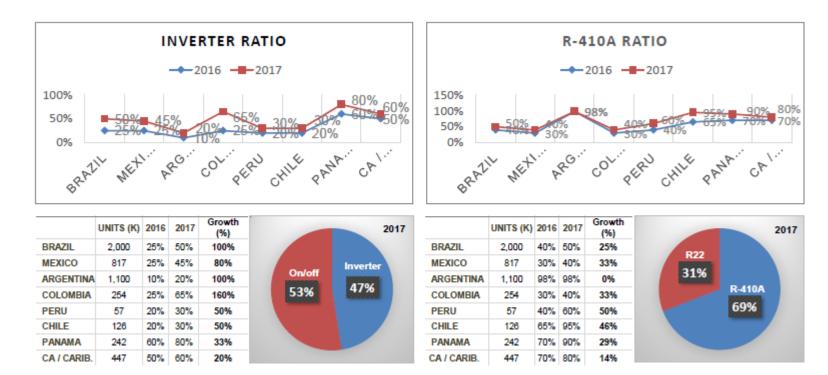


Figura 63. Daikin ha aumentado su proporción de unidades con inverter, así como el uso de R-410A en ALC en sistemas de A/A split en los últimos años Fuente: Daikin 2018B, lámina 6.

El siguiente paso para Daikin es promover equipos eficientes con bajo GWP. Como se señaló anteriormente, Daikin ha elegido el R-32 como refrigerante HFC de GWP medio como refrigerante provisional con tecnología de inverter para promover la eficiencia energética. Entre 2012 y 2017, Daikin vendió 32 millones de unidades RAC con R-32 (Daikin, 2018B, láminas 16 y 17).



7.3. Mayekawa

Mayekawa, fundada en Tokio en 1924, ha desarrollado equipos para una amplia gama de aplicaciones de refrigeración y generación de calor. En la búsqueda de alternativas a los refrigerantes que agotan el ozono y / o tienen un alto GWP, han desarrollado equipos utilizando lo que llaman refrigerantes "CINCO NATURALES" ("NATURAL FIVE"): amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), hidrocarburos (HC) y aire. Las aplicaciones incluyen generación de calor, secado, suministro de agua caliente, aire acondicionado, enfriamiento, enfriamiento y congelación en una multitud de temperaturas de 200 C a -100 64 , como se ilustra a continuación (Figura 64).

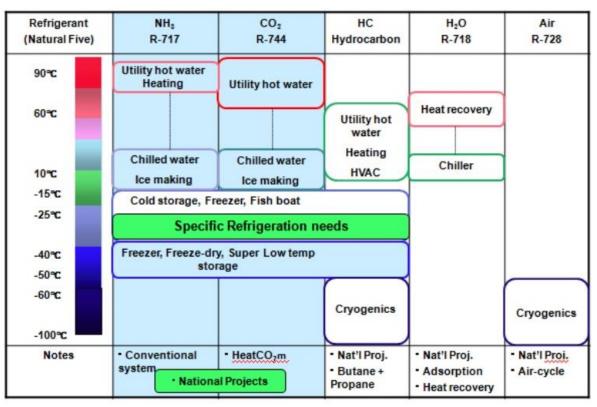


Figura 64. Equipos Mayekawa basados en refrigerantes naturales (Fuente: Mayekawa, 2013, lámina 5)

Para el mercado de ALC⁶⁵, Mayekawa ofrece Eco Cute, bombas de calor que utilizan dióxido de carbono como refrigerante. Dentro de la línea Eco Cute, ofrecen bombas de calor de CO₂ transcríticas Unimo⁶⁶. La versión aire/agua (Unimo A/W) proporciona agua caliente a 65 a 90 C, con un COP de 4,2. La versión de agua/agua (Unimo W/W) también proporciona agua fría tan fría como 9 C, con un COP combinado de 8,0 (sumando el COP de calentamiento y enfriamiento). Según sus cálculos, el reemplazo de un chiler eléctrico y una

-

⁶⁴ http://www.mayekawa.com/activities/natural5/

⁶⁵ Information in this section is based on a Mayekawa presentation to MGM Innova.

⁶⁶ http://www.mayekawa.com/products/features/eco_cute/



caldera de vapor con su sistema Eco Cute tendría una recuperación simple de 1,7 años, a un costo de electricidad de US \$ 0,13 /kWh.

Mayekawa también ofrece la bomba de calor modelo Plus Heat que utiliza amoníaco como refrigerante.

Su sistema de hielo en suspensión (slurry ice) produce agua fría también usando amoniaco como refrigerante. Este sistema se puede utilizar para la fabricación de hielo y para la conservación de alimentos. Para una capacidad de enfriamiento de 187 kW, su sistema de hielo en suspensión requeriría 77,6 kW en comparación con 93,1 kW para un sistema de hielo en barra convencional. Estiman un período de recuperación simple de 5 años, quizás no atractivo en el mercado de ALC, sin beneficios adicionales.

El sistema Pascal Air de Mayekawa para generar temperaturas ultrabajas se mencionó en la discusión sobre el uso del aire como refrigerante.

Mayekawa ofrece varios modelos de congeladores industriales que pueden funcionar con refrigerantes tanto naturales como fluorocarbonados⁶⁷:

- Congelador Thermo-Jack: congelación de túneles de alta eficiencia utilizando chorros de impacto de boquillas de hendidura
- Congelador delgado y ligero, similar al Thermo-Jack
- Congelador de varias capas, para un mejor uso del espacio y congelación continua.
- Congelador IQF Line, congelación rápida, ideal para congelar vegetales, frutas y productos pesqueros sin aglomerar
- Congelador en espiral, también para ahorrar espacio.
- Congelador por lotes, para congelar rápidamente pequeñas cantidades de diferentes productos.

Mayekawa también ofrece un sistema de enfriamiento por *adsorción* (una tecnología que no revisamos anteriormente). Al igual que en la refrigeración por *absorción*, el sistema utiliza el calor residual como fuente de frío. El refrigerante es agua. Para su sistema, Adref Noa, afirman un ahorro de energía del 50% en comparación con los enfriadores (chillers) convencionales.

Mayekawa también ofrece compresores de alta eficiencia para refrigerantes convencionales (R 22, R 507A) y también para amoníaco.

Mayekawa tiene una presencia global que incluye ALC, como se muestra en la Figura 65.

-

⁶⁷ Mayekawa General Freezer Catalog





Figura 65. La presencia de Mayekawa en ALC incluye fábricas en Cuernavaca (México) y Arujá (Brasil), que se muestran como estrellas azules en el mapa

Fuente: Mayekawa general freezer catalog

7.4. Otros fabricantes

Daikin y Mayekawa son solo dos fabricantes globales presentados aquí. Los productos de éstos y otros fabricantes se mencionaron anteriormente en relación con refrigerantes específicos. Las ofertas de productos de los fabricantes se resumen en la tabla de Excel "Fabricantes y tecnologías 15sep19.xlsx", preparada para acompañar esta revisión. Se proporciona un extracto del archivo Excel en la Tabla 14 a continuación.



Tabla 14. Fabricante o proveedor de tecnologías de refrigeración y aire acondicionado.

(Fuente: Manufacturers and technologies 15sep19.xlsx, recopilación de MGM Innova)

Fabricante - Proveedor	Aplicación: Refrigeración A/A o Bomba de calor	Refrigerante	Tecnología/Aplicación	Modelos
Daikin		HFC 32 or R-32	Equipos split- sector residencial y comercial ligero	Muchos
Daikin		HFO - 1234ze	Chillers	Series de chillers DZ, TZ y VZ
Daikin	A/C	CO ₂	Sistema VRV basado en CO ₂	Unidad externa RXYN-AY1; Unidad interna FXSN-AV1
Daikin		Water, Lithium bromide	Chiller de absorción	TSA-DC (Chiller / calentador de acción directa) TSA-NC (chiller accionado por vapor)
Panasonic	A /C	HFC 32 or R-32	Equipos split- sector residencial y comercial ligero	Muchos modelos
Panasonic	A/C	Water, Lithium bromide	Chiller de absorción	
Panasonic	R	CO ₂	Sistema de refrigeración de expansión directa con CO ₂	OCU-CR2001MVF (condensing unit)
Carrier		HFC 32 or R-32	Equipos split- sector residencial y comercial ligero	Muchos modelos
Carrier	A/C	HFO - 1234ze	Chillers	Aquaforce chiller con refrigerante PUREtec
Carrier		Water, Lithium bromide	Chiller de absorción	16TJ (100 to 700 tons)
Carrier	R	CO ₂	Enfriadores de gas refrigerados por aire para refrigeración	Muchos modelos
Johnson Controls	R	NH ₃	Refrigeración comercial	Frick PowerPac



Johnson Controls	A/C	Water, Lithium bromide	Chiller de absorción	YHAU-C Single Effect Steam Chillerción YHAU-CG Direct Fired Chiller/Heate YHAU-CW Double Effect Steam Chiller	
FOGEL	R	CO ₂ R-290	Refrigeración comercial		
EDTA	R	CO ₂	Refrigeración comercial		
EPTA		R-290	Refrigeración comercial		
Zanotti	R	CO ₂ R-290	Refrigeración comercial		
De Rigo	R	R-290	Refrigeración comercial		
Mayekawa	HP	CO ₂	Agua caliente y fría	Unimo A/W	
Mayekawa	R	NH ₃	Sistema de agua sub-enfriada (Slurry ice)	Slurry Ice system	
Mayekawa	R	NH ₃ / CO ₂	Refrigeración industrial	NewTon 3000, 6000, and 800	
Mayekawa		Air	Muy baja temperatura y "freeze drying"	Pascal Air	
		CO ₂	Refrigeración comercial	Purity	
Hussmann R		R-290	Exhibidor independiente de comida	VRM MD4060DA	
Hill Phoenix	R	CO ₂ /HFC (cascade)	Refrigeración industrial a baja temperatura	Second Nature® Low Temperature Direct Expansion Cascade (SNLTX2)	
Arneg	R	CO ₂	Refrigeración para supermercados	HCP CO ₂	
Schneider		R1234ze	Chillers refrigerados por aire para uso comercial	Aquaflair BREC & BREF	
GEA Group	R & A/C	NH ₃	Chillers para uso comercial GEA BluAir GEA BluAstrum GEA BlueGenium		
REFTECO	R	NH ₃	Chillers para uso comercial CHA		
Azane	R	NH ₃	Chillers para uso comercial Azanechiller 2.0		



Azane	R	NH ₃	Congelación de alimentos Azanefreezer 2.0		
Kuroshiho	R	R-407E/R-32 (cascade)	Muy bajas temperaturas		
Enex	R}	CO ₂	Chillers para uso comercial Refrigeración industrial y comercial	Yukon (chiller) Elba, Drava, Neva (Refrigeration)	
Green and Cool	R	CO ₂	Refrigeración y A/A	Muchos modelos, including Mistral, Crystal, Sirocco	
Smartcool	R	N.A.	Sistema de contro para refrigeración y A/A (retrofit)	Eco3	
Ice Energy	R & A/C	N.A.	Almacenamiento de energía como hielo	Muchos modelos	
Cool plates	R	Solid-state?	Exhibidor independiente de comida		



8. Medición de ahorro de energía y reducción de emisiones

Este documento es una revisión de tecnologías limpias de enfriamiento. Sin embargo, dado que el objetivo del enfriamiento limpio es ahorrar energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, algunos comentarios sobre la medición de este objetivo son pertinentes.

El ahorro de electricidad conduce a la reducción de las emisiones de GEI, en la medida en que, una parte de la electricidad se genera utilizando combustibles fósiles. El Factor de Emisión para determinar la reducción de emisiones de CO₂ del ahorro de energía eléctrica se analiza en el Apéndice F, con especial referencia a la disponibilidad de datos en los países de ALC. Algunos países de ALC publican datos oficiales sobre el factor de emisión. Para otros países, recomendamos que los gobiernos lo hagan. Mientras tanto, las ESCO deberán determinar el factor de emisión a partir de los datos de generación de electricidad más recientes disponibles.

La mayoría de las emisiones de GEI en refrigeración y aire acondicionado (R y A/A) provienen de emisiones de CO₂ en la generación de electricidad. Estas emisiones dependen del consumo de electricidad y continúan durante la vida útil del equipo. Muchos refrigerantes en uso hoy en día tienen un alto GWP y también contribuyen a las emisiones totales de GEI. Estas emisiones tienen lugar en fugas de refrigerante mientras el sistema R y AA está en uso, durante el mantenimiento y al final de la vida útil del equipo, si el refrigerante no se recupera y destruye. Por lo tanto, reducir las fugas, mejorar los procedimientos de mantenimiento para reducir las fugas, extender la vida útil del equipo y el reciclaje de refrigerantes, todo contribuye a reducir las emisiones de GEI de los refrigerantes. Todos estos factores se vuelven menos relevantes con el uso de refrigerantes de muy bajo GWP, tanto "naturales" como sintéticos como los HFO. Mientras tanto, los procedimientos de monitoreo deben incluir no solo el uso de energía, sino también estimaciones de fugas de refrigerante en uso y mantenimiento y vida útil del equipo.



9. Conclusiones y recomendaciones principales para la acción

Este documento propuso revisar las tecnologías y cuestiones relacionadas desde el punto de vista de los inversores en eficiencia energética, con opciones que también reducen las emisiones de sustancias que agotan el ozono (SAO o ODS) y gases de efecto invernadero (GEI).

Algunas de las conclusiones de la revisión se conocieron *a priori* y se confirmaron en esta revisión.

A. Recuperación de refrigerantes y agentes espumantes de los equipos retirados del servicio

Las emisiones de SAO tienen efectos inmediatos en la salud y, por lo tanto, es importante reducirlaa con urgencia. Aunque la producción de SAO para su uso en refrigeración ha disminuido sustancialmente, algunos, especialmente HCFC-22, pueden estar siendo producidos e instalados en algunos países de ALC. Dado que existen refrigerantes alternativos para estas aplicaciones con cero ODP, una ESCO no debe incorporar SAO (ODS) en ninguna instalación.

Si bien la producción de SAO ha disminuido drásticamente, estos gases permanecen dentro de los equipos que están actualmente en uso. En ausencia de una adecuada disposición final. estos gases se liberarían al final de la vida útil del equipo o cuando sean reemplazados por otro equipo durante la remodelación, para ahorrar energía o por otras razones. El nivel de reciclaje de los equipos, incluida la eliminación y destrucción de refrigerantes y agentes espumantes, es relativamente bajo en ALC. Sin embargo, ha habido iniciativas en México, Brasil, Colombia, Argentina, Chile y otros lugares para promover dicho reciclaje. Sin incentivos económicos, se espera que los beneficios económicos del reciclaje sean menores que el costo adicional. Por lo tanto, el reciclaje de refrigerante representa un costo adicional para una ESCO.

Algunos países, notablemente Colombia, tienen leyes posconsumo de residuos. Sin embargo, hasta la fecha no han madurado el proceso de recuperación y tratamiento adecuado de los refrigerantes.

Ha habido iniciativas, como la Reserva de Acción Climática (Climate Action Reserve, CAR) de California, donde la eliminación de SAO se compensó económicamente en un mercado de carbono que se aplicaba no solo a California sino también a otras regiones. Si bien no es rentable para una ESCO reciclar SAO, el costo adicional de dicha eliminación podría pagarse con un ingreso modesto en un mercado de carbono, como el de CAR, ya que estas SAO también son gases de efecto invernadero. Creemos que el costo de mitigación del cambio climático para este reciclaje sería pequeño en comparación con muchas otras opciones de mitigación, y también ofrecería una reducción de emisiones de SAO sin costo.

El enfoque del mercado de carbono para financiar el reciclaje podría extenderse a los refrigerantes y agentes espumantes que tienen cero ODP pero tienen un alto GWP. Hay muchos HFC que entran en esta categoría. Además de cualquier mercado internacional de



carbono que pueda surgir para permitir la monetización de las emisiones de GEI refrigerantes, los países que ya tienen mercados nacionales de carbono, como Chile y Colombia, podrían considerar ampliar sus mercados de carbono para incluir refrigerantes y agentes espumantes.

Nuestro estudio encontró que ciertas clases de equipos de refrigeración, especialmente los utilizados para enfriar bebidas y helados en el punto de venta, no siempre reciben adecuado mantenimiento y suelen descartarse al final de la vida útil de los mismos. Estos equipos generalmente son relativamente nuevos y no utilizan ningún ODS. Sin embargo, algunos continúan basándose en HFC. En el mediano plazo, estos equipos usarían refrigerantes y agentes espumantes que tienen un GWP insignificante. Sin embargo, en el corto plazo, los HFC pueden continuar usándose. Para este fin, recomendamos que una ESCO elija una de las siguientes alternativas:

- 1. Que la ESCO instale solo equipos que utilicen refrigerantes con muy bajo GWP, por ejemplo, hidrocarburos. El equipo retirado debe reciclarse cuando se trata de SAO o gases con alto GWP.
- 2. La ESCO proporcione el equipo en régimen de arrendamiento ("leasing") con la recuperación del equipo cuando deje de funcionar. En este caso, la ESCO puede operar su propia infraestructura de reparación para extender la vida útil del equipo y o reciclar el equipo al final de su vida útil.
- 3. La ESCO podría adquirir los equipos en uso a los propietarios actuales para hacer un "lease back" con el compromiso de cambio y actualización durante el período del contrato.

En los casos anteriores, la ESCO se beneficiaría de un incentivo financiero como un mercado de carbono para la destrucción de los GEI eliminados.

B. La eficiencia energética es más importante que los refrigerantes, desde la perspectiva del calentamiento global

Otra conclusión conocida *a priori* es que el potencial de calentamiento global de los equipos de refrigeración y aire acondicionado está dominado por las emisiones de CO₂ de la generación de electricidad, incluso en los muchos países de ALC que tienen una generación de electricidad de baja emisión. Por lo tanto, bajo ninguna circunstancia, el equipo instalado por la ESCO debe consumir más energía que la alternativa, incluso cuando el nuevo equipo requiere el uso de un HFC. Principalmente en esta categoría estarían los equipos mini split, como se discute a continuación.

Los equipos de aire acondicionado mini-split se han vuelto muy populares en los últimos años. En los países de ALC, la mayoría de los equipos nuevos ya no usan HCFC-22. Sin embargo, el R-410A (un HFC con alto GWP, 2088) sigue siendo el refrigerante dominante. En la actualidad, no hay A/A mini-split con muy bajo GWP disponible comercialmente en ningún lugar, salvo algunos modelos con refrigerante R-32 en México, Panamá y posiblemente otros países de la región. Sin embargo, Daikin y otros fabricantes ofrecen A/A mini-split con R-32, un HFC con un GWP relativamente pequeño (675). Muchos de estos modelos son energéticamente eficientes en diseño y además incorporan tecnología de inverter que reduce el uso estacional de energía. Por lo tanto, recomendamos que los ESCO



instalen A/A mini-split, donde sean apropiados desde una perspectiva de diseño, pero siempre eligiendo equipos de alta eficiencia, utilizando tecnología de inverter y R-32 como refrigerante.

La selección de A/A mini-split de alta eficiencia por parte de las ESCO, y por los compradores individuales de dichos equipos, se vería muy favorecida por la existencia de un etiquetado nacional de eficiencia y estándares mínimos de rendimiento energético (o minimum energy performance standards, MEPS). Los países más grandes de ALC, y algunos otros, ya tienen dichos programas, mientras que otros están en proceso de desarrollarlos. Sin embargo, a menudo hay una gama de eficiencias de equipos en cualquier país. Una ESCO podría elegir entre las más eficientes disponibles, siempre que sean rentables. Además, un acuerdo de compra a granel propuesto entre la ESCO y los fabricantes podría permitir una reducción de precios para mejorar la rentabilidad. Dicha reducción de precios también puede beneficiar a otros compradores, si el acuerdo de compra inicial puede estimular una reducción general de precios.

Si bien los A/A mini-split que usan R-32 están ampliamente disponibles en Europa y en otros lugares, generalmente no están disponibles en los países de ALC. Por ejemplo, si bien Colombia ha anunciado planes ambiciosos para reducir las emisiones de GEI en el aire acondicionado, a través de una NAMA, incluido el uso extendido de A/A mini-split con R-32, este último equipo no puede usarse en Colombia, en espera de los procedimientos de certificación técnica para los permisos de importación. Incluso en países grandes como Colombia, los fabricantes consideran que el mercado de ALC es pequeño para que hagan el esfuerzo de obtener la certificación necesaria. Por lo tanto, existe una situación de "Catch-22": no se venden A/A R-32 ya que aún no están certificados, mientras que los fabricantes no obtienen la certificación ya que el mercado no existe. Creemos que esta barrera se eliminará una vez que la NAMA entre en funcionamiento. Mientras tanto, una ESCO como MSEF puede resolver esto proponiendo simultáneamente instalaciones y promoviendo la certificación.

Cuando los A/A mini-split que se instalarán reemplazan los equipos de A/A existentes basados en HCFC-22 o R 410A, nuevamente declaramos la necesidad y los beneficios de un programa de reciclaje efectivo.

Este estudio también conduce a nuevas conclusiones tentativas, que se describen a continuación.

C. Hay muy poco potencial para las bombas de calor geotermales en los países de ALC

Gran parte de ALC se encuentra en la región intertropical, donde la variación anual (estacional) de la temperatura del aire es relativamente pequeña, por lo que no se puede obtener un beneficio termodinámico de las diferencias en la temperatura del aire y la temperatura a pocos metros bajo tierra, esta última tiende a permanecer cerca de la temperatura media anual sobre el suelo. El Cono Sur tiene un clima templado con variaciones estacionales sustanciales en la temperatura del aire. Hasta el momento, hay pocas instalaciones de bombas de calor geotermales, y queda por ver si el mercado puede



ser lo suficientemente grande como para justificar la infraestructura técnica para las grandes inversiones necesarias.

D. El mercado para el enfriamiento por evaporación debe explorarse más

El enfriamiento por evaporación es una tecnología que ha estado disponible durante mucho tiempo, tal vez cientos o miles de años. Un mapa climático muestra que hay áreas desérticas a lo largo de la costa del Pacífico donde el enfriamiento por evaporación puede ser factible. Dadas las variaciones de altitud, se necesitarían estudios locales para definir el potencial técnico y económico. Un estudio detallado en Colombia indicó regiones donde esta tecnología funcionaría y ya existen algunos locales de venta en Medellín y Bogotá que la utilizan con buenos resultados. La escasez de agua podría ser un problema en los climas secos donde funcionaría el enfriamiento por evaporación. Algunas de estas regiones, por ejemplo, Baja California, utilizan la desalinización de agua de mar para obtener agua dulce, un proceso muy intensivo en energía. Hay una serie de tecnologías prometedoras que aún no están disponibles comercialmente. Estos incluyen (a) sistemas híbridos para enfriamiento por evaporación y desalinización y (b) aire acondicionado evaporativo mejorado con desecante (Desiccant Enhanced Evaporative Air Conditioning, DEVap), que también podría aplicarse en climas húmedos.

E. El enfriamiento por absorción puede ser una alternativa atractiva para la instalación de aire acondicionado y refrigeración industrial.

El enfriamiento por absorción es otra alternativa a la compresión de vapor. Es una tecnología madura con una serie de proveedores de equipos. Si bien es menos eficiente energéticamente en comparación con la compresión de vapor, el enfriamiento es proporcionado por una fuente de calor, que puede ser calor residual de un proceso industrial, de la generación termoeléctrica o de la energía solar. Al utilizar el calor residual, el enfriamiento por absorción requiere poca electricidad para que pueda ser eléctricamente eficiente, en términos de capacidad de enfriamiento por kW (eléctrico). Otro atractivo del enfriamiento por absorción es que utiliza refrigerantes que no son GEI: generalmente bromuro de litio o amoníaco/agua. Una instalación reciente de enfriamiento por absorción, junto con chillers eléctricos utilizando amoniaco, suministra frío al Distrito Térmico de EPM en Medellín, Colombia.

Se ha propuesto un sistema de A/A de absorción con energía solar para un edificio en una universidad, también en Medellín, como parte de la NAMA para el sector del aire acondicionado en Colombia. Los requisitos de inversión para los sistemas de enfriamiento por absorción para edificios están dentro del rango accesible para las ESCO, por lo que la tecnología es prometedora.

El enfriamiento por absorción se puede utilizar para alcanzar temperaturas muy bajas, y hay proveedores de equipos para tales aplicaciones industriales, nuevamente al alcance de la capacidad de inversión de ESCO.



F. Los distritos térmicos, incluido el aire acondicionado con agua de mar, tiene un gran potencial en ALC

Anotamos un sistema de enfriamiento de distrito basado en enfriamiento por absorción instalado por EPM en Medellín. Hay otros distritos térmicos en Colombia: en Serena del Mar (Cartagena), Centro Comercial Nuestro Urabá (Urabá). Estos sistemas proporcionan refrigeración a varios edificios desde un sistema central que incluye una planta de energía alimentada con gas natural, así como enfriadores auxiliares. El diseño de distritos térmicos de frío no solo requiere grandes inversiones, sino también la existencia e interés de clientes potenciales para la refrigeración. Este es aún más el caso de los sistemas de aire acondicionado con agua de mar. En este caso, la demanda debe cubrir un mayor número de edificios y probablemente requerirá la participación municipal u otro organismo estatal en tales proyectos. Sin embargo, se han llevado a cabo una serie de estudios sobre sistemas de aire acondicionado con agua de mar, incluidos estudios de temperaturas de aguas profundas, para que dichos sistemas puedan instalarse en el Caribe o en las costas de ALC en el futuro cercano, como lo han hecho en otros lugares.

Los distritos térmicos de frio limitados, que cubren algunos edificios que pertenecen a un solo propietario, pueden ser factibles para una ESCO.

G. Los sistemas de refrigeración central para edificios pueden ser una alternativa a un conjunto de sistemas mini-split

Aún más limitado en alcance que los distritos térmicos, es la provisión de enfriamiento centralizado para un solo edificio. De hecho, MSEF ya tiene experiencia en este aspecto, con la instalación de un sistema de refrigeración central en un edificio de oficinas, perteneciente a la cadena Q-Office en Medellín. El edificio está ocupado por diferentes empresas. MSEF proporciona el aire condicionado a cada uno, utilizando una tecnología de control y medición que permite a los usuarios controlar su demanda de frío, y que MSEF cobra a los usuarios según la cantidad de "frío" consumido. En este caso, la nueva tecnología comprende un sistema mejorado de control y monitoreo, acompañado por un modelo comercial diferente. En el futuro, el sistema de aire acondicionado central también podría incluir una tecnología de enfriamiento diferente, como el enfriamiento por absorción para reducir aún más la huella de carbono del enfriamiento de los edificios. Incluso si el sistema de enfriamiento central se basa en la compresión de vapor, podría basarse en un refrigerante que no sea HFC, incluido el R-32. También podría ser con el refrigerante 1234YF. Además, el sistema central podría tener un COP más alto en comparación con un conjunto de sistemas mini-split.

H. Existen muchas tecnologías para la refrigeración y el aire acondicionado de los supermercados

Los supermercados requieren la refrigeración o congelación de muchos productos vendidos, por lo que este subsector de edificios comerciales es uno de los más intensivos en el uso de energía. Además, en altitudes más bajas, en las regiones intertropicales de ALC, los grandes supermercados necesitarían aire acondicionado durante todo o la mayor parte del año. Las tiendas más pequeñas pueden no tener aire acondicionado, mientras que, en la



parte sur de América del Sur, el aire acondicionado sólo se necesitaría durante una parte del año.

Los equipos de refrigeración unitarios (por ej., Refrigeradores y congeladores independientes ("Stand-alone")) instalados dentro de los supermercados generan calor que se libera dentro del espacio acondicionado, lo que se suma a la demanda de aire acondicionado, donde están presentes, o sobrecalentado los interiores donde no existen. Un equipo unitario eficiente reduciría esta demanda de enfriamiento, proporcionando así un ahorro de energía adicional. Las vitrinas abiertas aumentan el uso de energía del equipo involucrado, lo que lleva a una mayor liberación de calor en el espacio acondicionado. Mientras que algunos supermercados usan refrigeradores y congeladores cerrados, otros continúan usando vitrinas abiertas, lo que lleva a un consumo de energía adicional para la refrigeración y el aire acondicionado. Una ESCO no puede cambiar la pérdida real o percibida de ventas de puertas de vidrio u otras puertas transparentes a vitrinas. Sin embargo, siempre que sea posible, la ESCO debe fomentar el uso de vitrinas y gabinetes cerrados.

En cuanto al equipo utilizado para refrigeración y congelación, hay disponible una amplia gama de refrigerantes. Varios estudios indican que los equipos de eficiencia energética que utilizan hidrocarburos, CO2 transcrítico y posiblemente R-290 (hidrocarburo) como refrigerantes alternativos pueden tener el menor impacto de calentamiento equivalente total (total equivalent warming impact, TEWI). Se debe tener en cuenta que la cantidad total de hidrocarburos dentro de un espacio debería limitarse debido a consideraciones de inflamabilidad. Además, dado que muchos de los estudios se realizaron en supermercados ubicados en climas templados, donde existen una mayor demanda de calefacción de espacios, no se puede suponer que los resultados de la selección óptima de los equipos sean válidos en ALC. Se necesitarían instalaciones piloto regionales y estudios de casos documentados para determinar las tecnologías óptimas para los supermercados en las diferentes regiones de ALC.

Si bien no se recomiendan las unidades de exhibición de alimentos abiertos, todavía se usan ampliamente, y hay una serie de proveedores de equipos que usan hidrocarburos (De Rigo⁶⁸), CO₂ (Hillphoenix, Hussmann) y posiblemente incluso equipos de enfriamiento de estado sólido (Grener Systems). De sebe tener en cuenta que el uso de energía de las vitrinas abiertas depende de la temperatura ambiente, y los fabricantes no proporcionan datos de rendimiento. Por lo tanto, habría una mayor necesidad de medir el rendimiento in situ en las instalaciones de prueba y determinar no solo el uso directo de energía del equipo, sino también el impacto energético en el aire acondicionado.

Para el aire acondicionado de supermercados, como en cualquier aire acondicionado, el calor se rechaza fuera de la envolvente térmica del edificio, por ejemplo, a través de equipos montados en el techo. Las cámaras frigoríficas en los grandes centros de distribución de alimentos mantienen los alimentos a temperaturas de refrigeración (4°C) o congelados (-18°C). Nuevamente, el calor se rechaza fuera de las habitaciones refrigeradas. En otros supermercados, las vitrinas de alimentos también se pueden enfriar de esta manera,

68



rechazando el calor fuera de la envolvente térmica del edificio. En Colombia, Imbera, Indufral e Inducol ofrecen equipos con R-290 para aplicaciones pequeñas en retails. Tener en cuenta que el uso de energía de las vitrinas abiertas depende de la temperatura ambiente, y los fabricantes no proporcionan datos de rendimiento. Por lo tanto, habría una mayor necesidad de medir el rendimiento in situ en las instalaciones de prueba y determinar no solo el uso directo de energía del equipo, sino también el impacto energético en el aire acondicionado.

Para el aire acondicionado del supermercado, como en cualquier aire acondicionado, el calor se rechaza fuera de la envoltura térmica del edificio, por ejemplo, a través de equipos montados en el techo. Las cámaras frigoríficas en los grandes centros de distribución de alimentos mantienen los alimentos a temperaturas de refrigeración (4°C) o congelados (-18°C). Nuevamente, el calor se rechaza fuera de las habitaciones refrigeradas. En otros supermercados, las vitrinas de alimentos también se pueden enfriar de esta manera, rechazando el calor fuera de la envoltura térmica del edificio. En este caso, cualquier pérdida de frío de las unidades de visualización (por ejemplo, a través de aberturas de puertas o porque no hay puertas) contribuirá al aire acondicionado del edificio, sin un uso significativo de energía adicional, ya que el calor se rechaza fuera del edificio y no agrega a la carga de enfriamiento del aire acondicionado. La eficiencia energética tanto de las unidades de exhibición de alimentos como de los sistemas de aire acondicionado de los supermercados sigue siendo alta para minimizar la electricidad utilizada para la refrigeración.

Las unidades de exhibición de alimentos que se enfrían centralmente, con rechazo de calor fuera de la envolvente térmica del edificio, deben construirse en el sitio, y son más apropiadas en el momento de la construcción de nuevos supermercados y durante refacciones importantes. Los sistemas de refrigeración construidos en el sitio permiten una opción más amplia en el tamaño de los componentes y el refrigerante en comparación con los equipos de enfriamiento unitarios enchufables.

I. Se debe realizar el seguimiento de los avances tecnológicos

La tecnología de refrigeración ha evolucionado con el tiempo, con los avances más recientes motivados por la mitigación del cambio climático, a través de una mayor eficiencia energética, así como alternativas a los refrigerantes con alto GWP. Por lo tanto, una revisión, como este informe, debe actualizarse periódicamente, tal vez dos veces al año, para garantizar que se incorporen nuevas ofertas del fabricante en la elección del equipo y el sistema. Además, algunos productos pueden no estar disponibles comercialmente en la región de ALC. Como estos pueden ser relevantes para la región, se debe alentar a los fabricantes a ampliar su cobertura geográfica.

Algunas tecnologías de refrigeración mencionadas en esta revisión se consideraron no disponibles comercialmente. Sin embargo, algunas de estas tecnologías, especialmente la refrigeración por evaporación mejorada con desecante y la refrigeración por estado sólido, pueden volverse comerciales en un futuro próximo, ampliando la elección de tecnologías de refrigeración.



J. Deben rastrearse las barreras a tecnologías específicas

Hemos observado que ciertas tecnologías no están disponibles en la región de ALC, para una variedad de barreras, incluidas las regulaciones del país, por ejemplo, restricciones sobre refrigerantes "nuevos", como R-32 en aire acondicionado y hidrocarburos como refrigerantes, etc. Los fabricantes pueden limitar su oferta de productos porque la demanda histórica de ciertas tecnologías ha sido limitada. La existencia de tales barreras debe analizarse con el fin de alentar su eliminación cuando sea posible.

K. Revisar y actualizar el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de rendimiento energético en todos los países de ALC

El rendimiento térmico del edificio es clave para reducir el uso de energía para el aire acondicionado (y para la calefacción). Algunos países de ALC han tomado medidas para mejorar el rendimiento térmico del edificio, incluido el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de rendimiento energético (minimum energy performance standards, MEPS). Este informe solo incluyó una breve revisión de las medidas nacionales. Antes de realizar inversiones en cualquier país, estas normas deben ser revisadas para garantizar que los equipos tengan la capacidad adecuada para ser compatibles con la demanda de aire acondicionado.

L. Revisar y actualizar los factores de emisión para la generación de electricidad en cada país de ALC

La combinación energética para la generación de electricidad en cada país y región interconectada está fuera del alcance de una revisión de tecnologías para refrigeración y aire acondicionado. Sin embargo, la reducción de emisiones a través del ahorro de energía eléctrica, dependerá de las fuentes de generación eléctrica, y especialmente del factor de emisión para la generación de electricidad, así como de las pérdidas de transmisión y distribución. El factor de emisión para algunos países de ALC se incluye en este informe. Sin embargo, dado que el valor cambia a medida que se agregan nuevas plantas de generación a la red y se eliminan las plantas viejas, el factor de emisión varia con el tiempo. El impacto de estos cambios debe ser rastreado anualmente. Además, se debe tener en cuenta que las tecnologías de enfriamiento limpias tendrían un mayor impacto en países o regiones con mayor factor de emisión, donde los combustibles fósiles líquidos constituyen una parte importante de la generación de energía, como en las islas del Caribe y en algunos países de Centroamérica.

M. Revisar y actualizar las tarifas de electricidad

Las tarifas de electricidad no son parte de ninguna revisión tecnológica. Sin embargo, la viabilidad comercial de muchas tecnologías de enfriamiento eficientes en energía depende de las tarifas de electricidad. Por lo tanto, las tarifas de electricidad deben revisarse y actualizarse, especialmente para aquellos grupos de usuarios con el mayor potencial para la aplicación de tecnologías de refrigeración limpias, por ejemplo, edificios comerciales y públicos, refrigeración comercial, etc. Las nuevas tecnologías pueden ser más relevantes para las instalaciones en países con tarifas altas. Sin embargo, esta experiencia permitiría



demostrar las tecnologías y adquirir madurez en la región de ALC, permitiendo su aplicación también en otros países.



Referencias y bibliografía adicional

Nota: Este informe se editó para que sea más corto y más legible. Sin embargo, en aras de la exhaustividad, se han mantenido todas las referencias de la versión más larga, ya que muchas de ellas proporcionan información adicional sobre los temas discutidos.

Abhyankar, N., Shah, N., Park, W. Y., & Phadke, A., 2017. Accelerating Energy Efficiency Improvements in Room Air Conditioners in India: Potential, Costs-Benefits, and Policies. Lawrence Berkeley National Laboratory report LBNL-1005798. http://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005798.pdf

ABNT, 2005. NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT, 2013. NBR 15.575: Edifícios habitacionais - Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

AES/CLASP, 2008. Adviesbureau voor Energiestrategie (AES) con la participación de Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP). "Diseño de un Programa de Etiquetado y Normalización de Eficiencia Energética". Informe Final para Secretaría de Energía de la Nación Argentina.

Aire Caribe, 2018. Acondicionamiento de aire usando enfriamiento evaporativo, como medida de impacto ambiental. Air Caribe, S.A., Colombia.

Amrane, K., 2013. "Overview of AHRI Research on Low GWP refrigerants," Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute.

Antunes, A.H.P. & Bandarra Filho, E.P., 2016. "Experimental investigation on the performance and global environmental impact of a refrigeration system retrofitted with alternative refrigerants" *International Journal of Refrigeration*, vol. 70, pp. 119-217.

Arias Gaviria, J., Larsen, E.R., & Arango Aramburo, S., 2018. "Understanding the future of Seawater Air Conditioning in the Caribbean: A simulation approach". *Utilities Policy*, vol. 53 pp. 73–83.

ASHRAE 2019A, ASHRAE Standard 15: "Safety Standard for Refrigeration Systems". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Available together with Standard 34 at https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-15-34

ASHRAE 2019B, ASHRAE Standard 34:. "Designation and Safety Classification of Refrigerants". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Available together with Standard 15 at https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-15-34



ASHRAE, 2016. ASHRAE Standard 62.1-2016. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

Bell, I.H., Domanski, P.A., McLinden, M.O., & Linteris, G.T., 2019. "The hunt for nonflammable refrigerant blends to replace R-134a". *International Journal of Refrigeration*, vol. 104, pp. 484-495.

Byrne, P., Fournaison, L., Delahaye, A., Ouméziane, Y.A., Serres, L., et al., 2015. "A review on the coupling of cooling, desalination and solar photovoltaic systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47, pp.703-717.

CAEM, 2016. Inventario de consumo y uso de SAO y sustancias alternativas a las SAO en Colombia (Metodología "Top-down"), como mínimo para el periodo 2008 - 2015 y su distribución en los diferentes sectores/subsectores. Corporación Ambiental Empresarial, Colombia.

CAF, 2015a. "A pre-feasibility study for deep seawater air-conditioning systems in the Caribbean". Informe preparado por Makai Ocean Engineering Inc. para CAF- Latin America Development

Bank.

https://esmap.org/sites/esmap.org/files/Caribbean_SWAC_Final_Report_01-10_web.pdf

CAF, 2015b. Programa Regional de Enfriamiento Urbano para América Latina y el Caribe. Presentation. https://www.caf.com/media/8177/caf.pdf

CAF, 2017. "Sea water air conditioning in the Caribbean". Workshop in St. Michael, Barbados, March 6. https://www.slideshare.net/caribank/sea-water-air-conditioning-in-the-caribbean.

Calm, J., 2008. "The next generation of refrigerants – Historical review, considerations, and Outlook". *Int. J. Refrigeration*, vol. 31, pp. 1123-33.

CIBSE, 2012. "Absorption cooling". Data Sheet 7. Chartered Institution of Building Services Engineers.

Collins J., 1959. "The history of district heating". District Heat, vol 44, no. 4, pp. 154-61.

Daikin, 2016. Daikin's position on the Kigali Agreement for HFC phase down. https://www.daikin.com/csr/EN Kigali Agreement_Daikin_Stance_FINAL.pdf

Daikin, 2018A. Daikin's Policy and Comprehensive Actions on the Environmental Impact of Refrigerants. https://www.daikin.com/csr/information/influence/daikin_policy-en.pdf

Daikin, 2018B. "Daikin Latin America Operations Positioned for the Future of HVAC." Presentación de Daikin para MGM Innova, Agosto 2018



Del Valle Méndez, S., 2019. "Estudio de mercado para determinar el potencial de negocio de la implementación de tecnologías de enfriamiento de bajo impacto ambiental en México". Segundo Reporte de Avance a MGM Innova,19 agosto 2019.

Devis Morales, A., Montoya Sánchez, R.A., Andrés F. Osorio, A.F., & Otero Díaz, L.J., 2014. "Ocean thermal energy resources in Colombia" Renewable Energy, vol. 66, pp. 759-769.

Di Bella, F.A., Weaver, A., & Osborne, C., 2017. "Comparison of R134a and R1234ze for New Chiller Systems and for Fluid (Drop-In) in Existing Systems". https://www.conceptsnrec.com/hubfs/Tech_Papers/Comparison%20of%20R134a%20and%20for%20Fluid%20(Drop-In)%20in%20Existing%20Systems.pdf, accessed 19 August 2019

Domanski, P.A., McLinden, M.O., Kazakov, A.F., Brown, J.S., Brignoli, R., Heo, J., & Wojtusiak, J., 2018. "Review of Refrigerants Evolution", presentado en 13° IIR G. Lorentzen Conference of Natural Refrigerants, Valencia, June 18-20. Abstract in https://www.nist.gov/publications/review-refrigerants-evolution

Dutt, G.S., 1994. "Illumination and sustainable development, Part I: Technology and economics", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 1, No. 1, pp. 23-35, May.

Dutt, G.S., 1995. "Energy-efficient and environment-friendly refrigerators". *Energy for Sustainable Development*, Vol. 2, No. 5, 57-68, Jan.

Dutt, G.S., 2002. *Libro ELI de Iluminación Eficiente*. Coauthor, editor and compiler. Programa de Iluminación Eficiente (Efficient Lighting Initiative, ELI) Argentina, IFC/GEF Project. May 2002. Versión revisada, 2005, con material adicional, que incluye guías para estudiantes y maestros, disponible en http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html#indice-pdf.

EPM, 2016. Proyecto Distrito Térmico La Alpujarra. Presentación. Empresas Públicas de Medellín. Facilitado a MGM Innova por Jose Luis Restrepo Castrillon, EPM.

EPM, 2018. Distrito Térmico La Alpujarra. Presentación. Empresas Públicas de Medellín. http://www.promigas.com/Es/BEO/Noticias/Documents/DTLA%20%20Foro%20de%2 0operaciones%20Promigas%20-%20EPM.pdf

GABC, 2017. Towards zero-emission efficient and resilient buildings. Global Status Report 2016. Global Alliance on Buildings and Construction.

Garrett, S.L. & Backhaus, S., 2000. "The power of sound". *American Scientist*, Nov.-Dec. https://www.americanscientist.org/sites/americanscientist.org/files/20057710337_306.p

GIZ, 2018. International Safety Standards in Air Conditioning, Refrigeration & Heat Pump. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.



Goetzler, W., 2007. "Variable Refrigerant Flow Systems". ASHRAE Journal, April, pp. 24-31.

González Martínez, J.E., 2018. "Distritos Térmicos de Frío - El Futuro del Confort en Colombia". https://www.linkedin.com/pulse/distritos-t%C3%A9rmicos-de-fr%C3%ADo-el-futuro-del-confort-en-juli%C3%A1n-eduardo/

Halwatura, R.U. & Jayasinghe, M.T.R., 2007. "Strategies for improved micro-climates in high-density residential developments in tropical climates". *Energy for Sustainable Development*, vol. 11, no. 4, pp. 54-65.

Hay, H. & Yellott, J.I., 1969. "Natural air-conditioning with roof ponds and movable insulation". *ASHRAE Journal*, vol. 75, Pt. 1, p. 165-177.

Hinicio-Tractebel, 2018. Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un Distrito Térmico en Cartagena. Promoción de cinco Distritos Térmicos en Colombia.

Hootman, T., 2013. *Net zero energy design. A guide for commercial architecture*. John Wiley & Sons.

Hunt, J.D., Byers, E., & Santos Sánchez, 2019. "Technical potential and cost estimates for seawater air conditioning" *Energy*, vol. 166, pp. 979-988

IEA, 2017. Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing energy technology transformations. International Energy Agency. Disponible en https://www.iea.org/etp/

IEA, 2018. The Future of Cooling. Opportunities for energy- efficient air conditioning. International Energy Agency. 92 pp. Disponible en https://webstore.iea.org/the-future-of-cooling

IGES, 2019. List of Grid Emission Factors version 10.4. Institute for Global Environmental Strategies. Disponible en https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

IRENA, 2017a. Renewable Energy in District Heating and Cooling: A Sector Roadmap for REmap, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.



https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Renewable-energy-in-district-heating-and-cooling.

IRENA, 2017b. Renewable Energy in District Heating and Cooling: Case Studies. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Islam, M.A., Srinivasan, K., Thu, K., & Saha, B.B., 2017. "Assessment of total equivalent warming impact (TEWI) of supermarket refrigeration systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, pp. 26973-983.

Kabeel, A.E., Abdelgaied, M., & Feddaoui, M., 2018. "Hybrid system of an indirect evaporative air cooler and HDH desalination system assisted by solar energy for remote areas". *Desalination*, vol. 439, pp. 162–167

Karampour, M. & Sawalha, S., 2017. Energy efficiency evaluation of integrated CO₂ transcritical system in supermarkets: A field measurements and modelling analysis. *International Journal of Refrigeration*, vol. 82, pp. 470–486

KDHC, 2010. Information provided by Korea District Heating Corporation to MGM Innova for the preparation of CDM new methodology for the project "Introduction of a new LNG based cogeneration system in Hwasung branch of Korea District Heating Corporation, for supply of heat to a district heating system, and electricity to the power grid".

Khattar, M.K. & Brandemuehl, M.J., 2002. Separating the V in HVAC: A dual-path approach. *ASHRAE Journal*, vol. 44, May, pp. 37-42.

Kozubal, E., Woods, J., Burch, J., Boranian, A., & Merrigan, T., 2011. "Desiccant Enhanced Evaporative Air-Conditioning (DEVap): Evaluation of a New Concept in Ultra Efficient Air Conditioning". Technical Report NREL/TP-5500-49722, US National Renewable Energy Laboratory (NREL). https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49722.pdf.

Lamúa, M., (Sin fecha)"Refrigeración evaporativa: eficiencia energética y seguridad medioambiental". Disponible en

https://www.elaireacondicionado.com/articulos/refrigeracion-evaporativa-eficiencia-energetica-y-seguridad-medioambiental

Lamúa Soldevilla, M., 2008. "El enfriamiento evaporativo, respetuoso con el medio ambiente", Revista Tecnica Industrial (España). http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-45-el-enfriamiento-evaporativo-respetuoso-medio-ambiente.aspx

MADS, 2017. "Principios de la gestión de residuos posconsumo". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Boletín Residuos Posconsumo*, Nº 1. Nov.

Makai, 2004. Sea water air conditioning: a basic understanding" Makai Ocean Engineering. "http://www.makai.com/brochures/Seawater%20Air%20Conditioning%20by%20Makai.pdf



Makai, 2015. "An introduction to seawater air conditioning". Makai Ocean Engineering. https://www.makai.com/brochures/Makai%20Seawater%20Air%20Conditioning%20Brochure%202015_9_17.pdf

Makhnatch, P., 2015A. "In short about R1234ze". Department of Energy Technology, (Sueco) Royal Institute of Technology.

https://www.kth.se/en/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/projekt/koldmedier-med-lag-gwp/low-gwp-news/kort-om-r1234ze-1.561807

Makhnatch, P., 2015B. "Understanding refrigerant flammability". Department of Energy Technology, (Swedish) Royal Institute of Technology.

https://www.kth.se/en/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/projekt/koldmedier-med-lag-gwp/low-gwp-news/nagot-om-koldmediers-brannbarhet-1.575938

Mayekawa, 2013. "Line-up of Natural Five". Presentation at the 15th European Conference on the Latest Technology in Air conditioning and Refrigeration Industry. Milano, Italy.

Meier, A., 1993. "Refrigerator energy use in the laboratory and in the field", Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, USA, May.

MGM Innova, 2019. Formulación de una NAMA para el sector de Aire Acondicionado en Colombia - Proyecto Distritos Térmicos en Colombia. Esta NAMA comprende muchos "entregables".

Miranda C., 2008. "Sistemas de Refrigeração em plataformas offshore com o uso de Agua". Graduation Project. Rio de Janeiro: Federal University of Rio de Janeiro.

MMA, 2014. "Proyecto diseño del programa de regeneración para la implementación de centros de regeneración recuperación, reciclaje, y acopio de gases refrigerantes en Chile." Informe Final. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/01/08-Anexo-6-Informe-Final-Proyecto-diseno-del-programa-de-regeneracion-1.pdf

Molina, M.S. & Rowland, F.S., 1974. "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone". *Nature*, vol. 249, pp. 810-812. https://www.nature.com/articles/249810a0

Mota-Babiloni, A., Navarro-Esbrí, J., Barragán-Cervera, A., Molés, F., Bernardo Peris, B. & Verdu, G., 2015. *International Journal of Refrigeration*, vol. 57, pp. 186-196.

Mylona, Z., Kolokotroni, M., & Tassou, S.A., 2017. "Frozen food retail: Measuring and modelling energy use and space environmental systems in an operational supermarket" *Energy and Buildings* 144, pp. 129–143



Nicchi, F., Tanides, C.G., & Lavoria, M., 2015. "Low carbon technology demand: effects of using electric heat pumps instead of natural gas heating in Buenos Aires". 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18 June.

NREL, 2010. "Energy Saving A/C Conquers All Climates". US National Renewable Energy Laboratory. https://www.nrel.gov/news/features/2010/1531.html

Park, W. Y., Shah, N. & Chao Ding, Y. Q., 2019. "Challenges and Recommended Policies for Simultaneous Global Implementation of Low-GWP Refrigerants and High Efficiency in Room Air Conditioners" Energy Analysis and Environmental Impacts Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. https://ies.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1003671.pdf

Peterson, R., 2016. "6 Benefits of a CO₂/NH₃ Cascade System". https://www.manufacturing.net/blog/2016/02/6-benefits-co2-nh3-cascade-system, accessed 17 August 2019.

Prasad, C.R., Dutt, G.S., Sathyanarayan, S.R.C., & Kuppu Rao, V. "Studies in sky-therm cooling". *Proc. Indian Acad. Sciences*, Vol. C2, Part 3, pp. 339-356.

Qian, S., Hwang, Y., Radermacher, R., & Takeuchi, I., 2015. "An overview of thermoelastic cooling technology" IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol. 33 - No. 4. https://heatpumpingtechnologies.org/publications/an-overview-of-thermoelastic-cooling-technology/

Reindl, D., 2014. "An introduction to ammonia refrigeration systems". Presentación. http://www.ashrae4greenville.com/resources/Newsletter/2014/Intro-to-Ammoni-Refrigeration.pdf, accessed 17 August 2019.

Sachs, H.M., 1994. "A strategic view of the market transformation opportunity", Workshop on Market Transformation, Skamania, Washington, August.

Sallent, P., 2018. "Uso de Hidrocarburos en Sistemas de Refrigeración y Bomba de Calor: ¿Quimera o Realidad?" Presentation at UNDP Atmosphere Conference: Business Case for Natural Refrigerants, Madrid.

http://www.atmo.org/presentations/files/5ba227f6819f81537353718LlHRG.pdf

Sawalha, S., Karampour, M., & Rogstam, J., 2015. "Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part I: Analysis of CO₂ trans-critical refrigeration systems" *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 633e647

Sawalha, S., Piscopiello, S., Karampour, M., Manickam, L., & Rogstam, J., 2017. "Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part II: Analysis of HFC refrigeration systems and comparison to CO₂ trans-critical". *Applied Thermal Engineering*, vol. 111, pp. 170–182.



SE-NOM-023-ENER, 2018. Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado. Norma Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Secretaría de Energía, México, 17 de julio.

Smith Quintero, R., con Arango Aramburo, S., Chejne Jana, F. & Olaya Morales, Y., 2017, "Caracterizar la oferta y la demanda de energía térmica en Colombia; y evaluar las opciones técnicas y económicas de sustitución desde la perspectiva de implementación de proyectos de distritos térmicos", Informe elaborado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Takeuchi, I., 2017. "Compact Thermoelastic Cooling System: 2017 Building Technologies Office Peer Review"., accessed August 2019.

Tanides, C.G., 2017. "Eficiencia energética: Top Ten Argentina", Presentación en el Día Mundial de la Eficiencia Energética, 5 de marzo.

UNC, 2017. "Caracterizar la oferta y la demanda de servicios de energía térmica en Colombia; y evaluar las opciones técnicas y económicas de sustitución desde la perspectiva de implementación de proyectos de Distritos Térmicos". Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Informe preparado para Empresas Públicas de Medellín.

UNEP, 2007. 2006 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps. Technical Options Committee – 2006 Assessment. United Nations Environment Programme Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya.

UNEP/GEF, 2018. Accelerating investment in efficient and renewable district energy systems in Chile. United Nations Environment Programme, Global Environment Facility. https://www.thegef.org/sites/default/files/web-documents/10087_PIFReviewSheet.pdf

UNEP/IEA, 2017. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017. United Nations Environment Programme and International Energy Agency.

UNEP/Ozone Action, 2019. "Enforcing Licensing System for HCFC Trade Control Beyond the Customs Check Points". Editorial, 5 July.

https://www.unenvironment.org/ozonaction/news/editorial/enforcing-licensing-system-hcfc-trade-control-beyond-customs-check-points

UNEP/TEAP, 2019. Decision xxx/5 task force report on cost and availability of low-GWP technologies/equipment that maintain/enhance energy efficiency, vol. 4. United Nations Environment Programme. Report of the Technology and Economic Assessment Panel. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. http://conf.montreal-protocol.org/meeting/oewg/oewg-41/presession/Background-Documents/TEAP_May-2019_Task_Force_Report_on_Energy_Efficiency.pdf



UTO, 2017. Inventario nacional de equipos de refrigeración y aire acondicionado que se importan, producen e instalan en el país, y de las sustancias refrigerantes contenidas en estos. Unidad Técnica Ozono; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.

Visser, K., 2002. "Carbon dioxide (CO₂) for the food processing and cold storage industries". The Journal of the Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating (AIRAH). http://www.hydrocarbons21.com/files/pdf_309.pdf, accessed 17 August 2019.

Wang, X. & Amrane, K., 2014. "AHRI Low Global Warming Potential Alternative Refrigerants Evaluation Program (Low-GWP AREP) – Summary of Phase I Testing Results".

https://pdfs.semanticscholar.org/2a3c/df730ca45cd0bc9d0402a3aaa311f2df1284.pdf

Werner, S., 2017. "International review of district heating and cooling", *Energy*, vol. 137, pp. 617-631.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421730614X?via%3Dihub

World Bank, "Four things you should know about sustainable cooling", http://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/23/four-things-you-should-know-about-sustainable-cooling, 23 mayo 2019, consultado 1 de junio 2019.

Wu, W., Wang, B., Shi, W., & Li, X., 2014. "An overview of ammonia-based absorption chillers and heat pumps". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 681–707.

Xu, Z.Y. & Wang, R.Z., 2016. "Solar-powered absorption cooling systems". *Advances in Solar Heating and Cooling*, pp. 251-298.



Apéndice A. Etiquetado y normas de eficiencia energética para edificios

Una forma de promover la eficiencia energética en los edificios, especialmente en el aire acondicionado y calefacción, es a través de etiquetas de eficiencia energética y estándares mínimos de rendimiento energético (minimum energy performance standards, MEPS).

País	Norma	Nombre y / o breve descripción	Comentarios y relevancia para las ESCO
Argentina	IRAM 11900/ 2017 y 2019	Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo	Aplicación solo a edificios residenciales, poco relevantes para las ESCO
Argentina	IRAM 11507-6: 2018	Calificación y Etiquetado de Carpintería de Obra (Ventanas exteriores)	Solo para ventanas. Bajo evaluación. Software de evaluación: https://etiquetadoventanas.energia.gob.ar/
Brasil	RTQ-C, 2010, mod 2012, 2013, and 2014	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.	Sistema de etiquetado de eficiencia energética
Colombia	RITE 2017	Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones	Limitado a instalaciones. Incluye estándares para aislamiento de tuberías, pero no para envoltura térmica
Costa Rica	INTE 06-12- 01:2014/Enm 1:2017	Construcción. RESET. Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico.	Incluye criterios de sostenibilidad, donde la eficiencia energética comprende algunos elementos. No especifica aislamiento térmico.
México	NOM-008- ENER-2001	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.	Para la envolvente térmica de los edificios, no es muy relevante para las ESCO
México	NOM-011- ENER-2006	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo	Efficiency of air conditioners, central, packet and split. Eficiencia de equipo de aire acondicionado: central, unitario y split



		central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.	
México	NOM-018- ENER-2011	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.	Solo para materiales no relevantes para ESCO
México	NOM-020- ENER-2011	Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional.	Aplicable solo a edificios residenciales, no relevante para ESCO

Además de las normas obligatorias nacionales, existen procesos para la certificación voluntaria de la eficiencia energética y otros parámetros de sostenibilidad del edificio. El más conocido es el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) desarrollado por el Consejo de Construcción Verde de EEUU (US Green Building Council), que conduce al Instituto de Certificación de Construcción Verde (Green Building Certification Institute). La certificación LEED se ha extendido a edificios en muchos países de América Latina, incluidos Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú. Representaciones del Green Building Council existen en la mayoría de los países de ALC, algunos de los cuales se enumeran a continuación.

País	Nombre local	Sitio web
Argentina	Argentina Green Building Council	https://www.argentinagbc.org.ar/
Brasil	Construindo um futuro sustentavel	
Chile	Chile Green Building Council (Chile	
	GBC)	
Colombia	Consejo Colombiano de Construcción	https://www.cccs.org.co/wp/
	Sostenible (CCCS)	
Costa Rica	Consejo de Construcción Verde de Costa Rica	https://www.gbccr.org/
México	incluye Sustentabilidad para México	https://www.gbci.org/mexico,
	(SUMe), Green Building Council for	
	México, y Green Business Certification	
	Inc.	

Brasil

Si bien existen estándares de eficiencia energética de edificios para edificios residenciales (RTQ-R), los más relevantes aquí son los de edificios comerciales y públicos: RTQ-C



(Requisitos técnicos de calidad para niveles de eficiencia energética para edificios comerciales y públicos) ⁶⁹. También hay un Manual de aplicación para RTQ-C⁷⁰.

También hay un programa de etiquetado para la eficiencia energética de los edificios. A continuación, se muestra un ejemplo de la etiqueta para edificios comerciales y públicos⁷¹.



También hay una etiqueta "Selo PROCEL" (sello PROCEL) para la eficiencia energética de los edificios de, aplicable a edificios que exceden un cierto nivel de eficiencia, incluyendo estar en la clase de eficiencia A para la envolvente térmica, la iluminación y el aire acondicionado⁷². A continuación, se muestra un ejemplo de un sello PROCEL, que acompaña a la etiqueta de eficiencia energética.

 $^{^{69}\ \}underline{\text{http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica/regulamentos}}$

⁷⁰ http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02 1.pdf

⁷¹ Una breve introducción se puede encontrar en http://pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica

Detalles en http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAE}







Ejemplo de etiquetado energético para edificios



Apéndice B. Más allá de la envolvente térmica: otras medidas para reducir la demanda de energía para enfriar edificios

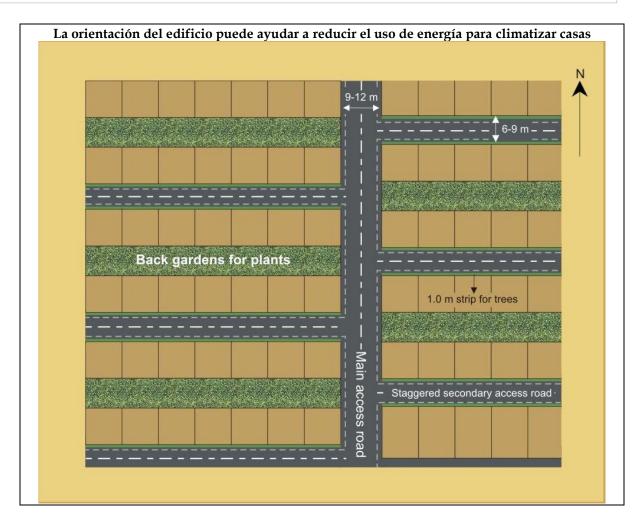
Las normas de rendimiento energético del edificio (Building energy performance standards, BEPS), como se describe en el Apéndice A, son importantes en el consumo de energía del edificio.

La Alianza Global para Edificios y Construcción (Global Alliance for Buildings and Construction) identificó nueve prioridades clave en una hoja de ruta (UNEP/IEA, 2017, p. 13), la mayoría de las cuales son relevantes para el uso de energía para el aire acondicionado de los edificios, incluidos los edificios y el entorno urbano, como resaltado en la lista a continuación:

- 1. Utilizar políticas de planificación urbana para impactar la forma y la compacidad de los edificios para permitir una menor demanda de energía y una mayor capacidad de energía renovable.
- 2. Aumentar la tasa de renovación energética del edificio y aumentar el nivel de eficiencia energética en los edificios existentes.
- 3. Aumentar la absorción de emisiones operativas netas cero para edificios nuevos y existentes, incluso a través de soluciones a nivel de sistema, como distritos térmicos sin carbono.
- 4. Reducir la energía operativa y las emisiones a través de herramientas mejoradas de administración de energía y creación de capacidad operativa.
- 5. Integrar las energías renovables y reducir la huella de carbono de la demanda energética en los edificios.
- 6. Reducir el impacto ambiental de los materiales y equipos en la cadena de valor de edificios y construcción adoptando un enfoque de ciclo de vida.
- 7. Colaborar con iniciativas globales para reducir la demanda de energía de electrodomésticos, iluminación y cocina.
- 8. Reducir los riesgos de los edificios relacionados con el cambio climático adaptando el diseño del edificio y mejorando la resiliencia.
- 9. Apoyar la capacitación, incluidas herramientas educativas e informativas para defender los edificios y la construcción sostenibles.

Las técnicas de enfriamiento pasivo, no cubiertas por las normas de rendimiento energético (building energy performance standards, BEPS) del edificio, podrían incluir la orientación del edificio, el diseño del espacio urbano, el uso de árboles y otra vegetación alrededor de los edificios, así como los tejados. Vea el recuadro a continuación sobre cómo la orientación de calles y edificios puede reducir la demanda de calefacción y aire acondicionado en las casas.





El sol se mueve a través del cielo de este a oeste, y se ubica más bajo en el cielo en invierno que en verano. Por lo tanto, en latitudes moderadas a altas, las ventanas orientadas al sur en el hemisferio norte permiten que el sol de invierno caliente un edificio, mientras que el sol más alto de verano puede bloquearse fácilmente con un toldo en las ventanas del sur. Incluso en lugares tropicales de baja altitud, sin necesidad de calentar el espacio y una razón para mantener el calor solar afuera, las ventanas orientadas al norte y al sur son preferibles a las orientadas al este o al oeste. Las oportunidades para beneficiarse de la orientación del edificio no tienen costo, siempre que las ventanas se puedan orientar adecuadamente. Para las casas en pequeñas parcelas, esto requiere que las calles estén orientadas de ciertas maneras. La ilustración muestra un plan de subdivisión de tierras altamente deseable para casas bajas de alta densidad. Si bien el plan se propuso para climas tropicales, el mismo esquema de orientación también sería apropiado para latitudes más altas en los hemisferios norte y sur.

Energy for Sustainable Development, vol. 11, no. 4, ilustración de la contraportada y texto por Gautam S. Dutt, editor de revista, basado en el trabajo de Halwatura and Jayasinghe, 2007.



Apéndice C. Empresas seleccionadas y proveedores de tecnología de enfriamiento adecuados para inversiones en América Latina y el Caribe

Se compararon varias tecnologías de enfriamiento en una hoja de Excel "181204_Technology list from 29oct workhsop_review CF.xlsx", preparado para un taller realizado el 29 de octubre de 2018⁷³. Proporciona una breve revisión de las tecnologías más relevantes.

Las tecnologías enumeradas en la tabla de Excel incluyen algunas aplicaciones (llamadas "Primary segment" en la tabla de Excel) que no son relevantes para la presente revisión. Éstas incluyen:

- Transport Refrigeration Road (Refrigeración en el transporte por carretera)
- Farm and Pack houses (Graneros y casas de animales)

Las aplicaciones restantes se abrevian de la siguiente manera (las abreviaturas provienen de los términos completos en inglés):

Com.	Refrigeración Comercial						
CSFP	Cold Storage and Food Processing (Almacenamiento en frío y						
	procesamiento de alimentos)						
CSPH	Cold Storage and Pack Houses (Almacenamiento en frío y casas de						
	empaque)						
Dom.	Refrigeración Domestica						
D, C and	Refrigeración Doméstica, Comercial y de Transporte						
T							
HMCM	Household, Medical, Commercial, Military (Hogareño, Médico,						
	Comercial, Militar)						
Ind.	Refrigeración Industrial						
Unit.	Unitary Air Conditioners (Equipos compactos de aire acondicionadores						

Las tecnologías enumeradas en la lista anterior se han etiquetado con un nivel de preparación tecnológica (Technology readiness level, TRL), originalmente definido por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration, NASA), pero que desde entonces se ha aplicado a otras áreas tecnológicas. En general, los números TRL más altos indican tecnologías más maduras. La definición original de la NASA⁷⁴ pasó del Nivel 1 – "Principios básicos observados e informados" al Nivel 7 – "Adecuación del sistema validada en el espacio". El archivo Excel citado anteriormente, proporciona sus propias definiciones, como se enumeran a continuación.

Solo los TRL 8 y superiores se han seleccionado en la lista abreviada aquí, como suficientemente maduros para representar oportunidades de inversión en el futuro cercano, y comprenden:

-

⁷³ The exact details of the workshop are not available. It was likely a K-CEP workshop. The Excel file was made available to MGM Innova as part of background documentation for the K-CEP grant.

⁷⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Technology readiness level



TRL 8 - Producto desarrollado

TRL9 - En producción

TRL10 - Oferta madura

Por lo tanto, se excluyeron las siguientes categorías:

TRL1-3 - Viabilidad teórica

TRL4 - Demostrador de laboratorio

TRL5-6 - Primeras pruebas de campo

TRL7 - Ensayos a escala

La tabla de Excel, citada anteriormente, incluía muchas más columnas, con información sobre la ubicación de la empresa, el tamaño de la empresa definido por el número de empleados y el sitio web. Es evidente que varias empresas se limitaron a un solo país (por ejemplo, India o Kenia), por lo que tampoco son relevantes para ALC. La Tabla 15 proporciona una breve lista de las empresas y tecnologías restantes, con comentarios sobre cada alternativa, utilizando el siguiente código de color:

No relevante para empresas de servicios energéticos en ALC Probablemente no relevante Posiblemente relevante

Como se señala en la columna de comentarios de la Tabla 15 a continuación, es probable que muy pocas tecnologías sean relevantes para la inversión de MSEF u otras ESCO que operan en ALC. Estos incluyen dos proveedores de sistemas basados en CO₂ como refrigerante (Green & Cool⁷⁵; Enex⁷⁶), un sistema de control para A/A (Smartcool⁷⁷), una empresa madura que ofrece almacenamiento de energía de hielo (Ice Energy⁷⁸) y un producto que proporciona refrigeración desde abajo en exhibidores de productos abiertos (Cool Plates de Grener Systems⁷⁹). Estas empresas/tecnologías se destacan en verde a continuación y se analizan con más detalle en el texto principal de este informe. Varias otras empresas y tecnologías podrían ser relevantes y se destacan en amarillo a continuación.

-

⁷⁵ https://www.greenandcool.com/en/products-overview/

⁷⁶ https://www.enex.it/en/

⁷⁷ https://smartcool.net/

⁷⁸ https://www.ice-energy.com/commercial-industrial/

⁷⁹ https://www.coolplates.nl/en/



Tabla 15. Lista seleccionada de empresas y tecnologías para proporcionar el aire acondicionado y refrigeración (comentarios traducidos).

				Segmento	Estado de	
No	Empresa	Tecnología	Tipo de tecnología	primario	desarrollo	Comentarios, incluidos de MGM Innova
2	Sure Chill	Sure Chill	PCM New Applications	Com.	TRL9	Inversión reciente de £ 5 millones. Proporciona enfriamiento por "potencia constante" utilizando la formación de hielo como regulación. El hielo como material de cambio de fase.
3	Cold Hubs	Cold Hubs	VCC - Controls & Cycle Optimisation	Com.	TRL9	Empresa nigeriana de energía solar, para el almacenamiento en frío de alimentos con energía solar.
5	Optimised Thermal Systems	VapCyc	VCC - Controls & Cycle Optimisation	Com.	TRL9	Herramientas de simulación y diseño de ciclos.
7	Polysolar	Building Integrated PV	Shade/Reduced Solar Gain	Other	TRL9	Sistemas fotovoltaicos (FV) integrados a ventanas integradas y productos de vidrio.
9	Smartcool	EC03 & ESM	VCC - Controls & Cycle Optimisation	Unit.	TRL10	Sistema de control con HVAC y aplicaciones de refrigeración.
10	Haier	SolarChill	PCM - New Applications	Com.	TRL10	Solar FV con almacenamiento de energía como hielo. Para el almacenamiento de vacunas.
11	Palfridge (The Fridge Factory)	SolarChill	PCM New Applications	Com.	TRL10	Solar FV con almacenamiento de energía como hielo. Fabricante sudafricano de pequeños equipos.
12	Vestfrost	SolarChill	PCM New Applications	Com.	TRL10	Solar FV con almacenamiento de energía como hielo. Fabricante de equipos especializados.
13	Green & Cool	CO ₂ Systems	VCC - Refrigerant Selection	Com.	TRL9	Fabricante del sistema de enfriamiento por CO ₂
14	Enex	CO ₂ Systems	VCC - Refrigerant Selection	Com.	TRL9	Fabricante del sistema de enfriamiento por CO ₂
15	SolabCool	Solabcool	Absorption Chilling	Unit.	TRL 8	Calor a frio + recuperación de agua
16	Purix	Purix	Absorption Chilling	Unit.	TRL 8	Energía solar, equipos de pequeño tamaño
21	Cooltech	Magnetic		Dom.	TRL 8	Efecto Magneto Calórico, sin refrigerante. El producto puede no estar disponible comercialmente todavía. http://www.cooltechapplications.com/our-solution.html



22	Enwave	Thermal Energy Storage	Heat Sinks (e.g. ground source, LNG)	Unit.	TRL9	Sistema de distrito térmico (calefacción y aire acondicionado) con agua del lago.
23	Cristopia (ciat)	Cristopia	PCM New Applications	Chillers	TRL9	Materiales de cambio de fase para almacenar frío.
24	GuardTop	CoolSeal	Shade/Reduced Solar Gain	Other	TRL10	Sellador a base de emulsión para asfalto y pavimentos.
26	Ice Energy	Ice Bear	PCM New Applications	Unit.	TRL10	Una de las empresas originales de integración de hielo y el A/A.
28	Axiom Energy	Refrigeration Battery	PCM New Applications	Com.	TRL 8	Proporciona servicios y software de gestión de edificios.
29	Ecozen	Ecofrost	PCM - New Applications	Com.	TRL 8	Cámara integrada de frío con energía solar con eutécticos para pequeños agricultores
33	Mitticool	Clay Refrigerator	PCM New Applications	Dom.	TRL9	Explota el efecto de enfriamiento por evaporación del agua. Fabricante indio de refrigeradores pequeños.
34	Aldelano	Aldelano Solar ColdBox	VCC - Controls & Cycle Optimisation	Ind.	TRL 8	Cámaras de frío integradas con sistemas FV: los detalles del ciclo de refrigeración no están claros casi con certeza VCC. Para aplicaciones fuera de la red.
36	Dulas	Freeze-Free	PCM - New Materials	Com.	TRL9	Alternativa con materiales de cambio de fase (PCM, phase change materials) al agua para congeladores solares. Equipamiento de pequeño tamaño.
37	Dulas	Solar Refrigerator	PCM - New Applications	Com.	TRL9	Refrigerador solar parte del grupo de ofertas de la OMS, algunos desarrollos en evidencia de PCM más allá del hielo básico. Aplicaciones especializadas de pequeño tamaño.
40	Weltevree	Ground Fridge	Heat Sinks (e.g. ground source, LNG)	Dom.	TRL 8	"Pre-fab root cellar" (bodega de raíces prefabricada)
44	Emerald Environmenta 1 Technologies	Geo3	Heat Sinks (e.g. ground source, LNG)	Chillers	TRL9	Geo3: sistema de bomba de calor geotérmica modular para aplicaciones de tipo chiller. Otros productos son para aplicaciones especializadas, por ejemplo pistas de hielo.



49	Ozefridge	Ozefridge	PCM New Applications	Dom.	TRL 8	Sistema combinado eutéctico y de baja tensión para aplicaciones móviles. Pequeño fabricante australiano de pequeños equipos.
52	Monodraught	COOL- PHASE	PCM New Applications	Unit.	TRL9	PCM en la integración de equipos compactos de A/A con sistema de control propietario https://www.monodraught.com/products/natural-cooling/cool-phase
53	PCM Products	PlusICE Eutectics	PCM - New Materials	Com.	TRL 8	Empresa de formulación de PCM (controvertida con Hubbard)
55	Yazaki Corporation	Absorption Chiller	Absorption Chilling	Chillers	TRL10	El grupo tiene intereses en sistemas eléctricos (por ejemplo arneses fotovoltaicos y automotrices), así como en equipos de climatización,
58	Toro Water Air Thermal Technologies Corp	Split path air conditioning	VCC - Air Handling	Unit.	TRL9	Opera separando las funciones de deshumidificación y enfriamiento. Filial india de una empresa canadiense, pero la empresa india parece ser anterior.
59	Hubbard	Simply Air	Heat Sinks (e.g. ground source, LNG)	Com.	TRL9	Rechaza el calor al exterior, no dentro de la tienda. MGM no pudo encontrar mucha información sobre los productos.
60	Phoebus Energy	Hydrabalance	Heat Sinks (e.g. ground source, LNG)	Chillers	TRL9	Utiliza el calor rechazado del A/A para calentar el agua, también provee enfriamiento al ciclo de refrigeración del sistema de A/A para reducir el consumo de energía.
65	Phononic	Evolve	Peltier Effect	Com.	TRL 8	Efecto Peltier de enfriamiento en estado sólido. MGM: para centros de datos y otras aplicaciones especializadas, probablemente debido a su pequeño tamaño. El efecto Peltier tiende a ser un enfriamiento menos eficiente.
69	Software Motor Company	Software Commutated Motors	VCC - Air Handling	Unit.	TRL9	Motor de reluctancia conmutado con mejoras de eficiencia. También se integra con los sistemas de gestión de edificios.



70	Fahrenheit	Adsorption Chilling with Zeolite	Adsorption Chilling	Chillers	TRL9	Ofrece materiales de adsorción alternativos para una mayor compacidad. Calor residual para el enfriamiento. Calor y electricidad combinados. Calor solar para enfriamiento.
71	Grener Systems Nederland BV	Cool Plates	New categories (e.g. micro- emulsions)	Com.	TRL9	Enfriamiento puntual de alimentos frescos desde abajo. Uso en tiendas de frutas / verduras y supermercados. El proceso de enfriamiento no se explica en la información del fabricante holandés, quizás es enfriamiento termoeléctrico
73	MetaFridge Vaccine Refrigeration	MetaFridge	PCM - New Applications	Com.	TRL 8	Refrigerador de vacunas diseñado para hacer frente a fluctuaciones de potencia extremas, componentes electrónicos endurecidos y almacenamiento integral de hielo. Fabricado por Qingdao Aucma Global Medical Co Ltd de China



Apéndice D. Recopilación del IIEC de tecnologías de enfriamiento eficientes y limpias

El Instituto Internacional para la Conservación de la Energía (International Institute for Energy Conservation, IIEC)⁸⁰ enumeró una serie de tecnologías de enfriamiento limpio de acuerdo con las siguientes categorías:

- Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos.
- Refrigeración comercial
- Refrigeración Doméstica No relevante
- Refrigeración doméstica, comercial y de transporte.
- Farm and Pack houses (Graneros y casas de animales). No relevante
- Refrigeración doméstica, médica, comercial y militar. No relevante
- Equipos compactos de aire acondicionado

Algunas de las categorías no son relevantes para las ESCO que operan en ALC, como se señaló anteriormente. La compilación del IIEC incluyó una breve descripción de las tecnologías. Los de las categorías relevantes se copian a continuación. La breve descripción proporcionada por el IIEC en su compilación ha sido copiada de los sitios web de las empresas y no es adecuada para la evaluación de las diferentes tecnologías.

En nuestra revisión de la lista, podemos excluir algunas empresas debido a (a) el enfoque del país, por ejemplo, India o Kenia; (b) dirigido a pequeñas empresas en países pobres; (c) enfriamiento pequeño alimentado por energía solar. Las tecnologías restantes más relevantes, que se muestran en letra más grande en la descripción a continuación, son:

- Sistema de enfriamiento para alimentos frescos y mariscos (Cool Plates)
- Sistemas de CO₂ Unidades de refrigeración (Enex)
- Sistemas de refrigeración transcríticos: sistema de refrigeración (Green & Cool)
- Aire acondicionado de camino dividido Manejo del aire (Toro Water Air Thermal Technologies Corp)

-

⁸⁰ http://www.iiec.org/coolingdemo-technologies#catid720



Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos

Tecnología

Energy efficient refrigerated storage - Cycle Optimisation (InspiraFarms)



InspiraFarms suministra una solución altamente adaptable de almacenamiento refrigerado y procesamiento de alimentos con eficiencia energética para las empresas agrícolas que enfrentan problemas de reducción de pérdidas, confiabilidad energética y acceso al mercado.

La tecnología proporciona 30m^2 - 120m^2 con temperaturas de 2-14 °C, espacio de almacenamiento de refrigeración y procesamiento de alimentos automatizado, controlado y monitoreado remotamente que se puede adaptar tanto en tamaño como en diseño específico para satisfacer las necesidades.

Solar cool cube - Off-grid Solar powered cold rooms (Dgrid Energy)

DGridEnergy es una empresa de beneficios sociales con sede en los Estados Unidos. Nuestra misión es proporcionar soluciones de energía renovable que expandan los negocios, mejoren los medios de vida y empoderen a las comunidades mediante el desarrollo de una cadena de suministro refrigerada para productos sensibles a la temperatura en los mercados emergentes.

Cámara refrigerada potenciada con energía solar y eficiente que se puede expandir a medida que crecen sus necesidades.

Ecofrost - Portable, solar powered cold rooms (Ecozen solutions)

Ecofrost es una cámara refrigerada portátil alimentada con energía solar con capacidad de almacenamiento de 5 toneladas que funciona con un eficiente almacenamiento de energía térmica para proporcionar respaldo de más de 30 horas. Está destinado a ser utilizado para el enfriamiento en la granja y el almacenamiento de productos justo después de la cosecha. Con una amplia gama de control de temperatura, es ideal para almacenar frutas, verduras, flores y otros productos perecederos.

Refrigeracion Comercial

Tecnología

Low ammonia charge system (Association of Ammonia Refrigeration)

La refrigeración industrial con amoníaco se está utilizando en muchas instalaciones y ahora está a punto de crecer significativamente en la India. Para el uso eficiente de la refrigeración con amoníaco, el conocimiento adecuado, la seguridad y la capacitación son importantes para las personas y organizaciones involucradas.



Tecnología

Cooling System for fresh product and seafood (Cool Plates)



El sistema de enfriamiento de Coolplates es un sistema modular que enfría alimentos frescos, mariscos frescos en hielo en escamas desde abajo. Los productos mantienen su condición óptima por más tiempo y son de libre acceso. El sistema es simple y rápido de instalar en la mayoría de los entornos de tiendas. Todo lo que necesitas es una conexión de 220/240 volt. El sistema Coolplates se puede instalar en exhibidores de tiendas existentes o en una unidad de presentación de refrigeración separada. Según la situación y el tamaño de la unidad de visualización, la construcción del sistema requiere una o más horas. La construcción modular del sistema permite alinear la posición de las placas frías a la altura deseada.

CO₂ Systems - Refrigeration Units (Enex)

Desde que se fundó Enex en 2004, ha estado diseñando y desarrollando sistemas de refrigeración exclusivamente de alta eficiencia, utilizando fluidos refrigerantes naturales, en particular el dióxido de carbono (CO₂). Enex ha sido la primera empresa con esta misión y logró revolucionar todo el sector de la refrigeración. Por esta razón, hoy en día la empresa se considera una excelencia tecnológica y puede presumir de un papel de liderazgo en los mercados de refrigeración comercial e industrial.

Transcritical refrigeration systems - Cooling System (Green & Cool)

Green & Cool es un proveedor líder mundial de sistemas de refrigeración transcríticos que utiliza dióxido de carbono (CO₂) ecológico como refrigerante. Además del rendimiento ambiental sobresaliente, las unidades Green & Cool ofrecen una economía superior de por vida y alta confiabilidad, además de ser muy fáciles de usar. Green & Cool ha desarrollado una moderna refrigeración por CO₂ para ser una alternativa comercialmente atractiva. Los sistemas de CO₂ se desarrollan para proporcionar a las empresas que tienen requisitos de refrigeración menos exigentes, como pequeñas tiendas y estaciones de servicio, una opción asequible y sencilla, pero respetuosa con el medio ambiente.

Walk-in, solar-powered cold stations - Controls & Cycle Optimisation (Cold Hubs)



Tecnología



ColdHubs es una cámara frigorífica modular "plug and play", con alimentación solar, para almacenamiento y conservación de alimentos perecederos fuera de la red las 24 horas, los 7 días de la semana. Aborda adecuadamente el problema de las pérdidas post-cosecha en frutas, verduras y otros alimentos perecederos. ColdHubs se instala en los principales centros de producción y consumo de alimentos (en mercados y granjas), los agricultores colocan sus productos en cajas de plástico limpias, estas cajas de plástico se apilan dentro de la cámara frigorífica. Esto extiende la frescura de las frutas, verduras y otros alimentos perecederos de 2 días a aproximadamente 21 días. La cámara frigorífica potenciada con energía solar está hecha de paneles

aislantes de 120 mm para retener el frío. La energía de los paneles solares montados en el techo de la cámara frigorífica se almacena en baterías de alta capacidad, estas baterías alimentan un inverter que a su vez alimenta la unidad de refrigeración.

Cooling System - Phase Change Materials New Applications (Sure Chill)

Sure Chill es un nuevo tipo de sistema de enfriamiento. No necesita una fuente de energía constante. En una situación en red con potencia intermitente, funciona perfectamente bien. En una situación fuera de la red, donde se puede usar un panel solar, un refrigerador alimentado por Sure Chill ni siquiera necesita una batería recargable. No debería funcionar, pero lo hace. Y funciona muy bien.

Refrigeración Doméstica, Comercial y de Transporte

Tecnología

Thermal Energy Storage (TES) for low temperature applications (Kehems)

La gestión óptima de la energía es imprescindible en el entorno actual, donde hay una creciente necesidad de ser ecológicos y donde los costos de energía son altos. El sistema TES de Kehems cumple este propósito, ya que aplica el concepto de almacenamiento de energía a todo tipo de requisitos de aire acondicionado, refrigeración y calefacción, lo que permite una gestión eficiente de la energía.

Equipos compactos de aire acondicionado

Tecnología

Split path air conditioning - Air Handling (Toro Water Air Thermal Technologies Corp)

TORO WATT: una empresa canadiense de tecnología de climatización con sede en Ontario, es signataria del Advanced Cooling Challenge, una iniciativa de Clean Energy Ministerial donde TORO WATT se comprometió a introducir un aire acondicionado residencial 50% más eficiente. TORO WATT diseñó y desarrolló el acondicionador de aire de habitación basado en la tecnología de doble vía que utiliza refrigerantes convencionales por el momento, pero redujo la carga de refrigerante en un 50% para la capacidad dada. La producción en masa de estas unidades requiere cambios menores en los procesos de fabricación actuales. El resultado, además de reducir las emisiones de refrigerante en un 50%, también reducirá la huella de carbono del aire acondicionado en un 50%, reduciendo la tensión en el ecosistema ya estresado. Este cambio en realidad será una oportunidad para lograr un efecto de salto tecnológico



Tecnología

("leapfrog") cuando se integra con refrigerantes naturales como hidrocarburos / amoníaco en el aire acondicionado residencial. Esto debería suceder como el siguiente paso lógico y antes.

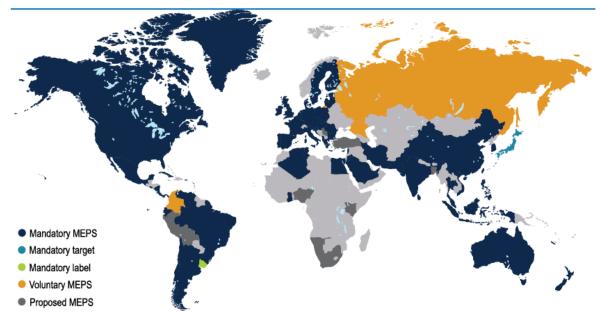
Cool Phase Ventilation System - Phase Change Materials New Applications (Monodraught)

COOL-PHASE es un sistema galardonado de enfriamiento natural y ventilación de baja energía que crea un ambiente interior cómodo, fresco y saludable que puede reducir significativamente los costos de operación de los edificios. El sistema utiliza el concepto de "batería térmica" para capturar y almacenar calor y energía de enfriamiento. Las baterías térmicas utilizan la propiedad de calor latente de un material de cambio de fase (PCM, Phase Change Material) para almacenar grandes cantidades de energía. Este material PCM cambia de fase a temperatura ambiente y se carga y descarga al pasar aire a través de sus baterías térmicas liberando la energía almacenada cuando es necesario. El sistema COOL-PHASE controla las temperaturas interiores y exteriores, los niveles internos de CO₂ y la humedad, y ventila automáticamente el espacio mediante una unidad de tratamiento de aire controlada de forma inteligente.



Apéndice E. Etiquetas y normas de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado

Las etiquetas de eficiencia energética informan a los consumidores sobre la eficiencia energética de los productos que compran, fomentando decisiones más informadas. Muchos países van más allá, al exigir estándares de rendimiento de eficiencia mínima (minimum efficiency performance standards, MEPS), de modo que los productos que no cumplen con estos estándares no pueden comercializarse en el país en cuestión. La siguiente figura muestra una compilación global del estado del etiquetado y las normas con respecto a los equipos de aire acondicionado. Se entiende que las normas son aplicables a equipos unitarios, por ejemplo, equipos mini-split de A/A cuya eficiencia se puede determinar como un todo. Las normas y las etiquetas no se pueden aplicar a los sistemas formados por diferentes componentes, donde la eficiencia del sistema depende de la eficiencia de los componentes y del diseño y la instalación general del sistema.

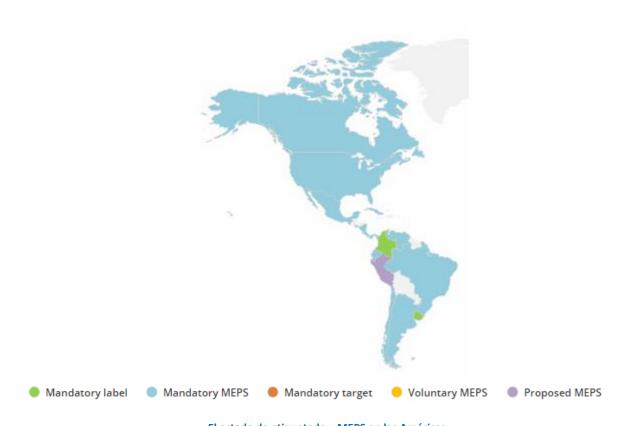


Mapa de estándares de rendimiento de eficiencia mínima (minimum efficiency performance standards, MEPS) y etiquetado Fuente: IEA, 2018, Map 2.3.

Una fuente adicional de datos es:

https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/cooling/, que incluye un mapa (presumiblemente actualizado periódicamente, aunque la fecha no aparece) y un enlace a una hoja de Excel, que enumera el estado de los países con respeto a etiquetado y normas.





El estado de etiquetado y MEPS en las Américas Fuente: seleccionada de mapa en https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/cooling/, 15 agosto 2019.

A continuación, se muestra un resumen de nuestra propia revisión de las reglamentaciones relacionadas con el etiquetado y las normas. Para dos países en la tabla a continuación (Chile y Costa Rica), hemos observado que tienen MEPS, como se indica en la compilación de la AIE anterior, aunque no hemos podido encontrar detalles.

Requisitos de etiquetado y normas en países seleccionados de ALC

(Fuente: Compilación de MGM Innova compilation)

País	Norma		Nombre y/o breve descripción	Comentarios y
				relevancia para ESCOs
Argentina	IRAM 2019	62406	Norma de etiquetado y clases de eficiencia para calefacción y refrigeración, actualizado en 2019 para incluir modelos con inverter además de incluir clases de eficiencia hasta A+++	Sí, relevante, especialmente cuando hay modelos más que eficientes que A estén
				UE.



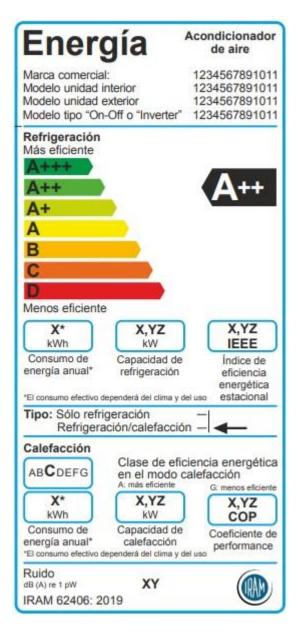
Brasil Colombia	INMETRO / MDIC no. 410 of 16/8/2013 ⁸² RETIQ	SE 0228/2014: Establece como eficiencia mínima para equipos de aire acondicionado de hasta 7 kW ⁸¹ . Norma de etiquetado y clases de eficiencia, para equipos de aire acondicionado tanto compactos como split. Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ): Requisito de etiquetado de eficiencia energética	Todos los modelos vendidos deben ser al menos A en modo refrigeración y al menos C en modo calefacción. Las ESCO pueden elegir modelos de alta eficiencia. La norma no se basa en la de la UE. Las ESCO pueden elegir modelos de alta eficiencia.
Costa Rica	(MEPS)		
Chile México	(MEPS) NOM-021- ENER/SCFI- 2017	Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.	No aplicable a sistemas Split, no relevante.
	NOM-022- ENER/SCFI- 2014	Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.	Refrigeradores comerciales autónomos. Excluye cámaras frigoríficas y enfriadores de bebidas.
	NOM-023- ENER-2018	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.	Para equipos de aire acondicionado split. Sí, relevante.
	NOM026- ENER2015	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado	
Uruguay	UNIT 1170:2009	Eficiencia Energética - Acondicionadores de aire y bombas de calor - Especificaciones y etiquetado	Esta norma es de 2009. No parece haber sido actualizada, por ejempl,o para incluir equipos de tipo inverter.

⁸¹ https://www.argentina.gob.ar/energia/uso-responsable/en-el-living/aire-acondicionado
82 http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf



Argentina

Los procedimientos de medición de eficiencia energética y las etiquetas de eficiencia energética en Argentina se basan en los reglamentos de la Unión Europea (UE). En el caso de los equipos de aire acondicionado, se basan en el Reglamento 626 de la UE de mayo de 2011. A continuación, se muestra la versión más reciente del diseño de la etiqueta, según lo exige la norma argentina IRAM 62406 (2019).



Top ten Argentina publica una lista de los modelos más eficientes. En el caso del aire acondicionado, los modelos se dividen en dos categorías:



- 1. Aire acondicionado (frío solo): actualmente hay 11 modelos⁸³, todos con la calificación A, actualmente el mínimo requerido. Los valores de COP son alrededor de 3.3.
- 2. Aire acondicionado (frío y calor): actualmente con 13 modelos⁸⁴, todos con clasificación A y A, que significa A para frío y A para calor. Aunque se requiere una calificación A para el frío, el requerimiento de calor actualmente es solo de C. Generalmente las clases de eficiencia para el frío y el calor tienden a ser las mismas. Los valores de COP para los 13 modelos son alrededor de 3.3.

Brasil

El sistema de etiquetado brasileño y las clases de eficiencia se muestran en la tabla a continuación, con la calificación A correspondiente a un mínimo de 3.23.

http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores ar split hiwall indicenovo.p df, actualizado 14/08/2018.

La mayoría de los modelos de clase A tienen un COP entre 3.24 y 3.3, mientras que los modelos menos eficientes (clase D) son de alrededor de 2.8, aunque algunos modelos tienen un valor ligeramente inferior, por ejemplo 2.66. La siguiente tabla muestra que la mayoría de los modelos de velocidad fija estaban en las clases A, B o C, mientras que prácticamente todos los modelos de velocidad variable (es decir, el inverter) estaban en la clase A.

CONDICION	ADORES DE AR SPLIT HI-WALL		Data a	tualizaçao:	14/8/2018
Classes	Coeficiente de eficiência		Split H	li-Wall	
Classes	energética (W/W)	Rota	ção Fixa	Rotaçã	o Variável
Α	3,23 <cee< th=""><th>390</th><th>42,5%</th><th>336</th><th>92,3%</th></cee<>	390	42,5%	336	92,3%
В	3,02 < <i>CEE</i> ≤ 3,23	182	19,8%	22	6,0%
С	2,81 < <i>CEE</i> ≤ 3,02	276	30,1%	6	1,6%
D	2,60 ≤ <i>CEE</i> ≤ 2,81	70	7,6%	0	0,0%

México

México ha tenido normas mínimas de rendimiento energético (MEPS) durante muchos años, que cubren los equipos de aire acondicionado, así como muchos otros electrodomésticos y otros equipos. Los valores correspondientes a la actualización de estándares más reciente se muestran a continuación.

⁸³ List updated 27 June 2019.

⁸⁴ List updated 27 June 2019.



Nivel de la REEE, en acondicionadores de aire tipo dividido (Split), descarga libre y sin conductos de aire en México Fuente: SE-NOM-023-ENER, 2018

Capacidad de enfriamiento	REEE
Watts (Btu/h)	Wt/We (Btu/hW)
Hasta 4 101 (13 993)	
Mayor que 4 101 (13 993)	3,37 (11,5)
Hasta 5 859 (19 991,493)	
Mayor que 5 859 (19 991,493)	3,31 (11,3)
Hasta 10 600 (36 168,26)	3,31 (11,3)
Mayor que 10 600 (36 168,26)	3,28 (11,2)
Hasta 19 050 (65 000,505)	0,20 (11,2)

Colombia

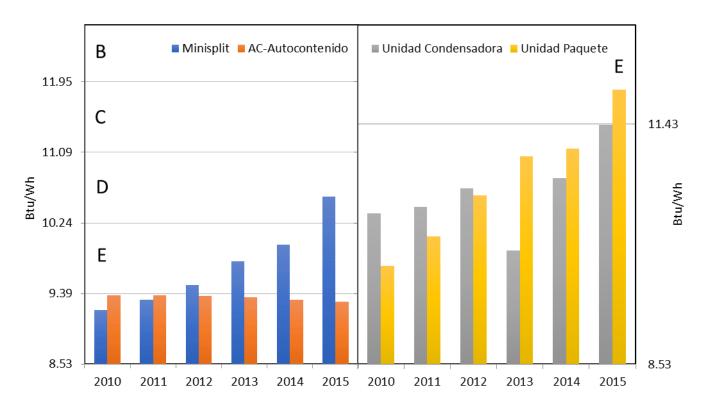
Colombia inició un programa de etiquetado en los últimos años, después de México, Brasil y Argentina. Se llama RETIQ. Sin embargo, los *requisitos de eficiencia son más altos que en los otros países*, y se muestran en la tabla a continuación. Tenga en cuenta que la clase C de Colombia es aproximadamente equivalente a la clase A de Argentina o Brasil.

Rangos de eficiencia energética de acuerdo al RETIQ

Fuente: Gobierno de Colombia, Resolución 41012, 2015, citado en MGM, 2019, Entregable 1, Tabla 1.

Clase		nra recintos (= 10.5 kW)	Equipos unitarios De 3 TR a 5 TR (10.5 to 17.5 kW)		
	Límite inferior Wt/We (Btu/Wh)	Límite superior Wt/We (Btu/Wh)	Límite inferior Wt/We (Btu/Wh)	Límite superior Wt/We (Btu/Wh)	
A	3,75 (12,80)	,	4,75 (16,21)	,	
В	3,50 (11,95)	3,75 (12,80)	4,40 (15,02)	4,75 (16,21)	
С	3,25 (11,09)	3,50 (11,95)	4,05 (13,82)	4,40 (15,02)	
D	3,00 (10,24)	3,25 (11,09)	3,70 (12,63)	4,05 (13,82)	
Е	2,75 (9,39)	3,00 (10,24)	3,35 (11,43)	3,70 (12,63)	

La eficiencia promedio de los equipos mini split de A/A mejoró en los últimos años, como se puede ver a continuación, alcanzando un valor de aproximadamente 10,4 Btu/Wh (COP = 3,0 W/W), que está dentro de la clase D en Colombia, pero la clase B en Brasil.



Evolución de los valores medios de desempeño energético en (Btu/Wh) para cada uno de los tipos de equipo instalados en el período 2010-2015

Fuente: MGM Innova, 2019, Entregable 1, Figura 12.



Apéndice F. Factores de emisión para la generación y consumo de electricidad.

Desde el punto de vista de una actividad de eficiencia energética, el factor de emisión de la red eléctrica se define como el impacto "marginal" del ahorro de energía en las emisiones de CO₂, es decir, cuál es el impacto de un ahorro de electricidad de 1 kWh en las emisiones en la generación eléctrica. Este factor de emisión marginal es diferente del factor de emisión promedio determinado al dividir las emisiones totales de CO₂ en la generación de electricidad por la generación total de electricidad. El factor de emisión promedio en la mayoría de los países latinoamericanos es muy bajo, debido a la gran presencia de la generación hidroeléctrica. Sin embargo, el ahorro de energía eléctrica no afectaría la cantidad de generación hidroeléctrica. Por lo tanto, las centrales hidroeléctricas y otras centrales eléctricas de bajo costo / funcionamiento obligatorio están excluidas de la determinación del factor de emisión marginal para la generación de electricidad. Los factores de emisiones promedio se utilizan en la determinación de los inventarios de GEI para los países, así como para las empresas y otras entidades, ya que reflejan las emisiones promedio para el país.

Para la determinación del este factor emisión para la generación eléctrica, se recomienda el uso de la herramienta metodológica MDL denominada: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system" (Herramienta para calcular el factor de emisión de un sistema eléctrico). Esta metodología presenta varias alternativas para la determinación del factor de emisión "consolidada" a partir de los márgenes de operación (OM) y de construcción (BM). Se recomienda la selección de la Opción "Simple adjusted OM" para la determinación del margen de operación. Las planillas Excel que acompaña la herramienta son útiles al respecto⁸⁵. El margen combinado (CM) es generalmente la media aritmética entre el OM y el BM.

El factor de emisión para el *consumo* de electricidad (o ahorro de energía eléctrica) es algo mayor que el factor de emisión para la *generación*, debido a las pérdidas de transmisión y distribución (transmission and distribution losses, TDL). Dichas pérdidas pueden ser por factores técnicos, relacionados con la impedancia de las líneas de transmisión y distribución, pérdidas de transformadores, etc., o por robo de electricidad, manipulación de medidores, etc., llamadas pérdidas "no técnicas". Aquí consideramos solo las pérdidas técnicas, para relacionar la cantidad de electricidad generada para satisfacer una demanda de electricidad dada.

$$EF_{cons} = \frac{EF_{gen}}{1 - TDL}$$

donde:

nae:

EF_{cons}	=	Factor de emisión el consumo eléctrico
EF_{gen}	=	Factor de emisión para la generación eléctrica
TDL	=	Pérdidas de transmisión y distribución (técnicas)

⁸⁵ Tanto la herramienta metodológica como las planillas Excel se encuentran en https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf/history_view



Varios países publican valores oficiales del factor de emisión nacional, consulte la tabla a continuación y el lado izquierdo de la figura más abajo. En la mayoría de los casos, la versión de la metodología es la misma que la sugerida anteriormente. Sin embargo, Brasil y Chile utilizan datos de despacho instantáneos para calcular el factor de emisiones por hora, con promedios anuales, que se muestran a continuación. Costa Rica publica el factor de emisión promedio⁸⁶, que no toma el enfoque "marginal" del MDL como se recomienda anteriormente. El factor de emisión promedio para Costa Rica es muy bajo (0.0754 tCO₂/MWh), como también lo es para otros países con generación hidroeléctrica significativa (Brasil, Colombia, etc.)

Factor de emisión para la generación de electricidad, según lo publicado por algunos gobiernos de países de ALC Fuentes indicadas en pie de página para cada país

País	Factor	de	Año	Comentarios
	emisión			
	tCO ₂ /MWh			
Argentina87	0.480		2017	Ex-post Operating Margin
Brasil ⁸⁸	0.539		2018	Promedio anual a partir de valores medios
				mensuales publicados
Chile	0.336		2017	Promedio anual
(Central)89				
Chile (Norte	0.773		2017	Promedio anual. Nótese que el norte de Chile
Grande)				(mayoritariamente desértico) no tiene hidro y tiene
				alto factor de emisión
Colombia90	0.367		2017	
Mexico ⁹¹	0.527		2018	
Peru	0.432		2016	Para renovables intermitentes (eólica y solar).
				Fuente: namasenergia.minem.gob.pe 92
Peru	0.412	·	2016	Para toda otra (salvo renovables intermitentes),
				misma fuente.

El Instituto de Estudios Ambientales Globales (Institute of Global Environment Studies, IGES, Japón) compila y publica los factores de emisión de los proyectos MDL registrados de cada país donde hay datos disponibles⁹³.. Los datos se muestran gráficamente en el lado derecho de la figura a continuación, donde hemos agregado Paraguay (que tendría un factor de emisión cero ya que el país consume una parte de la electricidad generada por dos proyectos hidroeléctricos

⁸⁶ http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factoresemision2018/offline/download.pdf

⁸⁷ http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica

⁸⁸ https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html

⁸⁹ http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/

⁹⁰ Resolución UPME 804 (26 de diciembre de 2017). Detalles del cálculo en el documento "Doc calculo del FE del SIN 2016.docx", disponible en Internet.

⁹¹ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442910/Aviso Factor de Emisiones 2018.pdf

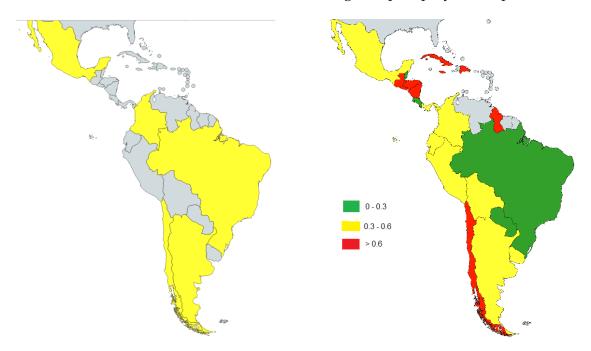
 $[\]frac{http://namasenergia.minem.gob.pe//Content/fileman/Uploads/archivo/Estudios/RER\%20Conectado/EF\%20SEIN\%202016\%20vfinal.pdf}{02016\%20vfinal.pdf}$

⁹³ https://iges.or.jp/en/pub/list-grid-emission-factor



binacionales compartidos con Brasil (Itaipú) y Argentina (Yacyretá). Para algunos países de América Central y del Caribe, el factor de emisión es alto debido al uso extensivo de la generación eléctrica con combustibles fósiles líquidos. La compilación IGES, basada en los proyectos más recientes de MDL, a menudo no está actualizada, y a veces no coincide con los valores nacionales más recientes como se puede ver en la figura siguiente. Además, IGES publica un único factor de emisión nacional, que es apropiado para la mayoría de los países de ALC. Sin embargo, algunos países, por ejemplo Chile, tienen dos redes principales con factores de emisiones muy diferentes, como se puede ver en la tabla anterior. La mayor parte de México está conectada a una red central. Sin embargo, grandes partes de Baja California (península al oeste de México) no están conectadas a la red central y tienen un factor de emisión mucho mayor. Las actividades de eficiencia energética para mitigar el cambio climático son más efectivas en países y regiones con un alto factor de emisiones de la red.

Por lo tanto, siempre que estén disponibles, se deben utilizar los datos nacionales más recientes, teniendo cuidado de incluir un factor de emisiones regional para proyectos específicos.



Factor de emisión para la generación de electricidad, tCO₂/MWh, de acuerdo con la metodología MDL, según lo publicado por los países (izquierda, para Chile basado en el valor de la Red Central) y el factor de emisiones de Margen Combinado compilado por IGES.

Fuente: Izquierda de la tabla anterior, derecha basada en la compilación de IGES (2019): IGES_GRID_EF_v10.4_20190207.xlsx



Apéndice G. Estados Unidos y la inflamabilidad del refrigerante

Estados Unidos tiene reglas mucho más estrictas sobre el uso de refrigerantes inflamables. Esto es más por razones legales que por factores técnicos absolutos, ya que los fabricantes globales ofrecen sus productos tanto en los EEUU como en Europa y en otros lugares, donde el uso de hidrocarburos es común. Como Calm (2008, p. 1130) señaló:

Los refrigerantes de hidrocarburos, especialmente el R-600a (isobutano) y las mezclas de isobutano, han desplazado al R-12 y luego al R-134a y ahora dominan en los refrigeradores domésticos en Europa, pero no en América del Norte y especialmente en los Estados Unidos (UNEP, 2007). Aunque se percibe ampliamente como un problema de seguridad, ese no es el caso de los refrigeradores que tienen cantidades muy pequeñas de carga de refrigerante (generalmente menos de 120 g). Los principales fabricantes de electrodomésticos operan a nivel mundial y no pueden considerar que los hidrocarburos sean seguros en Europa pero no seguros en los EE. UU. Los tamaños típicos de los refrigeradores son más grandes en los EEUU que en Europa, pero son más comparables a los de Japón y Corea, donde el uso de isobutano también está aumentando en refrigeradores y máquinas expendedoras. La distinción radica en las leyes de responsabilidad civil en los EEUU, que llevan a los fabricantes a temer tener que defenderse contra las afirmaciones de daños y perjuicios o contribución a los incendios domésticos dada la disponibilidad de alternativas no inflamables. La situación es bastante diferente en el uso de gas natural y otros hidrocarburos en los aparatos de cocina y calentamiento de agua, para lo cual existe una aceptación general de que una sustancia inflamable es inevitable. Los riesgos de inflamabilidad y explosión generalmente impiden el uso de hidrocarburos en grandes capacidades, excepto en aplicaciones de procesos químicos para los cuales los procesos mismos presentan mayores riesgos y ya están protegidos.

Debido a la mayor preocupación por la inflamabilidad, se han realizado muchas más investigaciones sobre la inflamabilidad del refrigerante, así como una búsqueda de refrigerantes no inflamables en los EEUU.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EEUU (National Institute of Standards and Technology NIST) señaló que la mayoría de las alternativas de refrigerantes de un solo componente con bajo GWP son al menos ligeramente inflamables. "Dado que el número de componentes mezclados puede ser hasta cinco, el número de permutaciones es muy grande", en 2018, NIST propuso el desarrollo de "herramientas analíticas para predecir la velocidad de combustión de las mezclas de refrigerantes para que la industria pueda usarlo para optimizar el mezclas para una inflamabilidad mínima (así como las otras propiedades necesarias)"94.

Ya a mediados de 2019, NIST había llevado a cabo un extenso estudio de modelado para encontrar mezclas de refrigerantes no inflamables para reemplazar el R-134a (Bell et al., 2019). Como se señala en el resumen del documento:

 $^{{\}it 94} \ \textbf{Flammability Metrics for New Low-GWP Refrigerants.} \ \underline{\it https://www.nist.gov/programs-projects/flammability-metrics-new-low-gwp-refrigerants}$



Investigamos las mezclas de refrigerantes como posibles alternativas de bajo GWP (potencial de calentamiento global) para R-134a en una aplicación de aire acondicionado. Llevamos a cabo un exhaustivo examen de las mezclas binarias, ternarias y de cuatro componentes posibles entre una lista de 13 refrigerantes puros que comprenden cuatro hidrofluoroolefinas (HFO), ocho hidrofluorocarbonos (HFC) y dióxido de carbono. El cribado ("screening") se basó en un modelo de ciclo simplificado, pero con la inclusión de caídas de presión en el evaporador y el condensador. Las métricas para la evaluación fueron la no inflamabilidad, bajo GWP, alto COP (coeficiente de rendimiento) y una capacidad volumétrica similar al sistema de referencia R-134a. Si bien ninguna mezcla era ideal en todos los aspectos, identificamos 16 mezclas binarias y ternarias que no eran inflamables (basadas en un nuevo método de estimación) y con COP y capacidad similar a la línea de base R-134a; Sin embargo, la compensación fue una reducción en GWP de, como máximo, 54% en comparación con R-134a. Se identificaron otras siete mezclas que se estimó que eran "marginalmente inflamables" (clasificación ASHRAE Estándar 34 de A2L) con reducciones de GWP de hasta el 99%. Estas 23 "mejores" mezclas fueron simuladas en un modelo de ciclo más detallado.

Dado que el estudio anterior se centró en alternativas al R-134A, no es el más relevante para este informe, ya que otros refrigerantes son más comunes para la refrigeración y aire acondicionado comerciales en ALC.

También de NIST, Domanski et al. (2018) llegó a la siguiente conclusión:

El estudio mostró que las opciones de refrigerante de bajo GWP son muy limitadas, particularmente para fluidos con capacidades volumétricas similares a las de R-410A y R-404A. Los fluidos identificados con buena COP y baja toxicidad son al menos levemente inflamables. La probabilidad de encontrar fluidos de bajo GWP con mejor rendimiento es mínima.



Apéndice H. AHRI Programa de evaluación de refrigerantes alternativos con bajo potencial de calentamiento global

El Instituto Americano de Calefacción y Refrigeración (American Heating and Refrigeration Institute, AHRI) ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de refrigerantes alternativos con bajo potencial de calentamiento global. La lista de informes (que se presenta a continuación) son más relevantes para los fabricantes de equipos. Sin embargo, algunos ensayos comprenden reemplazos de refrigerante de colocación directa ("drop in"), que también son relevantes para el personal de mantenimiento. Es improbable que un reemplazo directo sea relevante incluso para una empresa que invierte en modernizaciones energéticamente eficientes / bajas en GWP de equipos unitarios existentes (máquina de hielo, enfriador de bebidas, etc.) ya que el reemplazo puede reducir el GWP del refrigerante en uso, pero puede no mejora la eficiencia energética. Además, el reemplazo de refrigerante requiere la eliminación y eliminación del refrigerante con alto GWP (y posible agotamiento del ozono), y la infraestructura puede no estar disponible en los países más pequeños de ALC. Algunos ensayos son específicas para calefacción, calentamiento de agua y otras situaciones que no son relevantes para las ESCO en los países de ALC. Las pruebas de calorímetro son más relevantes para los fabricantes de equipos y más allá del alcance de ESCO. Los resultados de los ensayos que probablemente sean relevantes para las ESCO se resaltan en amarillo a continuación.

001: System Drop-in Test of R-410A Alternative Fluids (ARM-32a, ARM-70a, DR-5, HPR1D, L-41a, L-41b, and R-32) in a 5-RT Air-Cooled Water Chiller (Cooling Mode)

002: System Drop-In Test of L-40, L-41a and N-40b in Ice Machines

003: System Drop-In Test of R-32/R-152a (95/5) in Air Source Heat Pump

004: System Drop-in Test of Refrigerant R-32 in Split System Heat Pump (with Addendum)

005: Soft-optimized System Test of Refrigerant R-32 in 3-ton Split System Heat Pump

006: <u>System Drop-in Tests of R-22 Alternative Fluids (ARM-32a, DR-7, L-20, LTR4X, LTR6A, and D52Y) in a 5-RT Air-Cooled Water Chiller (Cooling Mode)</u>

007: System Drop-In Tests of R134a Alternative Refrigerants (ARM-42a, N-13a, N-13b, R-1234ze(E), and OpteonTM XP10) in a 230-RT Water-Cooled Water Chiller

008: System Drop-In Tests of R-134a, R-1234yf, OpteonTM XP10, R-1234ze(E), and N13a in a Commercial Bottle Cooler/Freezer

009: System Drop-In Tests of Refrigerant Blends L-40, DR-7 and ARM-30a in a Trailer Refrigeration Unit Designed for R-404A

010: <u>System Soft-Optimized Test of Refrigerant HFO-1234yf (R-1234yf) in a Split System Heat Pump (with Addendum)</u>

011: Compressor Calorimeter Test of R-410A Alternatives R-32, DR-5, and L-41a

012: <u>System Drop-In Tests of Refrigerant Blends N-13a and AC5 in Bus Air-Conditioning Unit Designed for R-134a</u>

013: <u>System Drop-In Tests of Refrigerant Blends L-20 and D52Y in Bus Air-Conditioning Unit Designed for R-407C</u>

014: System Drop-In Test of Refrigerant Blend ARM-42a in an Air-Cooled Screw Chiller

015: System Drop-In Test of Refrigerant R-32 in a VRF Multi-split Heat Pump

016: System Drop-in Test of Refrigerant Blend R-32/R-134a (95/5), R-32, and DR-5 in Water-To-Water Heat Pump



- **017:** Compressor Calorimeter Test of Refrigerants R-22 and R-1270
- 018: Compressor Calorimeter Test of Refrigerants R-134a, N-13a and ARM-42a
- 019: Compressor Calorimeter Test of Refrigerants R-134a and N-13a
- 020: System Drop-In Tests of Refrigerants R-32, D2Y-60, and L-41a in Air Source Heat Pump
- **021:** Compressor Calorimeter Test of R-404A Alternatives ARM-31a, D2Y-65, L-40, and R-32/R-134a (50/50)
- 022: System Drop-in Testing of R-410A Replacements in Split System Heat Pump
- 023: System Soft-Optimized Test of Refrigerant L-41a in Air Source Heat Pump
- 024: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-5 in a R-410A Scroll Compressor
- **025:** System Drop-in Test of R134a Alternative Fluids R-1234ze(E) and D4Y in a 200 RT Air-Cooled Screw Chiller
- 026: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant R-32 in a R-410A Rotary Type Compressor
- 027: System Drop-In Test of Refrigerant Blend ARM70a and DR-5 in An Air to Water Heat Pump
- **028:** Compressor Calorimeter Test of R-404A Alternative Refrigerant L-40 in Reciprocating Compressors
- **029:** Compressor Calorimeter Test of R-404A Alternative Refrigerant DR-7 in Reciprocating Compressors
- 030: Compressor Calorimeter Test of R-134a Alternative Refrigerant R-1234yf in Reciprocating Compressors
- **031:** System Drop-in Test of Refrigerant R-32 in Split Air-conditioning System
- 032: System Soft-Optimized Test Of Refrigerant D2Y60 in Air Source Heat Pump
- 033: Compressor Calorimeter Test of R-410A Alternative: R-32/R-134a Mixture Using a Scroll Compressor
- 034: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-7 in a R-404A Scroll Compressor
- 035: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-7 in a R-404A Reciprocating Compressor
- 036: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant L-40 in a R-404A Scroll Compressor
- 037: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant L-40 in a R-404A Reciprocating Compressor
- 038: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant L-41b in a R-410A Scroll Compressor
- 039: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant R-32 in a R-410A Scroll Compressor
- **040:** Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-5 in a R-410A Rotary Type Compressor
- **041:** System Drop-in Tests of Refrigerant DR-34 (R-452A) in a Trailer Refrigeration Unit Designed for R-404A
- **042:** System Soft-optimization Tests of Refrigerant R-32 in a 3-ton Split System Air-Conditioner
- **043:** System Drop-in Tests of Refrigerants L-41-1, L-41-2, and R-32 in Water-to-Water Heat Pump
- **044:** System Drop-in Tests of Refrigerant R-32 in Single Packaged Vertical Heat Pump (SPVH)
- **045:** System Drop-in Test of Refrigerant Blends ARM-20b and N-40c (R-448A) in Automatic Commercial Ice Maker Designed for R404A
- 046: System Drop-in Test of Refrigerants R32, DR-5A, L-41-1 and L-41-2 in a Water Chiller
- 047: System Drop-in Test of R-32 and Refrigerant Blends ARM-71a, HPR2A, L-41-2 and DR-5A in a Five-Ton R 410A Rooftop Packaged Unit
- **048:** System Drop-in Tests of Refrigerants N-40 and L-20 in a R-404A Ice Machine
- **049:** Compressor Calorimeter Test of Refrigerant Blend HDR110 in a R-404A Reciprocating Compressor
- **050:** <u>Compressor Calorimeter Test of Refrigerant Blend DR-3 in a R-404A Reciprocating Compressor</u>



051: <u>Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-33 (R-449A) in a R-404A Reciprocating Compressor</u>

052: System Drop-in Tests of Refrigerant Blends ARM-71a, DR-5A (R-454B), HPR2A, L-41-1 (R-446A), L-41-2 (R-447A) in a R-410A Split System Heat Pump

<mark>053: System Drop-In Test of Refrigerant Blend DR-55 in a Five-Ton R-410A Rooftop Packaged</mark> Unit

054: System Drop-In Test of Refrigerants DR-5A, R-32, and L-41-2 in a 2.5-Ton R-410A Heat Pump

055: System Soft-optimization Tests of Refrigerant R-32 in a 6-ton Rooftop Packaged Air-Conditioner

056: <u>System Soft-optimization Tests of Refrigerant R-32, DR-5A, and DR-55 in a R-410A 4-ton Unitary Rooftop Heat Pump-Cooling Mode</u>

057: System Soft-optimization Tests of Refrigerant R-32 in a 2.5 ton Rooftop Heat Pump

058: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-5A in a R-410A Scroll Compressor

059: <u>Compressor Calorimeter Test of Refrigerant L41-1, DR-5A, ARM-71a, D2Y-60 and R-32 in a R-410A Reciprocating Compressor</u>

060: System Drop-in Tests of DR-5A, DR-55, L41-2 and R-32 in Water-To-Air Heat Pump

061: <u>System Drop-in Tests of DR-3, L-20 (R-444B), and R-290 in Air-to Water Heat Pump-Heating Mode</u>

062: <u>Soft-Optimized System Test of Alternative Lower GWP Refrigerants in 1.5-ton Mini-Split Air Conditioning Units</u>

063: System Soft-optimization Tests of Refrigerant R-32, DR-5A, and DR-55 in a R-410A 4-ton Unitary Rooftop Heat Pump-Heating Mode Performance

064: <u>Compressor Calorimeter Test of Refrigerant DR-7 (R-454A) in a R-404A Reciprocating Compressors</u>

065: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant L-41-2 (R-447A) in a R-410A Scroll Compressor

066: Compressor Calorimeter Test of Refrigerant HPR2A in a R-410A Scroll Compressor

067: <u>Compressor Calorimeter Test of Refrigerant ARM-25 in a R-404A Reciprocating Compressors</u>