



ANÁLISIS DE LA GESTIÓN AMBIENTALMENTE RESPONSABLE DE REFRIGERADORES Y CONGELADORES DE USO DOMÉSTICO EN CHILE



Análisis de la gestión ambientalmente responsable de refrigeradores y congeladores de uso doméstico en Chile

Equipo técnico “Programa Leapfrogging chileans market to more efficient refrigerators and freezers”

Karien Volker
Maya Hirsch
Florecia Delgado

Consultora

Katharina Frank

Edición

Paula Larraín
Almendra Morel

Apoyo contrapartes institucionales

- Ministerio de Energía – Marcelo Padilla
- Ministerio del Medio Ambiente – Claudia Guerrero
- Ministerio del Medio Ambiente – Claudia Paratori
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles – Cecilia Moya
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles – Paulina Silva

Diseño y Diagramación

Mauricio Becerra

Publicación
Marzo 2021

Agradecimientos

El presente estudio contó con el apoyo fundamental de los siguientes actores sin los cuales la información recopilada no hubiese sido posible con el detalle y precisión que se presenta: Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Energía, Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), HEAT Consultores, Red Verde Colombia, a la Universidad Técnica Federico Santa María y a todos los gestores de RAEE que contribuyeron en el levantamiento de información cuantitativa y cualitativa presentada en este informe.



Índice

Índice de Figuras	4	10. Tratamiento y aprovechamiento de residuos	33	14. Gestores en Chile para el pretratamiento y tratamiento de refrigeradores y congeladores en desuso	62
Índice de Tablas	4	10.1 Tecnologías de destrucción de SAO			
Índice de Gráficos	4	10.2 Experiencias en LATAM con tecnologías de destrucción de SAO			
Glosario	5	10.2.1 Colombia			
Introducción	6	10.2.2 México			
1. Objetivos del estudio	11	10.2.3 Cuba			
2. Metodología	12	10.2.4 Brasil			
3. Antecedentes	13	11. Experiencias en LATAM con programas de recambio y plantas de tratamiento	42	15. Principales brechas para la gestión de refrigeradores y congeladores en Chile	65
4. Impacto de Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) al Medio Ambiente	14	11.1 Brasil		15.1 Brechas ambientales	
5. Descripción de Refrigerantes	15	11.2 Colombia		15.2 Brechas económicas	
5.1. Refrigerantes Sintéticos		11.3 Ecuador		15.3 Brechas legislativas	
5.2. Refrigerantes Naturales		11.4 México			
6. Calendarios de cumplimiento para la reducción del consumo y producción de SAO	18	Situación actual de los refrigeradores y congeladores en Chile	50	Conclusión y recomendaciones	69
7. Marco regulatorio	20	12. Caracterización de mercado	50	Bibliografía	71
7.1. Marco regulatorio internacional		12.1 Línea base parque instalado			
7.2. Instrumentos regulatorios nacionales		12.2 Caracterización de equipos importados			
Estado del arte del pretratamiento y tratamiento de refrigeradores y congeladores	24	12.2.1 Tipo de refrigerante en equipos importados			
8. Composición de un refrigerador/congelador	25	12.2.2 Cantidad de refrigerante en equipos importados			
9. Etapas del proceso	27	12.2.3 Eficiencia energética en equipos importados			
		12.2.4 Impacto ambiental medido en CO2 equivalente			
		12.3 Caracterización de equipos certificados			
		12.3.1 Tipo de refrigerante en aparatos etiquetados			
		12.3.2 Eficiencia energética de aparatos etiquetados			
		13. Gestión de refrigeradores en Chile	60		
		13.1 Procesos de pretratamiento y tratamiento de refrigeradores y congeladores en Chile			
		13.1.1 Procesos de pretratamiento			
		13.1.2 Procesos de tratamiento			

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución del consumo anual eléctrico según uso (Resultado de 3500 encuestas). Fuente: In- Data SpA, 2018	7
Figura 2. Consumo y metas de HCFC en Chile. Fuente: Unidad de Ozono, MMA, 2018	18
Figura 3. Transición del uso de refrigerantes en la industria mundial. Fuente: Science direct	19
Figura 4. Esquema resumen del proceso de las etapas I y II. Fuente: GIZ Proklima, 2017	27
Figura 5. Fracciones de refrigerador obtenidas luego del proceso de separación mecánica. Fuente: Andritz MeWa	28
Figura 6. Ejemplo de planta de tratamiento de RAEE con gases fluorados o hidrocarburos. Fuente: Gobierno de España	30
Figura 7. Esquema de horno rotatorio. Fuente: Sensotec	35
Figura 8. Identificador de gases por espectroscopía infrarroja. Fuente: Regener Chile	62
Figura 9. Regeneradora de gases. Fuente: Regener Chile	62
Figura 10. Emplazamiento Empresas Gestoras. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 11. Capacidad Utilizada empresas gestoras (2019-2020). Fuente: Elaboración propia	63
Figura 12. Pretratamiento empresas gestoras. Fuente: Elaboración propia	64
Figura 13. Manejo de gases refrigerantes. Fuente: Elaboración propia	64

Índice de Tablas

Tabla 1. Contaminante e impacto ambiental asociado a cada componente. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente	8
Tabla 2. Sustancias peligrosas para la salud humana contenidas en el refrigerador. Fuente: GIZ Proklima	9
Tabla 3. PEL y LPP de sustancias peligrosas presentes en refrigeradores y congeladores. Fuente: Osha.gov	10
Tabla 4. PAO y PCG de refrigerantes y agentes espumantes usados en refrigeradores y congeladores domésticos. Fuente: IPCC 4th Assessment Report, 2007	14
Tabla 5. Datos físicos de algunos refrigerantes. Fuente: Calm, J. M., Houran, G.C. (2011)	17
Tabla 6. Compromisos adheridos por Chile con respecto a cada SAO junto con su acuerdo vinculado. Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 7. Composición detallada de materiales de un refrigerador promedio. Fuente: GIZ Proklima	25
Tabla 8. Estado de aprobación de las tecnologías de destrucción de SAO. Fuente: TEAP	32
Tabla 9. Opciones de reciclaje de materiales recuperados. Fuente: GIZ Proklima	33
Tabla 10. Resumen de tecnologías de destrucción más usadas y sus principales características. Fuente: Elaboración propia	37
Tabla 11. Estado de proyectos piloto para la destrucción de SAO en Latinoamérica. Fuente: EXCOM, 2018	38
Tabla 12. Variación porcentual de clase de EE en importaciones. Fuente: Aduana y SEC	56

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Variación de refrigeradores y congeladores instalados según año y clase de EE	51
Gráfico 2. Equipos importados según refrigerante (2016-2018). Fuente: Aduana	53
Gráfico 3. Unidades importadas según cantidad de refrigerante para cada equipo (2016-2018). Fuente: Aduana	54
Gráfico 4. Cantidad de refrigerante según el tipo de equipo (2016-2018). Fuente: Aduana	54
Gráfico 5. IEE según cantidad de refrigerante en importaciones. Fuente: Aduana	55
Gráfico 6. Unidades importadas anualmente según clase de EE. Fuente: Cruce de datos de Aduana y SEC	55
Gráfico 7. Refrigerante según Clase de EE en equipos importados (2017-2018). Fuente: Cruce de datos de Aduana y SEC	56
Gráfico 8. Unidades y kilotoneladas de CO2 importadas según tipo de refrigerante. Fuente: Aduana	57
Gráfico 9. Unidades certificadas según tipo de refrigerante (2017-2019). Fuente: Cruce de datos de Aduana y SEC	57
Gráfico 10. Unidades certificadas según clase de eficiencia energética. (2017-2019). Fuente: SEC	58
Gráfico 11. Equipos certificados según año y clase (2017-2019). Fuente: SEC	58
Gráfico 12. Marcas con más certificaciones en refrigeradores congeladores (2017-2019). Fuente: SEC	59
Gráfico 13. Equipos certificados según volumen útil (2017-2019). Fuente: SEC	59

Glosario

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno	PP	Polipropileno
ANEEL	Agencia Nacional de Energía Eléctrica	PS	Poliestireno
CAYD	Centros de Acopio y Destrucción de Equipos	PUR	Poliuretano
CCl4	Tetracloruro de carbono	PVC	Cloruro de polivinilo
CFC	Clorofluorocarbono	CFC-11	CFC-11, triclorofluorometano
CI	Corporación Internacional	CFC-12	CFC-12, diclorofluorometano
Clase de EE	Clasificación entre las categorías de G a A++ en función de su índice de eficiencia energética según la Norma Chilena 3000 Of. 2006	HFC-125	HFC-125, pentafluoroetano
CO	Monóxido de Carbono	HFC-134a	HFC-134a, 1,1,1,2- tetrafluoroetano
CO2	Dióxido de carbono	HCFC-141b	HCFC-141b, 1,1-dicloro-1-fluoroetano
CO2 eq.	Equivalencia de dióxido de carbono	HFC-143a	HFC-143a, 1,1,1-trifluoroetano
COP	Compuestos orgánicos persistentes	HCFC-22	HCFC-22, clorodifluorometano
COSUDE	Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación	HC-290	HC-290, propano
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de Chile	HC-32	HC-32, difluorometano
EE	Eficiencia Energética	HC-600a	HC-600a, isobutano
EPS	Poliestireno expandido	R-717	Amoníaco
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica	R-718	Agua
EXCOM	Comité ejecutivo del Protocolo de Montreal	R-729	Aire
GEI	Gases de efecto invernadero	R-744	Dióxido de carbono
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
HCFC	Hidrofluorocarbono	RAL	Instituto Alemán de Aseguramiento de Calidad y Certificación
HF	Fluoruro de hidrógeno	RdB	Recicladores de base
HFC	Hidrofluorocarbono	REP	Responsabilidad Extendida al Productor
HTI	Tecnología de Incineración de Alta Temperatura	RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
IEE	Índice de Eficiencia Energética	RIL	Residuo Industrial Líquido
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (sigla en inglés)	SAO	Sustancia Agotadora de la Capa de Ozono
LPP	Límite Ponderado Permisible	SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustible
MEER	Ministerio de Electricidad y Energías Renovables	SIDREP	Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos
MINSAL	Ministerio de Salud	SINADER	Sistema Nacional de Declaración de Residuos no Peligrosos
NAMA	Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada	SO2	Dióxido de azufre
NH3	Amoníaco	TEAP	Panel de Evaluación Técnica y Económica
N2O	Óxido nitroso	TEWI	Impacto Total Equivalente sobre el Calentamiento Atmosférico
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible	UNACEM	Unión Andina de Cementos
OMC	Organización Mundial del Comercio	URT	Universal Recycling Technologies
ONG	Organización No Gubernamental		
ONUUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial		
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional		
PAO	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono		
PCB	Bifenilo Policlorado		
PCDD	Dibenzo-para-dioxina policlorada		
PCG	Potencial de Calentamiento Global		
PEE	Programa de Eficiencia Energética		
PEL	Límite de Exposición Permisible		
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente		

Introducción

Los equipos de refrigeración doméstica se han posicionado como electrodomésticos imprescindibles en los hogares debido a que son el medio más conveniente y seguro para la conservación de alimentos. Su uso mejora la calidad de vida, puesto que evita las pérdidas de comida y con ello fomenta el consumo diverso de alimentos.

Así lo demostró el estudio de Christian James et al., el cual mostró que la tenencia de un refrigerador doméstico aumenta la probabilidad de comprar frutas y vegetales frescos en el supermercado en un 31%¹. Sin embargo, el empleo de este artefacto trae consigo diversos impactos ambientales que se pueden resumir en directos e indirectos.

Los impactos indirectos representan la electricidad consumida, la cual implica la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes peligrosos provenientes de las plantas generadoras de energía que queman combustibles fósiles.



Por otro lado, los impactos directos provienen de la liberación de gases empleados como refrigerantes y agentes espumantes, particularmente cuando el refrigerador es desechado. Los impactos directos e indirectos se combinan para dar como resultado un Impacto Total Equivalente sobre el Calentamiento Atmosférico (Total Equivalent Warming Impact, TEWI), el cual se mide en términos del equivalente de dióxido de carbono (CO₂ eq.)².

Impacto Indirecto

Durante su vida útil, el impacto indirecto del refrigerador y congelador a través del consumo energético puede llegar a ser considerablemente alto en aquellos aparatos de menor eficiencia energética dado que es un electrodoméstico que debe operar constantemente las 24 horas los 7 días de la semana. El refrigerador/ congelador está presente en el 99,6% de los hogares en Chile, representando uno de los principales consumos eléctricos del sector doméstico del país.

La Figura 1 presenta los usos del consumo anual eléctrico de un hogar promedio en Chile. Dicho análisis se basó en 3.500 encuestas realizadas por In- Data SpA. Se observa que el refrigerador representa el electrodoméstico de mayor consumo, con un 19,2% del total³.

1. Christian James et. al. (2016) *The Use and Performance of Household Refrigerators: A Review*.

2. PNUD (2017). *Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el ambiente y energéticamente eficientes*.

3. In-Data SpA (2018). *Primer Informe de usos finales de la energía. Sector Residencial de Chile*.

4. Ministerio de Energía (2018). *Primer Informe de usos finales de la energía. Sector Residencial de Chile*.

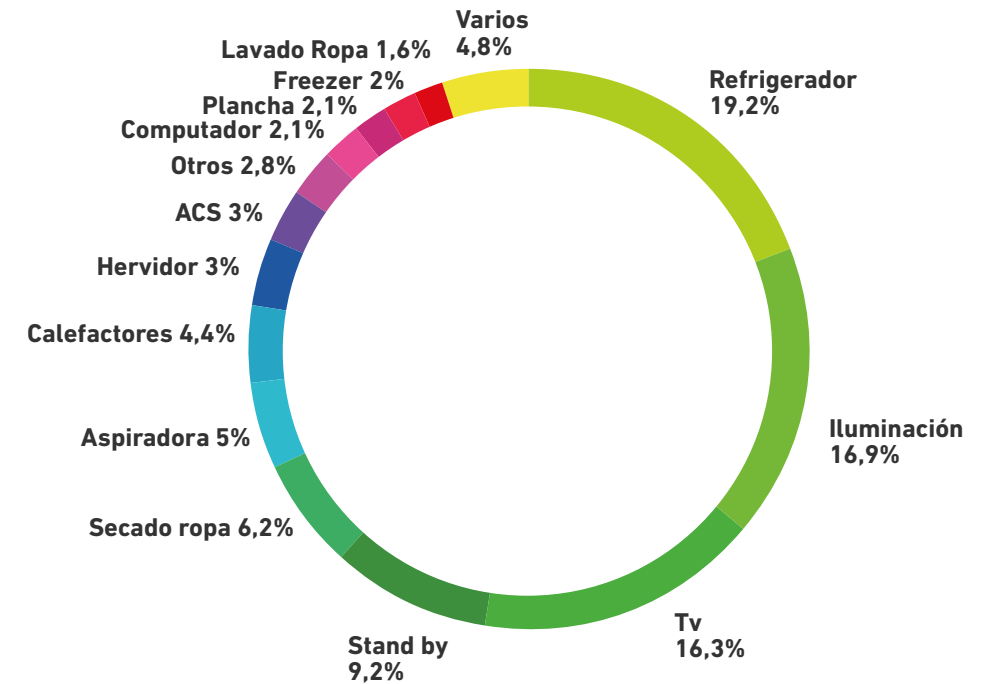


Figura 1. Distribución del consumo anual eléctrico según uso (Resultado de 3500 encuestas). Fuente: In- Data SpA, 2018⁴

Según estimaciones de la Comisión Nacional de Energía (CNE), la demanda energética crecerá en un 83% entre los años 2018 - 2038⁵. La matriz energética primaria de Chile se compone en un 66% de combustibles fósiles (petróleo crudo, gas natural y carbón) los cuales son los principales emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEI)⁶. Dada la matriz energética de Chile, una reducción de la demanda energética tendría un efecto directo en la disminución de los GEI, aminorando los impactos indirectos que generan al ambiente el uso de electrodomésticos, entre ellos, equipos de refrigeración.

Impactos Directos

Como está descrito anteriormente, las unidades de refrigeración también generan un impacto al ambiente al final de su vida útil en caso de no ser gestionadas adecuadamente. Los refrigeradores contienen una serie de componentes peligrosos para el ambiente, tales como los gases refrigerantes y los agentes espumantes (presentes en la espuma de poliuretano (PUR) los cuales representan un daño a la atmósfera, ya sea degradando la capa de ozono y/o contribuyendo al calentamiento global.

5. *Generadoras de Chile AG. (2019). Consumo eléctrico crecerá 83% en 20 años y las energías renovables tendrán un rol clave. <http://generadoras.cl/prensa/consumo-electrico-crecera-83-en-20-anos-y-las-energias-renovables-tendran-un-rol-clave>*

6. *In- Data SpA (2020). Anuario estadístico de energía 2019. <https://bit.ly/2ZZqoRo>*

7. *TEAP (2019). 2018 Assessment Report. <https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>*

8. *Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente (febrero, 2015). Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile Aplicada a los Aparatos Eléctricos.*

9. *Las dioxinas y furanos son sustancias químicas tóxicas persistentes y bioacumulables que pueden generarse de la incineración de algunos componentes del equipo.*

Tabla 1. Contaminante e impacto ambiental asociado a cada componente. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente^{7,8}

Componente	Principales contaminantes	Impacto ambiental	Ubicación
Placas de circuitos impresos (Printed Wire Board, PWB)	Retardantes de llama y metales pesados: Antimonio, plata, cromo, cobre y plomo	Lixiviados con metales pesados afectan la fauna del sistema acuático	Componente electrónico
Retardantes de llama	Polibromobifenilo (PBB) y polibromodifenilo (PBDE)	PBB y PBDE se transforman en dioxinas y furanos ⁹ bajo incineración, tóxicos bioacumulables en animales y persistentes en el medio ambiente	Aditivo incorporado al plástico
Gases refrigerantes	Clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) e hidrofluorocarburos (HFC)	Daño a la capa de ozono (solo CFC y HCFC) y contribución al calentamiento global	Fluido presente en el circuito intercambiador de calor
Espuma aislante	Agente espumante (CFC-11 o HCFC-141b)	Daño a la capa de ozono (solo CFC y HCFC) y contribución al calentamiento global	Material aislante en paredes

Los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC)¹⁰, utilizados como gases refrigerantes, pueden encontrarse solo en los equipos de mayor antigüedad. Según el Grupo de Evaluación Técnica y Económica (TEAP)¹¹, el uso de refrigerantes dañinos para la capa de ozono fue prohibido a nivel global recién durante el 2008¹². Esto implica que aún hay una gran cantidad de equipos con este tipo de refrigerantes en el país que saldrán de uso en un futuro cercano. Esta realidad hace imprescindible entregarles una gestión adecuada para que estos gases no sean liberados a la atmósfera.

Por otro lado, resulta importante la identificación de sustancias peligrosas para la salud humana presentes en el refrigerador, con el propósito de gestionar un tratamiento que resguarde la seguridad del personal encargado. Si bien la recogida y el manejo inicial de las piezas y carcasas de plástico indemnes no deberían implicar exposiciones preocupantes a las sustancias peligrosas, todo el procesamiento posterior sí implica un mayor riesgo de exposición¹³. En la Tabla 2 se muestran las sustancias peligrosas que se pueden encontrar en un refrigerador y su potencial daño a la salud humana:

10. CFC: Clorofluorocarbonos, HCFC: Hidroclorofluorocarbonos. son sustancias agotadoras de la capa de ozono empleadas como refrigerantes de primera generación. Mas información en la sección 2.1

11. El Grupo de Evaluación Técnica y Económica (TEAP debido a sus siglas en inglés) es un panel consultor establecido en 1990 para partes integrantes del Protocolo de Montreal, que provee de información técnica sobre las tecnologías que han sido investigadas y usadas para destruir las sustancias degradadoras de la capa de Ozono, según lo requieran las partes.

12. TEAP (2019). 2018 Assessment Report. <https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

13. PNUMA (2012). Orientaciones sobre las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el reciclaje y eliminación de artículos que contienen éteres de difenilo polibromado (PBDE) enunciados en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.

14. GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano.

Tabla 2. Sustancias peligrosas para la salud humana contenidas en el refrigerador. Fuente: GIZ Proklima¹⁴

Sustancias peligrosas	¿Dónde están contenidas?	¿Por qué son peligrosas?
Plomo	Soldadura	Los metales pesados se acumulan en los tejidos del cuerpo a través del contacto sin protección Daño en el riñón
Cadmio	Contactos Coloración de la carcasa de plástico	Daños al cerebro e incluso la muerte
Mercurio	Termostatos, sensores, interruptores, iluminación	Toxina nerviosa letal en bajas dosis
Cromo hexavalente	Enchapado (tapa metálica) Agente anticorrosivo Pigmento en plásticos	Cancerígeno
Sustancias ignífugas: Bifenilos policlorados Policlorados difenil-éter	Carcasa de plástico e interior Cableado de plástico y cables Tableros de circuito impreso hidroclorofluorocarbonos (HCFC) e hidrofluorocarburos (HFC) Agente espumante (CFC-11 o HCFC-141b)	Cancerígeno

La Tabla 3 indica el nivel de toxicidad o peligrosidad de una sustancia a través de los valores de límite de exposición permisible (PEL por sus siglas en inglés) y límite permisible ponderado (LPP por sus siglas en inglés). El primero es una norma legal determinada por la Agencia de Seguridad y Salud ocupacional de los Estados Unidos (OSHA por sus siglas en inglés) que limita la concentración de un material químico que puede estar presente en el sitio de trabajo¹⁵. En cambio, el límite permisible ponderado se define según el D.S.123/2015, Subsecretaría de Salud, como el valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales¹⁶.

15. Construction Safety Council (2011). Health Hazards in Construction Workbook.

16. Ministerio de Salud. (enero 2015). Decreto 123. <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1074204&idVersion=2015-04-24>

17. OSHA.gov

18. New Jersey Department of Health (2008). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1554sp.pdf>
Oficina de Evaluación de Peligros de Salud Ambientales.

19. (OEHHA). (noviembre, 2016). Efectos del Cromo Hexavalente sobre la salud. <https://behha.ca.gov/media/downloads/faqs/sphexchromiumairfact111616.pdf>

Tabla 3. PEL y LPP de sustancias peligrosas presentes en refrigeradores y congeladores. Fuente: Osha.gov

Sustancias peligrosas	PEL (mg/m ³) ¹⁷	LPP (mg/m ³)
Plomo	0,05	0,05
Cadmio	0,005	0,01
Mercurio	0,01	0,03
Cromo hexavalente	0,005	0,009
Sustancias ignífugas: Bifenilos policlorados Policlorados difenil-éter	γ ¹⁸	-

En la Tabla 3 se observa que el cadmio y el cromo hexavalente son las sustancias con menor límite admisible. La inhalación del cromo hexavalente no solo es cancerígena, sino que también puede producir irritación en nariz, garganta y pulmones, síntomas alérgicos y llagas nasales¹⁹.



1. Objetivos del estudio

Objetivo General:

- Recopilar información sobre la gestión de refrigeradores y congeladores en desuso que sea útil para la generación de estándares y/o normativas específicas en torno al manejo ambientalmente racional de refrigeradores y congeladores en Chile.

Objetivos específicos:

- Identificar y describir el proceso actual de gestión de refrigeradores y congeladores en Chile.
- Comparar la gestión actual de refrigeradores y congeladores en desuso de Chile con países de Latinoamérica que han implementado tecnologías para el tratamiento de estos equipos.
- Identificar oportunidades de tratamiento y reciclaje de refrigeradores y congeladores usados que sean factibles de implementar en Chile para incrementar la tasa de recolección y mejorar la calidad del reciclaje en el país.
- Caracterizar especificaciones técnicas relevantes de los refrigeradores y congeladores importados y comercializados en Chile durante los períodos 2016-2018 que tengan relación con el refrigerante o con la eficiencia energética.
- Buscar correlaciones entre el gas refrigerante y la eficiencia energética para los equipos importados al país en los años 2016 al 2018, de acuerdo con la información trazada disponible.

2. Metodología

El siguiente estudio fue desarrollado en base a información obtenida de distintas fuentes con el fin de entregar información fidedigna, actualizada y neutra que permita realizar un análisis objetivo y real que aporte en la definición de políticas públicas, normativas y acciones concretas en el marco de un desarrollo sostenible en el país. Estas fuentes corresponden principalmente a recursos primarios y secundarios, así como entrevistas directas con una serie de actores relevantes del sector, tanto público como privado, nacionales e internacionales.

El estudio cuenta con un análisis extenso de distintas fuentes bibliográficas que aportan información técnica y científica sobre los temas tratados en el estudio. Con el fin de entregar información basada en experiencias reales, se consultaron y analizaron reportes desarrollados por distintas entidades (públicas, privadas y ONG´s) respecto a distintos programas e iniciativas desarrolladas en las temáticas abordadas en este estudio.

La revisión de bases de datos oficiales del Gobierno de Chile (Superintendencia de Electricidad y Combustibles -SEC, Ministerio de Energía, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Salud y Aduana, principalmente) han permitido una caracterización de mercado contundente como base cuantitativa y cualitativa de la información entregada. Por último, una serie de entrevistas directas con distintos actores ha permitido conocer y entregar mayor detalle respecto a iniciativas, brechas y resultados de distintas acciones llevadas a cabo en la temática abordada en este informe, con el fin de aportar un análisis fundado respecto a las lecciones aprendidas y desafíos que presenta Chile en esta temática.

Para información detallada respecto a las metodologías utilizadas para la obtención de data presentada en el estudio, favor referirse a los siguientes anexos:

Anexo 8: Metodología empleada para el ordenamiento y cruce de datos

Anexo 9: Metodología empleada para el cálculo de CO2 equivalente en importaciones

Anexo 10: Metodología empleada para la estimación de refrigerante y agente espumante en kilogramos de CO2 equivalente del parque instalado

3. Antecedentes

El presente estudio analiza la gestión ambientalmente responsable en Chile para los aparatos de refrigeración doméstica y además entrega antecedentes sobre las características que inciden en la eficiencia energética de éstos, poniendo énfasis en los gases refrigerantes. Para esto, se discutirán opciones para su tratamiento, analizando las capacidades y tecnologías existentes en Chile y buscando encontrar alternativas viables en función de este análisis y de la experiencia de otros países de Latinoamérica en torno a la gestión ambientalmente adecuada de gases refrigerantes tales como Colombia, Brasil, México y Ecuador. Además, se observará la tendencia de los tipos de refrigerantes presentes en los refrigeradores importados al país desde el año 2016 al 2019 a modo de crear una línea de base y para estudiar su influencia en la eficiencia energética. Para efectos de este informe, se acotará el entendimiento de aparatos de refrigeración doméstica a aquellos que consisten en un armario aislado térmicamente, que producen frío gracias a la alimentación de una corriente eléctrica y cuyo uso está destinado a la refrigeración doméstica de los alimentos y bebidas. Dentro de este conjunto de aparatos, se consideran 4 tipos²⁰:

- a) Refrigerador:** Posee solo un compartimiento principal con una capacidad inferior o igual a 600 litros donde refrigera a una temperatura entre 2 °C a 6 °C.
- b) Refrigerador-Congelador:** Aparato de refrigeración de volumen útil inferior o igual a 600 litros. Posee un compartimiento principal donde refrigera a una temperatura entre 2 °C a 6 °C y además un compartimiento extra donde congela a una temperatura de -18 °C.
- c) Congelador:** Posee solo un compartimiento principal con una capacidad inferior o igual a 900 litros donde congela a una temperatura de -18 °C.
- d) Frigobar:** Aparato de refrigeración de volumen útil inferior o igual a 120 litros. Posee un compartimiento para refrigerar a una temperatura entre 2 °C a 6 °C y además puede incluir un compartimiento extra para congelar a una temperatura menor a 0 °C.

20. El volumen útil del refrigerador, refrigerador-congelador y frigobar, está basado en la disponibilidad del mercado según la base de datos de SoloTodo, a excepción del congelador, cuyo volumen útil máximo se basa en la Resolución Exenta N° 804 (Servicio Nacional de Aduanas, 2017), la cual detalla el contenido de los descriptores específicos para sustancias y productos o equipos. Esta resolución no hace uso de máximos de volúmenes para el resto de los aparatos de refrigeración domésticos.

4. Impacto de Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) al Medio Ambiente

La eficacia para la destrucción de la capa de ozono se mide bajo un parámetro comparativo conocido como potencial de agotamiento del ozono (PAO), el cual se basa en el potencial del dicloro-difluoro-metano (CFC-12), siendo asociado al valor de una unidad. Por su lado, la cantidad de energía que los refrigerantes absorben se mide como potencial de calentamiento global (PCG), la cual se define como la cantidad de radiación infrarroja que el gas puede absorber en comparación a una molécula de dióxido de carbono (asignada con un PCG=1), en un período de 100 años. Los valores de PAO, PCG y el tiempo de duración en la atmósfera para los refrigerantes más usados en refrigeración se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. PAO y PCG de refrigerantes y agentes espumantes usados en refrigeradores y congeladores domésticos.
Fuente: IPCC 4th Assessment Report, 2007

Sintéticos	Refrigerante	Fórmula	PAO	PCG	Años en atmósfera
Sintéticos					
CFC	CFC-11	CCl ₃ F	1	4.000	50
	CFC-12	CCl ₂ F ₂	1	10.900	100
HCFC	HCFC-22	CHClF ₂	0,055	1.810	13
	R141b	CH ₃ CCl ₂ F	0,11	725	9
HCF	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	0	1.430	13
Mezclas	R-404A	(CHF ₂ CF ₃ / CH ₂ FCF ₃ /	0	3.922	40
	R-407C	CH ₃ CF ₃)	0	1.774	16
	R-410a	(CH ₂ F ₂ /C ₂ HF ₅ / CH ₂ FCF ₃) (CH ₂ F ₂ / CHF ₂ CF ₃)	0	2.088	17
Naturales					
Naturales orgánicos	HC-290	C ₄ H ₁₀	0	3	<1
	HC-600a	C ₃ H ₈	0	3	<1
Naturales inorgánicos	R-717	NH ₃	0	0	0

5. Descripción de Refrigerantes

5.1. Refrigerantes Sintéticos

Los refrigerantes sintéticos son aquellos químicos sintetizados por el hombre. Sus principales ventajas son: estabilidad química, no toxicidad y que son inodoros. Sus desventajas son el daño a la atmósfera que implican las primeras generaciones, su facilidad para formar ácido clorhídrico en presencia de agua, y la capacidad de descomponerse en vapores tóxicos tales como en ácido fluorhídrico (HF) y fluoruro de carbonilo (COF₂) cuando son expuestos a temperaturas de llama. Según su composición química y el orden en que fueron introducidos al mercado, se pueden clasificar en cuatro generaciones.

a) CFC (Cloro-fluoro-carbonos): Son los refrigerantes fluorados de mayor PAO y PCG. Los más típicamente usados de este grupo para los refrigeradores y congeladores fueron el CFC-12 en el circuito y el CFC-11 para la espuma aislante.

b) HCFC (Hidro-cloro-fluoro-carbonos): Se diferencian molecularmente de los CFC por tener añadida una molécula de hidrógeno, lo que disminuye la estabilidad del compuesto, acortando por consiguiente su tiempo de vida.

c) HFC (Hidro-fluoro-carbonos): El PAO de este grupo es cero, pero poseen un alto PCG. El HFC más usado en la refrigeración doméstica es el HFC-134a, además también se usan mezclas de HFC tales como R-404a y R-407c. El R-407c se compone de HC-32, HFC-125 y HFC-134a en una proporción de 23/25/52, formando una mezcla zeotrópica, mientras que el R-404a es una mezcla zeótropa de HFC-125, HFC-143a y HFC-134a en la proporción 44/4/52²¹.

d) HFO (hidro-fluoro-olefinas): Son HFC y HCFC insaturados. Se categorizan como cero PAO, bajo PCG y medianamente inflamables. Una de sus principales desventajas es el alto precio que tiene en el mercado²².

5.2. Refrigerantes Naturales

Los refrigerantes naturales usados actualmente no dañan la capa de ozono y tienen PAO cero (a excepción del R-744 que tiene PAO=1). Se pueden dividir en dos grupos según su composición:

21. Rajan, S. (2011). *Comparison Of Refrigerants R410A And R404A For Use In Low Temperature Applications: A Computer Model Study. Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirements. University Of Illinois At Urbana-Champaign.*

22. Risto Ciconkov. *Refrigerants: There Is Still No Vision For Sustainable Solutions. International Journal of Refrigeration 86 (2018) 4 41-4 48.*

a) Refrigerantes inorgánicos:

Su uso se remonta a aplicaciones distintas de la refrigeración doméstica de alimentos, comercial o industrial. A continuación, se describen los más usados y estudiados.

- Amoníaco (R-717): Es muy usado en el área industrial. Posee PCG y PAO cero, tiene baja sensibilidad a la presencia de agua, no es inflamable, es de bajo costo. Además, su alto calor latente de vaporización (1.313,2 Kj/kg), temperatura crítica (132,25 °C) y presión (113,3 bar) le otorga un coeficiente de rendimiento favorable para ciclos de compresión de vapor. No obstante, su principal desventaja es su alta toxicidad, lo cual lo restringe para uso doméstico, además es moderadamente inflamable y no es compatible con el cobre.

- Dióxido de carbono (R-744): Posee PCG=1, no es tóxico ni inflamable y es de bajo costo. Su uso se condiciona por el punto crítico (31°C; 74 bar) a partir del cual ya no presenta cambio de fase, y el punto triple (-57 °C; 5 bar) donde coexisten las tres fases, lo cual se debe evitar²³. Se usa mayoritariamente en regímenes transcíticos. Puede operar en sistema subcrítico en regiones de baja y media temperatura²⁴. Su alta presión de operación y su baja masa molecular reduce el flujo volumétrico y las dimensiones de los componentes del sistema. A los 0°C, ofrece una capacidad de refrigeración de 22.600 Kj/Kg, lo cual es 5-22 veces mayor que otros refrigerantes sintéticos o naturales²⁵.

b) Refrigerantes orgánicos o hidrocarburos

Sus propiedades termodinámicas les favorecen para operar con igual o a mayor eficiencia energética que los compuestos halogenados en la mayoría de los casos. Operan con menor carga de refrigerante en comparación al HFC-134a debido a su mayor calor latente. La mayoría de los hidrocarburos no son tóxicos y los principales riesgos de seguridad se deben a su inflamabilidad (en una proporción de entre 6% a 12% con respecto al aire). Los más usados en refrigeradores y congeladores domésticos son:

- Isobutano (HC-600a): Otorga una muy buena eficiencia energética y requiere una menor carga de refrigerante, es más económico y debido a que opera a bajas presiones su compresor produce muy poco ruido. Según el PNUMA (2012) el HC-600a contribuye en un 5% a la eficiencia del equipo en relación con el HFC-134a. Actualmente las importaciones chilenas de los refrigeradores producidos con isobutano están superando en número a los que ocupan HFC-134a. En el período comprendido entre el 2016 al 2018, el HC-600a ha predominado en el 91,65% de los equipos importados²⁶.

- Propano (HC-290): Posee propiedades termodinámicas muy similares al HCFC-22. Se usa principalmente para vitrinas refrigeradas. La Tabla 5 presenta las propiedades termodinámicas para los principales refrigerantes de cada grupo. Para un sistema común de compresión a vapor subcrítico,

los factores que ayudan a la eficiencia son un punto crítico alto, una baja temperatura normal de ebullición y una baja masa molecular²⁷.

23. Bellido, B. (abril, 2016). Estudio del comportamiento del refrigerante R-744 en procesos de transferencia de calor realizados en intercambiadores de placas montados en una instalación de refrigeración.

24. Risto Ciconkov. Refrigerants: There Is Still No Vision For Sustainable Solutions. *International Journal of Refrigeration* 86 (2018) 4 41–4 48.

25. Naem Abas, Ali Raza Kalair, Nasrullah, Aun Haider, Zahid Saleem, Muhammad Shoaib Saleem (2018). Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

26. Datos obtenidos desde el Registro de importaciones recibido del Servicio Nacional de Aduana de Chile. La metodología se presenta en el Anexo 8 de este estudio.

27. Sruthi, M., Kumar, B. (2018) *The Use of Natural Refrigerants in Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Review. India*

Tabla 5. Datos físicos de algunos refrigerantes.
Fuente: Calm, J. M., Houran, G.C. (2011)²⁸.

Grupo de refrigerante	Refrigerante	Masa molecular (g/mol)	T normal de ebullición (°C)	T crítica (°C)	P crítica (bar)
Refrigerantes sintéticos	CFC	CFC-12	-29,8	112	41,4
	HFC	HFC-134a	-26,1	101,1	40,6
	HFC	R-404a	-46,2	72,0	37,3
	HFC	R-407c	-43,6	86,0	46,3
	HFC	R-410a	-51,4	71,4	49,0
Refrigerantes inorgánicos	Amoníaco	R-717	-33,3	132,3	113,3
	Dióxido de Carbono	R-744	-78,46	31,0	73,8
Refrigerantes orgánicos o hidrocarburos	Isobutano	HC-600a	-11,7	134,7	36,3
	Propano	HC-290	-42,1	96,7	42,5

28. Calm, J. M., Houran, G.C. (2011). *Physical, Safety and Environmental Data for Current and Alternatives Refrigerants*. Prague, República Checa

6. Calendarios de cumplimiento para la reducción del consumo y producción de SAO

La primera máquina de refrigeración a compresión se construyó en 1843 por Jacob Perkin. En los años siguientes se probaron diversos fluidos conductores de calor en los sistemas de refrigeración llegando a ser algunos los fluidos más populares hasta el 1930, como el amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y el tetracloruro de carbono (CCl₄). La mayoría de éstos eran tóxicos, inflamables y altamente reactivos. A partir de 1930 comenzó la expansión de los CFC y HCFC como refrigerantes gracias a que son compuestos muy estables e inocuos para el ser humano.

Dado que los CFC son sustancias agotadoras de la capa de ozono y además poseen un muy alto PCG, en 1985 se firma el Convenio de Viena, acuerdo ambiental multilateral que establece un marco para negociar las regulaciones internacionales en torno a las SAO. Los objetivos legales vinculantes a la reducción de las SAO son tratados en el Protocolo de Montreal en 1987 y en sus enmiendas posteriores.

El Protocolo de Montreal regula la producción y el consumo de las SAO. En el

caso de los CFC, estableció la eliminación de su producción y consumo a partir del 01 de enero de 2010, para los países en desarrollo y para el 01 de enero de 1996 para los países desarrollados.

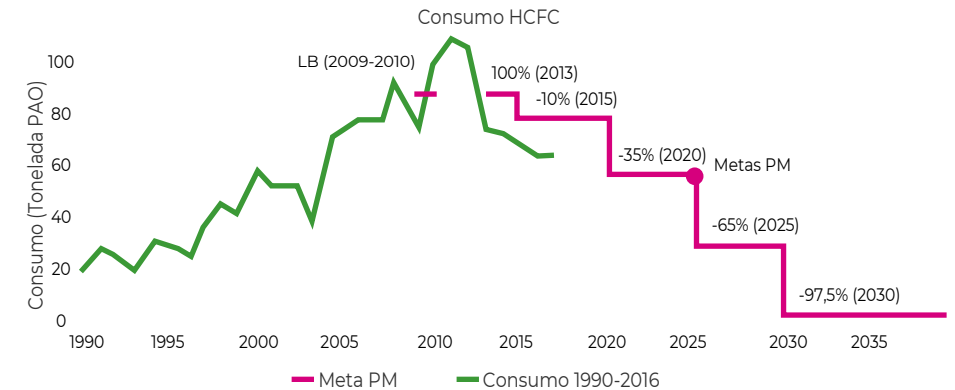
En el caso de los HCFC, su producción y consumo en los países en desarrollo se prohíbe a partir del 01 de enero de 2040 y en los desarrollados para el 01 de enero del 2030. Además, se permite un 2,5% solo para operaciones de servicio en mantenimiento entre el 01 de enero de 2030 y el 31 de diciembre de 2039 para países en desarrollo y entre el 31 de diciembre del 2029 para países desarrollados²⁹.

La Figura 2 presenta el consumo y metas de HCFC en Chile hasta el año 2016 (línea verde) y las metas acordadas por el Protocolo de Montreal (línea rosada), como comparación para la evaluación del cumplimiento de dichas metas.

29. ONU Medio Ambiente (octubre, 2018). *Legislative and Policy Options to Control Hydrofluorocarbons*. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26450/HFCs_control_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y

30. Alarcón, L., Paratori, C., Fernández, D. *Unidad de Ozono*. (mayo 2018). *Chile y su cumplimiento ante el Protocolo de Montreal*. Presentación para 4° Expo Frío Calor Chile.

Figura 2. Consumo y metas de HCFC en Chile. Fuente: Unidad de Ozono, MMA, 2018³⁰.



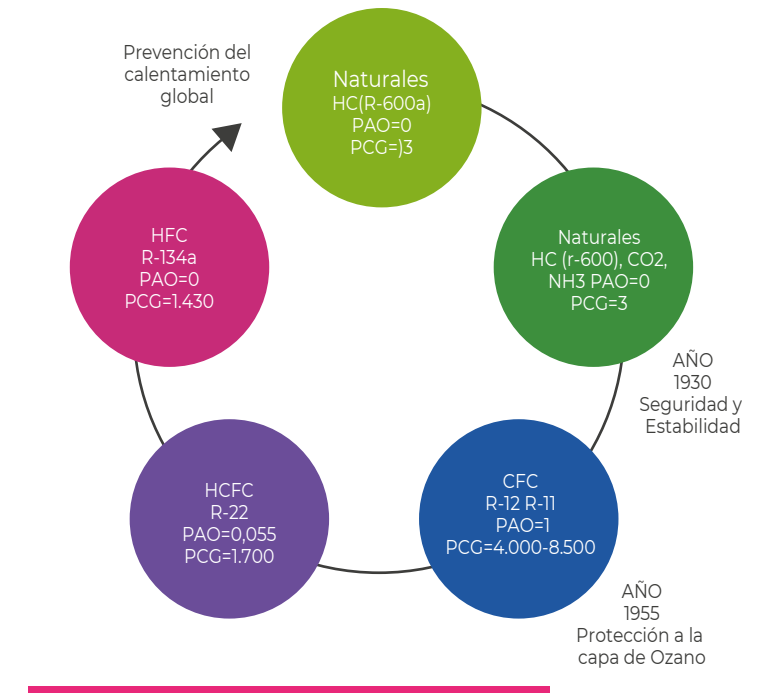
La eliminación gradual del consumo de los HCFC a nivel mundial conllevó a la masificación del uso comercial de los hidrofluorocarbonos (HFC). Éstos, gracias a sus propiedades termo físicas, son compatibles con el equipamiento que emplea CFC, excepto por algunos cambios en el compresor, como el tipo de aceite, los sellos y/o empaques. Por lo tanto, los fabricantes pudieron incorporar este gas a sus productos sin cambios en la línea de producción ni en los procesos o habilidades de los trabajadores³¹. Según la información presentada ante la Secretaría del Ozono del Protocolo de Montreal de conformidad con el art. 7 del Protocolo, en el año 2015, se consumieron alrededor de 26.000 toneladas de PAO de los HCFC en 156 países de 167 que enviaron sus informes, que corresponde a 433.000 toneladas métricas aproximadamente (alrededor de 40% menos de lo que se consumió en 2010). Mientras que se estima que en el 2015 se produjeron y consumieron 525.000 toneladas de HFC a nivel mundial³².

Los HFC tienen alto PCG, por esto, las partes firmantes del Protocolo de Montreal acordaron la Enmienda de Kigali en octubre de 2016 (ratificada por Chile), la cual incluyó los HFC en la lista de sustancias controladas y a su vez estableció calendarios de reducción gradual para la producción y consumo de los HFC: del 80% para los países del Grupo 1 (que incluye a Chile) para el 2045, del 85% para países del Grupo 2 para el 2047 y del 85% para países desarrollados para el 2036.

En la actualidad los HC han adquirido mayor popularidad en su empleo para la fabricación de nuevos refrigeradores y congeladores domésticos. El 2015, los refrigerantes HC ya estaban presentes en la mitad de los refrigeradores nuevos producidos alrededor del mundo³³, además, se estimó que para el 2020, el 75% de los refrigeradores usarán refrigerante de HC³⁴. Este número ya se superó en Chile, ya que según los registros aduaneros del país para los años 2016 al 2018, el 91,65% de los refrigeradores y congeladores importados ya poseen HC-600a³⁵. Los HC han demostrado otorgar una eficiencia energética incluso superior a algunos refrigerantes sintéticos, tienen cero PAO y bajo PCG. Las hidrofluorooleínas (HFO) son una opción potencial para el futuro, pero aún no se usan de manera comercial en refrigeradores residenciales ya que aún se encuentran en proceso de desarrollo y testeo de la eficiencia de mezclas de HFO/HFC con baja influencia sobre el calentamiento global.

La Figura 3 resume la transición de distintas sustancias empleadas como refrigerante y agente espumante en la industria mundial. Los refrigerantes naturales se utilizaron hasta 1930, debido a que en ese año se comenzó a industrializar el uso de los refrigerantes sintéticos. A partir de 1995, debido al Protocolo de Montreal, las industrias de refrigeradores comenzaron a reemplazar los CFC por otras sustancias de menor impacto ambiental. El HCFC y el HFC fueron empleados como sustancias de "transición" por algunas industrias, mientras que otras reemplazaron el CFC directamente con HC.

Figura 3. Transición del uso de refrigerantes en la industria mundial. Fuente: Elaboración propia.



31. Risto Ciconkov. *Refrigerants: There Is Still No Vision for Sustainable Solutions. International Journal of Refrigeration* 86 (2018) 4 41-4 48.

32. ONU Medio Ambiente (octubre, 2018). *Legislative and Policy Options to Control Hydrofluorocarbons*.

33. PNUD (2017). *Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el ambiente y energéticamente eficientes*.

34. UNEP (2010). *2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC)*

35. La metodología para la obtención de este valor se explica en el capítulo IV.

7. Marco regulatorio

En el siguiente capítulo se entrega información sobre el marco regulatorio internacional en torno al manejo y las restricciones de SAO para luego abordar las regulaciones nacionales que rigen tanto el manejo de SAO como de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), grupo al cual pertenecen los refrigeradores/congeladores.

7.1. Marco regulatorio internacional

Protocolo de Montreal: Acuerdo internacional del Convenio de Viena cuyo objetivo es proteger la capa de ozono. Chile ha ratificado todos los instrumentos internacionales relacionados con las SAO y su protección: el Convenio de Viena, Protocolo de Montreal y sus enmiendas³⁶. El Protocolo es revisado periódicamente de modo que puede ajustarse y enmendarse. Los ajustes aceleran los calendarios de reducción y eliminación de sustancias ya controladas, mientras que las enmiendas usualmente añaden nuevas sustancias dentro de las ya controladas³⁷. Las enmiendas solo son aplicables a las partes que ratifican específicamente la enmienda. A continuación, se describe brevemente cada enmienda.

·Enmienda de Londres (1990): Añadió un mecanismo de control para la producción y el consumo sobre otros 10 CFC, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo. Introdujo además los HCFC, pero solo exigió presentar datos de producción y consumo. También estableció el mecanismo financiero para facilitar asistencia financiera y técnica a los países en desarrollo para que puedan cumplir sus obligaciones emanadas del Protocolo³⁸.

·Enmienda de Copenhague (1992): Introdujo medidas de control para el consumo de los HCFC. Además, introdujo medidas de control para la producción y el consumo de dos nuevos grupos de sustancias, los HBFC y el metilbromuro.

·Enmienda de Montreal (1997): Es la única enmienda que no introdujo nuevas sustancias en el Protocolo, sino que un requisito de sistemas de concesión de licencias para controlar y vigilar el comercio de sustancias controladas en virtud del Protocolo.

·Enmienda de Beijing (1999): Agregó medidas de control para disminuir la producción del HCFC y el consumo de bromoclorometano, también impulsó restricciones en el comercio de estas sustancias con Estados que no son parte.

·Enmienda de Kigali (2016): Aplica medidas para reducir la producción y el consumo

de los HFC, además, incluye disposiciones para el desarrollo de capacidades en los países en desarrollo³⁹.

Existen además otros acuerdos internacionales que tienen influencia en el tratamiento de los refrigeradores y congeladores domésticos los cuales se describen a continuación:

36. *Ozono.mma.gob.cl*

37. *Elli Louka (2016). International Environmental Law: Fairness, Effectiveness, and World Order*

38. *UNEP. Enmiendas del Protocolo de Montreal. https://unep.ch/ozone/spanish/Treaties_and_Ratification/montreal_protocol_amendments.asp*

39. *GSD (mayo 2017). Primer on HFCs. Fast action under the Montreal Protocol can limit growth of hydrofluorocarbons (HFCs), prevent 100 to 200 billion tonnes of CO2-eq, and avoid up to 0,5 °C of warming by 2100. <http://www.igsd.org/wp-content/uploads/2017/05/HFC-Primer-19May2017.pdf>*

Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación

(1989): Tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo bien intencionadamente racional de los mismos, particularmente en lo referente a su disposición. Los principios básicos del Convenio de Basilea son: El tránsito transfronterizo de desechos peligrosos debe ser reducido al mínimo consistente con su manejo ambientalmente apropiado; los desechos peligrosos deben ser tratados y dispuestos lo más cerca posible de la fuente de su generación; los desechos peligrosos deben ser reducidos y minimizados en su fuente⁴⁰. Los desechos de AEE que se deben controlar son los desechos contenidos en el Anexo I, II y III del convenio. Entre estos componentes se incluyen SAO.

Convenio de Estocolmo (2001): Acuerdo internacional cuyo principal objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los compuestos orgánicos persistentes (COP), por medio de una serie de medidas enfocadas en disminuir la cantidad de estos contaminantes y de eliminarlos de una forma ambientalmente racional, así como también se encarga de determinar qué compuestos se califican como COP. Los refrigeradores y congeladores son

aplicables a este convenio debido a las sustancias ignífugas tales como el bifenilo policlorado presentes en el plástico de algunos de ellos.

La Tabla 6 resume los compromisos adheridos por Chile con respecto a cada SAO junto con su acuerdo vinculado:

Acuerdo	Sustancia	Compromiso
Protocolo de Montreal:	CFC	Prohibición total de su consumo* y producción desde el 01/01/2010
1. Enmienda de Copenhague	HCFC	Prohibición de producción y consumo desde el 01/01/2030**
2. Enmienda de Kigali	HFC	Reducción del 80% de su producción y consumo a partir del 01/01/2045

40. Ecoestrategia. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. <http://www.ecoestrategia.com/articulos/convenios/articulos/convenio06.html>

*Por "consumo" se entiende la producción más las importaciones menos las exportaciones de sustancias controladas. Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono (Décima edición 2016).

**Aclaración realizada en el 2020, donde se prohíbe la producción y el consumo desde el 01 enero 2030 y en casos específicos aprobados por las Partes, se podrá hasta un 2,5% de la línea base, en el período 2030 a 2039

7.2. Instrumentos regulatorios nacionales

El Ministerio del Medio Ambiente, a través de su Unidad Ozono, actúa como Punto Focal del Protocolo de Montreal, coordinando e implementando los esfuerzos de reducción y eliminación de las SAO, en estrecha cooperación con los involucrados del sector público y privado⁴¹. Los instrumentos nacionales que posee Chile para cumplir sus compromisos con el Protocolo de Montreal son los siguientes:

Ley de Ozono (20.096/2006): Establece y regula los mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono estratosférico y a los productos cuyo funcionamiento requiera del uso de dichas sustancias. Los mecanismos de control establecidos permiten registrar y fiscalizar la importación y exportación de SAO y de los productos que las utilicen en su funcionamiento, aplicar las restricciones y prohibiciones tanto a dichas operaciones como a la producción nacional de las sustancias indicadas cuando corresponda en conformidad con las estipulaciones del Protocolo de Montreal, y cautelar que la utilización y aplicación de tales sustancias y productos se realice de acuerdo con normas mínimas de seguridad para las personas.

Normas en buenas prácticas de refrigeración y climatización: Normas

técnicas elaboradas por un organismo competente y que, a diferencia de los reglamentos técnicos, su aplicación es voluntaria, no obstante, su no cumplimiento puede ser sancionado por el mercado⁴². La Organización Mundial del Comercio recomienda que cuando sea necesario elaborar reglamentos técnicos y existen normas técnicas, se utilicen éstas o sus elementos pertinentes. Estas normas son:

- **NCh3241:2017:** Sistemas de refrigeración y climatización - Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantención.
- **NCh3301:2017:** Sistemas de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes inflamables — Buenas prácticas para la instalación y mantención.

Ambas normas establecen una clasificación para refrigerantes y sistemas de refrigeración y climatización. La norma NCh3241:2017 establece requisitos generales de buenas prácticas para el diseño, armado e instalación de sistemas de refrigeración y climatización, clasificados como Tipo I, II y III, mientras que los requisitos generales establecidos en la norma NCh3301:2017 son para la instalación y mantención de sistemas de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes inflamables, terminados en fábrica y clasificados como Tipo VIII. La norma NCh3241:2017, en su última modificación, refuerza el concepto de evitar fugas de los sistemas a fin de

evitar su liberación al medio ambiente y consecuente daño a la capa de ozono.

Decreto N° 3/2019, Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia: Deroga al D.S. 75/2012, Min. de la Secretaría Nacional de la Presidencia. Este decreto establece normas aplicables a las importaciones y exportaciones de las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas, los volúmenes máximos de importación de las sustancias comprendidas en el Grupo I del Anexo C y los criterios para la distribución de estos volúmenes máximos de importación. Bajo el Art. 2 de este decreto, el Servicio Nacional de Aduanas es quien ejerce la fiscalización del ingreso y salida del país de las sustancias y productos controlados. Además, exige a los fabricantes, importadores y exportadores de productos controlados informar anualmente al MMA a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) sobre las características especificadas en el Art. 8 de este decreto acerca del producto controlado fabricado, importado o exportado. Además, posee los siguientes instrumentos regulatorios nacionales referidos al tratamiento de los refrigeradores y congeladores o algunos componentes de éstos.

41. Ozono.mma.gob.cl

42. Instituto Nacional de Normalización INN - Chile (mayo 2018). i.e Marly López "Rol de las Normas Chilenas y principales aspectos de las Normas Chilenas NCh3241:2017 y NCh3301:2017 sobre refrigeración y climatización".

Ley 20.920/2016, Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje:

Esta ley establece el marco legal en materia de residuos y de fomento al reciclaje. El objetivo de esta ley es disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos. La Responsabilidad Extendida del Productor (REP) es el principal instrumento de esta ley, el cual establece un mecanismo en donde los productores de 6 productos considerados prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos derivados de la comercialización de sus productos en el país. Uno de los productos prioritarios son los Aparatos Eléctricos y Electrónicos, en donde se incluyen los refrigeradores y congeladores.

Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP):

Sistema creado por parte del MINSAL para la gestión de la información completa, actual y oportuna sobre la tenencia de los residuos peligrosos desde el momento que salen del establecimiento de generación hasta su recepción en una instalación de eliminación. Según el D.S. 148/2003, Min. de Salud, los tenedores de un residuo peligroso tienen la obligación de reportarlo en este sistema⁴³. Según este mismo Decreto, los

AEE, una vez terminada su vida útil poseen compuestos que pueden ser considerados como residuos peligrosos tales como retardantes de llama y gases refrigerantes sintéticos CFC y HCFC, por lo tanto, deben ser registrados en este sistema.

43. Ministerio del Medio Ambiente (2017). Reporte 2005 – 2015 del registro de emisiones y transferencias de contaminantes. Santiago, Chile. Disponible en: http://www.retc.cl/wp-content/uploads/2018/12/Decimo_reporte_RETC_2005-2015.pdf



Estado del arte del pretratamiento y tratamiento de refrigeradores y congeladores

Para facilitar la comprensión del capítulo, se incluyen las siguientes definiciones obtenidas en base a lo descrito en el Decreto N°3, del 2019, del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia.

a. Sustancias recuperadas: Aquellas extraídas desde sistemas, tales como de refrigeración, climatización y extinción de incendios, receptáculos y equipos, entre otras, en cualquier condición, y almacenadas en contenedores destinados para la recuperación, en el curso del mantenimiento o previo a su eliminación.

b. Sustancias recicladas: Aquellas recuperadas que sean sometidas a un procedimiento básico de reducción de contaminantes, tales como el filtrado o la deshidratación, efectuado usualmente en el lugar de emplazamiento del sistema, mediante equipos adecuados, con el objetivo de reutilizar la sustancia en el mismo sistema o en otro similar.

c. Sustancias regeneradas: Aquellas recuperadas, reelaboradas y purificadas, destinadas a ser reutilizadas mediante procedimientos que puedan incluir el filtrado, la deshidratación y el tratamiento químico, con el objetivo de cumplir con las especificaciones de una sustancia nueva.

8. Composición de un refrigerador/congelador

Un refrigerador y congelador se compone mayoritariamente de metales ferrosos, metales no ferrosos (latón, cobre, aluminio, etc.) y de plásticos. Los compuestos fluorocarbonados (o hidrocarburos en los refrigeradores más modernos) están presentes en el circuito de refrigeración como refrigerante y en la espuma de poliuretano (PUR) como agente espumante.

La Tabla 7 presenta la composición detallada de un refrigerador promedio de 70 kg (de 345 litros aprox.)⁴⁴ junto con los elementos reciclables o reutilizables presentes en este:

44. Equivalencia en litros estimada a partir de la base de datos de Solotodo. Para la estimación se calculó el volumen útil total promedio para todos los refrigeradores y congeladores que tuviesen entre 65 - 75 kg.

45. GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano.

46. Es poco común encontrarlo en los refrigeradores domésticos.

47. Presente en los refrigeradores domésticos más modernos.

Tabla 7. Composición detallada de materiales de un refrigerador promedio. Fuente: GIZ Proklima⁴⁵.

Componente	Pesaje (Kg)	Porcentaje (%)	Reciclable/Reusable	Ubicación componente
Acero laminado en frío (chatarra mixta)	25,80	36,80%	Sí	Carcasas y rejillas
Espumas de poliuretano (con agente espumante)	11,30	16,12%	No	Aislamiento en paredes
Plástico molido mezclado	8,50	12,13%	No	
Vidrio plano	7,40	10,56%	Sí	Estantes
Plástico HI-PS/PS	5,80	8,27%	Sí	Revestimiento interior
Plástico PP/HI-PP	3,30	4,71%	Sí	Bandejas
Plástico ABS	2,10	3,00%	No	Bandejas
Poliestireno expandido (EPS) icopor	1,90	2,71%	Sí	Aislamiento en paredes
Plástico PVC	1,10	1,57%	No	Carcasa superior ⁴⁶
Aluminio	1,00	1,43%	Sí	Carcasa
Tarjeta electrónica	0,80	1,14%	Sí	Detrás de cubierta ⁴⁷
Cable de cobre mixto	0,60	0,86%	Sí	Cables
Cobre de segunda	0,50	0,71%	Sí	Compresor y carcasa
Gas refrigerante (CFC-12 o HFC-134a)	0,10	0,14%	Sí	
Residuos no aprovechables para disposición en relleno sanitario (basura)	0,05	0,07%	No	Intercambiador de calor
Aceites de neveras con menos de 50 ppm de PCB de la unidad del compresor	0,01	0,01%	Sí	
Total	70,10	100,00%	67,33%	Compresor

En la tabla 7 se puede apreciar que la mayoría de los componentes de un refrigerador pueden ser reciclados o reutilizados. Las opciones de reciclaje y reúso de estos componentes son descritas en el capítulo IV del presente informe. Existen componentes presentes en la Tabla 7 que fueron caracterizados como no reciclables/reutilizables, como, por ejemplo, el plástico ABS y el plástico molido mezclado. Este último componente es difícil de integrar en otro proceso productivo debido a su heterogeneidad.

El tipo de refrigerante y agente espumante varía en cada equipo según su año de fabricación, región de origen y fabricante. El mercado de refrigeradores en Chile se compone principalmente de importaciones provenientes de China. Para el año 2010, un 95% de los refrigeradores comercializados en Chile se importaban⁴⁸, llegando esta cifra a un 100% el año 2019 producto del cierre de las plantas de producción de Fensa y Mademsa en Chile⁴⁹.

El CFC predominante como refrigerante en los primeros refrigeradores domésticos fue el CFC-12, luego este fue sustituido por el HFC (particularmente al HFC-134a) y el hidrocarburo HC-600a. Según el Panel Técnico del Protocolo de Montreal (TEAP, por sus siglas en inglés), los refrigerantes dañinos para la capa de ozono fueron eliminados exitosamente en todas las economías el

año 2008⁵⁰. China inició un plan nacional para eliminar el uso de CFC en la producción de refrigeradores domésticos, comenzando en 1994 para excluirlos totalmente para el año 2005⁵¹. Por lo tanto, los equipos con CFC o HCFC son aquellos con al menos 15 años de antigüedad.

En el caso de los agentes espumantes, el CFC-11 predominó en los refrigeradores fabricados antes del año 2000⁵². Desde el año 1993 el CFC-11 comenzó a ser el sustituido predominante por el ciclopentano en Europa y Japón. El HCFC HCFC-141b fue la segunda opción predominante para el reemplazo del CFC-11 y ha sido empleado en paralelo con el ciclopentano en China y EEUU^{53,54}. Actualmente, en algunos países en desarrollo aún se utilizan HCFC como agente espumante y según el PNUMA se estima que esta práctica se extienda hasta el 2030⁵⁵.

El contenido promedio de refrigerante y agente espumante es de 0,2 kg y 0,8 kg respectivamente para los refrigeradores domésticos fabricados en China antes del año 2000⁵⁶. En el capítulo IV de este estudio se muestra que los refrigeradores importados en los últimos años poseen cerca de 120 gramos si usa HFC-134a o 60 gramos si usa HC-600a como refrigerante. Öko Institut estimó la cantidad

48. Amphos 21 Consulting Chile Ltda. (Febrero 2015). *Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile Aplicada a los Aparatos Eléctricos*.

49. <https://www.eldinamo.cl/nacional/2019/01/31/seran-importados-cierran-produccion-de-refrigeradores-mademsa-y-fensa-en-chile/>

50. TEAP (2019). *2018 Assessment Report*. <https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

51. Zhao, X., Duan, H., Li, J. (2010) *An Evaluation on the Environmental Consequences of Residual CFCs from Obsolete Household Refrigerators in China*.

52. Heubes, J; Papst, I; Gloël, J. (HEAT GmbH, Königstein). (Agosto 2015). *Management and destruction of existing ozone depleting substances Banks*. Eschborn, Alemania.

53. *El Protocolo de Montreal en su Artículo 5 introduce a un grupo de países como "Toda Parte que sea un país en desarrollo y cuyo consumo anual calculado de sustancias controladas sea inferior a 0,3 kilogramos per cápita (...)", estos países tienen un plazo mayor para el cumplimiento de sus medidas de control.*

54. S.N. Singh (2002). *Blowing Agents for Polyurethane Foams*.

55. *Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (2017) Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el ambiente y energéticamente eficientes.*

56. Zhao, X., Duan, H., Li, J. (2010) *An Evaluation on the Environmental Consequences of Residual CFCs from Obsolete Household Refrigerators in China*.

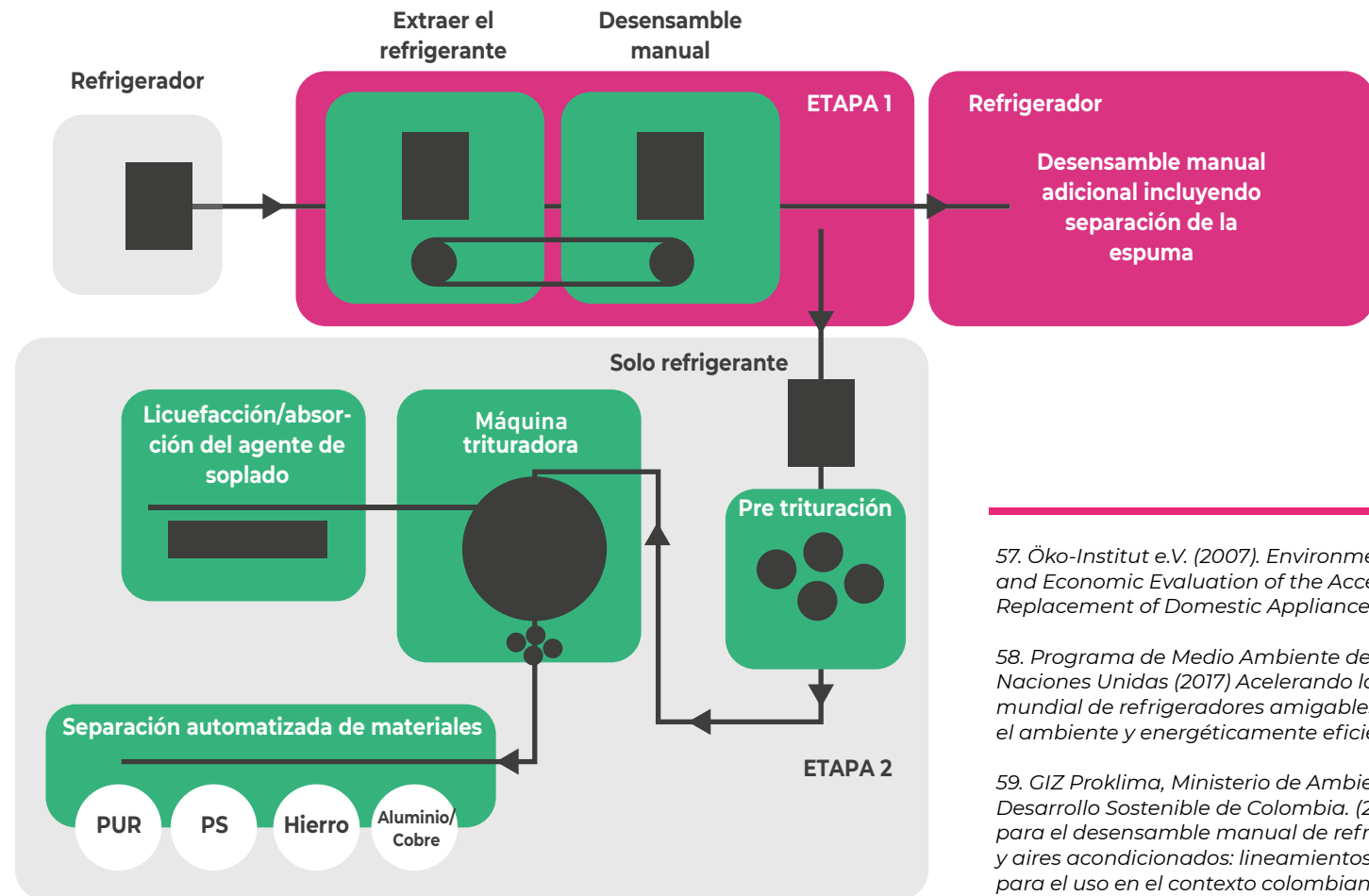
de agente espumante en 46 gramos para el ciclopentano a partir de datos confidenciales de la producción de Electrolux y BSH (responsable de las marcas Bosch y Siemens) en Europa⁵⁷.

Una guía de uso internacional publicada por ONU Medio Ambiente afirma que la vida útil promedio de un refrigerador es de 15 años⁵⁸. Dado que los refrigerantes dañinos para la capa de ozono se pueden encontrar en equipos con 15 años de antigüedad, es posible que actualmente en Chile aún se desechen refrigeradores que contengan CFC como refrigerante. No obstante, según conversaciones con Regener Chile, la mayoría de los refrigeradores domésticos en desuso contienen HFC-134a como refrigerante. Se espera también que los refrigeradores en desuso tengan HCFC o ciclopentano como agente espumante, ya que ambos se utilizan actualmente.

9. Etapas del Proceso

El proceso de reciclaje de los refrigeradores según lo descrito en la Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados de GIZ Proklima, se divide en tres etapas. La Figura 4 muestra un esquema resumen de las dos primeras etapas.

Figura 4. Esquema resumen del proceso de las etapas I y II. Fuente: GIZ Proklima, 2017⁵⁹



57. Öko-Institut e.V. (2007). *Environmental and Economic Evaluation of the Accelerated Replacement of Domestic Appliances*.

58. Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (2017) *Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el ambiente y energéticamente eficientes*.

59. GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano*.

Etapla I

La etapa I incluye la extracción de partes sueltas, extracción de refrigerante y aceite, la separación de ellos, el retiro del condensador y del compresor incluyendo componentes conectados, el retiro del intercambiador de calor (evaporador) y el drenaje del aceite del compresor. El proceso para la recuperación del refrigerante y las unidades involucradas se describen en el Anexo 1.

Etapla II

Luego de la etapa I, los equipos son triturados en un sistema encapsulado, donde a partir de la carcasa del refrigerador se obtiene material molido (hierro, metales no ferrosos, plásticos y espuma), mientras que entre el 70% y el 80% del agente de expansión presente en la espuma es liberado para luego ser capturado de nuevo con técnicas apropiadas (ej.: licuefacción en la trampa de refrigeración o presión y el carbón activado). De la matriz de espuma se puede extraer entre el 20% y el 30% del agente de expansión restante, mediante la aplicación de vacío o temperatura. En el Anexo 2 se describen las maquinarias industriales para triturar RAEE que contiene SAO.

Luego de la trituración, el material obtenido ingresa a un ciclón que separa la espuma del resto de los materiales. Esta espuma

puede ser comprimida para formar pellets o puede dejarse en forma de polvo fino.

El resto del material es separado usando métodos clásicos de separación de residuos sólidos tales como separación magnética y separador por corrientes de Foucault. El detalle de este proceso se puede seguir en el Anexo 3.

Finalmente se obtiene como resultado un granulado comercializable en el mercado del reciclaje donde la espuma residual adherida al metal y al plástico puede contener hasta un 0,5%⁶⁰ en masa de CFC (en relación con la masa de espuma). Una muestra del granulado se presenta en la Figura 5. En esta imagen la fracción señalada por el número 1 corresponde a la espuma, el 2 a la fracción de metal ferroso, el 3 a la fracción plástica y el 4 al metal no ferroso.

Figura 5. Fracciones de refrigerador obtenidas luego del proceso de separación mecánico. Fuente: Andritz MeWa



60. Pinasseau, A.; Zerger, B.; Roth, J.; Canoca, M.; Roudier S. (2018). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment.*

Los CFC combinados con nitrógeno obtenidos de la desgasificación de la Etapa I y la Etapa II pasan a través de filtros para la purificación de las partículas. Después de ello, hay varias opciones para recuperar el agente de expansión del aire del proceso⁶¹.

1) Criocondensación: Separa los CFC del gas de salida reduciendo su temperatura por debajo de su punto de condensación (entre -40 °C a -80 °C) usando nitrógeno líquido como refrigerante. Incluso en países con flujos altos de residuos de refrigeradores, esta opción se aplica cada vez menos debido a la complejidad de esta tecnología y a los altos costos de operación.

2) Adsorción: Son usados en algunos casos después de la criocondensación para mejorar la eficiencia. Los gases circulan a través de filtros de carbón activado para ser retenidos en ellos. En caso de que haya sido utilizado ciclopentano, se debe crear una atmósfera inerte adicional durante este proceso. El carbón activado usado, una vez "lleno", puede ser reutilizado, desechado o incinerado y sustituido. En caso de reutilizarse (opción más rentable) se requiere instalar dos filtros en paralelo de modo de que uno adsorba mientras el otro se regenere. En caso de no reutilizar el filtro de carbón activado, este se puede desechar completo en un incinerador de residuos peligrosos.

3) Conversión catalítica: El gas es enviado a dos convertidores catalíticos conectados

en serie. Los hidrocarburos (por ej. Isobutano o pentano) son oxidados térmicamente en el primer convertidor para formar agua y dióxido de carbono (CO₂). En el segundo reactor los fluorocarbonos son convertidos en ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y CO₂. Los gases ácidos pueden ser absorbidos en agua para neutralizarlos o producir ácido diluido.

El Anexo 4 presenta un cuadro resumen de algunas características como la eficiencia, costos de inversión y operación, países donde se aplican, y ventajas y desventajas para las 3 tecnologías descritas.

A modo de resumen del proceso completo, en la Figura 6 se presenta el diagrama de un ejemplo de planta de tratamiento de RAEE con gases fluorados o hidrocarburos.

Una típica planta automatizada puede tratar entre 35 a 75 equipos de refrigeración por hora. El proceso de trituración puede consumir alrededor de 35 kWh por equipo. Esta cantidad de energía corresponde a la energía promedio que un refrigerador consume al mes. Por lo tanto, el proceso de eliminación de la espuma de los electrodomésticos implica un gran impacto ambiental (por las emisiones de CO₂ equivalentes relacionadas con la generación de la energía consumida). Sin embargo, el impacto ambiental de este consumo energético para el tratamiento, medido en CO₂ equivalente, es insignificante al ser comparado con las emisiones evitadas al destruir el agente espumante de un equipo⁶². Al remover la espuma manualmente luego de

trozar el equipo, el consumo de energía se reduce drásticamente a cerca de 5kWh por equipo. No obstante, desde el punto de vista ambiental, el desensamble manual libera una cantidad considerable de agente espumante a la atmósfera por lo cual no puede ser recomendado⁶³.

La implementación de los sistemas encapsulados puede no ser factible para los países en desarrollo que carecen de los recursos financieros para ello, puesto que implican un costo de inversión entre 2 a 4 millones de euros y se requiere una cantidad mínima de aproximadamente 100.000 unidades de refrigeradores devueltos por año para la viabilidad económica. Es por esto que, en algunos países como Colombia, se opta por la recuperación manual, pese a que no corresponde a la mejor práctica en términos ambientales. La recuperación manual supone la pérdida del 10 al 33% del agente de expansión. Esto implicaría una liberación de 5-33 gramos de agente espumante por kilogramo de espuma⁶⁴.

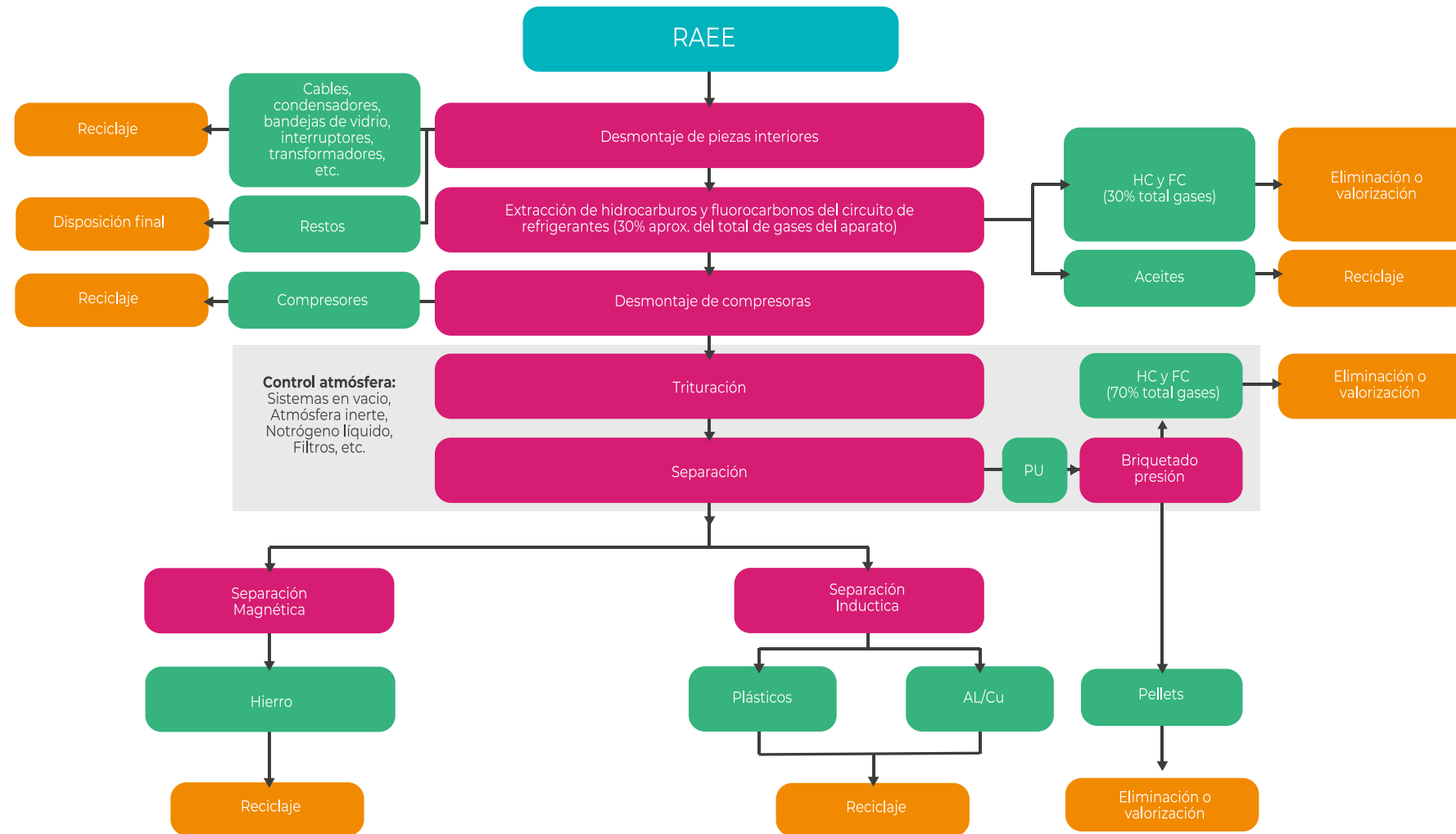
61. Brinkmann, T., Giner, G., Yükseler, H., Roudier, S., Delgado, L. (2016). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*.

62. Al aplicar un factor de emisión de 0,5 Kg CO₂/kWh, la destrucción de la espuma de un refrigerador ocasiona 18 Kg CO₂ eq dada la cantidad de energía requerida. Por otro lado, los beneficios ambientales de destruir el agente espumante CFC-11 dentro de la espuma, implica un ahorro de 1,6 t CO₂ eq. Si se considera el refrigerante (CFC-12), adicionalmente, 2,2 t Kg CO₂ eq son prevenidas de ser liberadas a la atmósfera.

63. Heubes, J; Papst, I; Gloël, J. (HEAT GmbH, Königstein). (Agosto 2015). *Management and destruction of existing ozone depleting substances Banks*. Eschborn, Alemania.

64. Cálculo realizado asumiendo que entre el 5% al 10% de la masa de la espuma corresponde al agente de expansión y que la pérdida de éste puede resultar ser entre 10% a 33%.

Figura 6. Ejemplo de planta de tratamiento de RAEE con gases fluorados o hidrocarburos. Fuente: Gobierno de España⁶⁵.



65. Gobierno de España. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Nota Técnica Sobre El Tratamiento De Residuos De Aparatos Eléctricos Y Electrónicos Que Contengan Clorofluorocarbonos (Cfc), Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), Hidrofluorocarbonos (HFC) O Hidrocarburos (HC). <http://www.caib.es/govern/rest/arxiu/990405>

Etapas III

La destrucción se recomienda en caso de que un refrigerante venga contaminado o mezclado con otros refrigerantes y no sea factible su reciclaje o regeneración⁶⁶.

Para ello se requieren temperaturas superiores a 1.200°C y un riguroso control de los potenciales productos secundarios, tales como dioxinas, gases ácidos o monóxido de carbono. Además, la cantidad destruida debe ser medida o calculada y documentada de acuerdo con lo establecido en el Protocolo de Montreal. El Panel de Evaluación Técnica y Económica (TEAP, por sus siglas en inglés) recomienda una eficiencia de destrucción y remoción de un 99,99% para fuentes concentradas en SAO y de un 95% para fuentes diluidas de SAO (por ejemplo las espumas).

Los incineradores de residuos peligrosos generalmente exceden las recomendaciones del TEAP, alcanzando frecuentemente eficiencias de hasta un 99,9999%⁶⁷. Las tecnologías para la destrucción de las SAO pueden ser agrupadas en tres amplias categorías: incineración, plasma y otras tecnologías de no incineración.

Las plantas de incineración usualmente suponen ser grandes plantas que no son económicamente viables para el único propósito de destruir SAO, por lo cual

es deseable su destrucción en sinergia con otros residuos. Mientras que, las tecnologías de plasma, así como otras tecnologías de no incineración son comúnmente plantas más compactas que requieren un gran consumo de energía para alcanzar las altas temperaturas requeridas para la destrucción. La velocidad promedio a la cual las SAO pueden ser alimentadas en una cámara de combustión de residuos peligrosos puede variar entre 1.000 a 4.000 kg/hora. Para una unidad de arco de plasma, la velocidad típica de alimentación para SAO es en torno a 20 kg/hora.

Datos basados en estudios de proyectos del GEF/PNUD indican que para tecnologías de incineración de altas temperaturas (HTI) el costo de destrucción se encuentra en el rango de 1,0-2,0 USD/Kg mientras que para el arco de plasma el costo es de \$9 USD/Kg (basada en el proyecto demostrativo de México).

66. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado. México.*

67. U.S. Environmental Protection Agency (2018). *ODS Destruction in the United States and Abroad.*

La Tabla 8 Estado de aprobación de las tecnologías de destrucción de SAO. Fuente:TEAP

Tecnología	Aplicabilidad CFC y HCFC	
Tecnologías de incineración		Espuma
Hornos de cemento	Aprobado	No aplicable
Oxidación de gases/humos	Aprobado	No aplicable
Incineración por inyección líquida	Aprobado	No aplicable
Incineración de residuos sólidos municipales	No aplicable	Aprobado
Reactor térmico de lecho fijo	Aprobado	No aplicable
Craqueo en reactor	Aprobado	No aplicable
Incineración en horno rotatorio	Aprobado	Aprobado
Tecnologías de plasma		
Arco de plasma de argón	Aprobado	No aplicable
Plasma de radiofrecuencia inductivamente acoplado	Aprobado	No aplicable
Plasma de microondas	Aprobado	No aplicable
Arco de plasma de nitrógeno	Aprobado	No aplicable
Arco de plasma portátil	Aprobado	No aplicable
Arco de plasma de vapor	No revisada aún	No revisada aún
Tecnologías de no incineración		
Reacción química con H2 y CO2	Aprobado	No aplicable
Deshalogenación catalítica en fase gaseosa	Aprobado	No aplicable
Reactor de vapor sobrecalentado	Aprobado	No aplicable
Reacción térmica con metano	Aprobado	No aplicable
Destrucción catalítica	No revisada aún	No revisada aún

En el Anexo 5 se describen todas las tecnologías aprobadas por el TEAP para la destrucción de las SAO. De estas, solo la incineración en horno rotatorio y la incineración de residuos sólidos municipales están aprobadas para aplicarse a la espuma con SAO. A continuación se describen las tecnologías de destrucción más comúnmente usadas para la destrucción de SAO junto con sus ventajas y desventajas, según lo descrito en el Volumen 2 del reporte del 2018 realizado por el TEAP⁶⁸.

68. TEAP (2018). 2018 TEAP Report, Volume 2: Decision XXIX/4TEAP Task Force Report on Destruction Technologies for Controlled Substances. <http://ozone.unep.org/en/assessment-panels/technology-and-economic-assessment-panel>

10. Tratamiento y aprovechamiento de residuos

Esta sección describe los tratamientos que se les aplica a los residuos obtenidos en las etapas I y II, exceptuando al fluido refrigerante, puesto que su tratamiento se encuentra contemplado en la etapa III. En general, el vidrio, los metales ferrosos y no ferrosos son llevados a fundición para su reciclaje. Por su parte, el aceite y los plásticos tienen aplicaciones de reciclaje solo en caso de poseer la pureza suficiente para ello. La Tabla 10 presenta un resumen de los posibles destinos que puede recibir cada componente obtenido de las etapas I y II. En el Anexo 6 se describe con mayor detalle el tratamiento del aceite, la espuma y los plásticos mixtos.

69. GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano.*

70. El reciclado mecánico es un proceso físico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización. El proceso incluye separación, lavado, secado, aglutinación y extrusión. Finalmente, el plástico es recuperado en forma de pellet.

Tabla 9. Opciones de reciclaje de materiales recuperados. Fuente: GIZ Proklima⁶⁹.

Componentes	Opción de reciclaje
Láminas de aluminio	Fundición
Hierro	Fundición
PS granulado	Reciclaje mecánico ⁷⁰
Vidrio	Fundición
Compresor	Fundición después de la separación de los componentes
Intercambiador de calor de aluminio y cobre	Trituración, separación y fundición
Motores eléctricos	Trituración, separación y fundición
Cables	Separación en planta de reciclaje
	Aislante de PVC es incinerado como residuo
	Cobre es fundido para su reciclaje
Carcasa de aluminio	Fundición
Acero Inoxidable	Fundición
Condensador eléctrico	Disposición final o primero separación y después fundición
Interruptores con mercurio (Hg)	Recuperación de mercurio en planta especial (resto: vidrio)
Plásticos	Reciclaje mecánico, reciclaje de materias primas, co-combustión
Plástico con impurezas	Incinerador de residuos
Refrigerante	Disposición final o recuperación
Aceite refrigerante	Recuperación de energía
	Creación de otros productos como lubricantes
Amoníaco	Disposición final
Espuma rígida de poliuretano	Disposición final si la espuma contiene agentes espumantes nocivos
	La espuma desgasificada se puede usar como aglutinante de aceite. La espuma desgasificada compactada se puede utilizar en hornos de cemento (co-combustión)

10.1. Tecnologías de destrucción de SAO

Craqueo en reactor

Los fluorocarbonos son descompuestos o “craqueados” en una cámara de reacción a 2.000 °C y luego son trasladados a otra unidad para ser enfriados. Los productos resultantes del proceso son principalmente dióxido de carbono, cloro diatómico, vapor de agua y ácidos fluorhídrico y clorhídrico de calidad técnica. Las emisiones son menores debido a que el hidrógeno y oxígeno actúan como combustible y oxidante, resultando un volumen reducido de gas. Se estima que una unidad de craqueo de una capacidad de 2.500 ton. CFC/año costaría 4.000.000 USD (excluyendo honorarios y servicios de ingeniería).

Ventajas: La alta temperatura de operación alcanza altos niveles de eficiencia de destrucción y el rápido enfriamiento minimiza la formación de dioxinas y furanos. El uso de una antorcha de oxígeno-hidrógeno limita la formación de NOx y facilita la recuperación de HCl y HF, lo cual minimiza la liberación de sales de haluro al medioambiente. El uso de esta antorcha además deriva en un volumen muy pequeño de gases residuales a la atmósfera. El costo es uno de los más bajos dentro de los reportados para la destrucción de SAO.

Desventajas: Su costo está sujeto a la disponibilidad económica de hidrógeno; el proceso puede ser más costoso en caso de no existir una fuente local de hidrógeno. Además, el proceso es en cierto modo complejo y puede no llegar a ser práctico ni económico de aplicar en una pequeña escala. Al mismo tiempo, el proceso requiere que el CFC sea pretratado para remover el aceite en él. Este proceso puede ser usado para CFC, HCFC y HFC pero no para espumas o halones.

Horno rotatorio

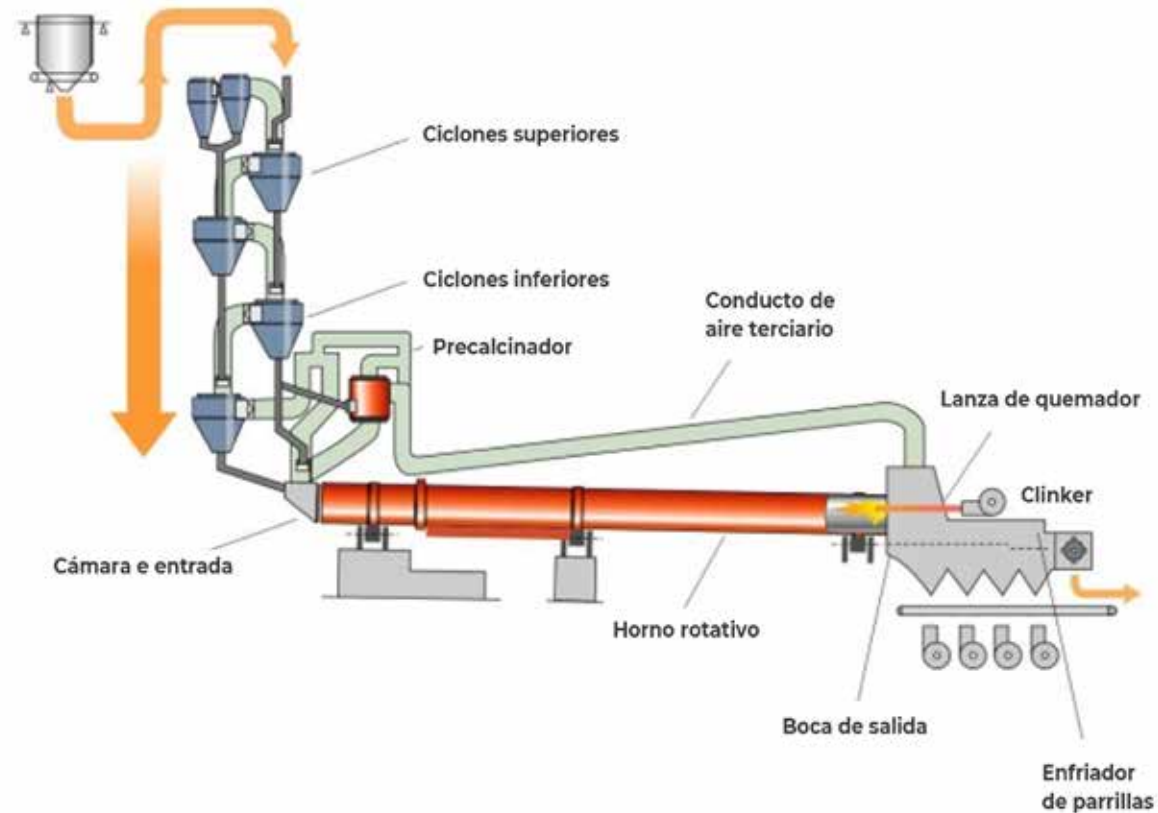
Los hornos rotatorios de incineración son cilindros rotatorios refractarios cubiertos de acero montados con una leve inclinación sobre la horizontal. Son capaces de tratar residuos líquidos y sólidos, ya que la rotación de la cubierta asegura el mezclado y la inclinación causa la caída de las cenizas y los desechos fundidos. La mayoría de los hornos rotatorios son equipados con un quemador secundario que asegura la combustión completa de los gases de escape. Las fuentes de energía típicamente usadas son combustibles de hidrocarburos como el gas natural, fuelóleo o residuos líquidos con alto poder calorífico. Gracias a su flexibilidad, los hornos rotatorios son comúnmente incorporados en el diseño de instalaciones incineradoras. Las SAO líquidas pueden ser alimentadas directamente en el horno rotatorio o en el quemador posterior. Su operación permite normalmente limitar la cantidad de cloro contenido en los residuos alimentados para

prevenir daños del ácido fluorhídrico en el compartimiento incinerador, usualmente limita la fracción de flúor en la alimentación a su menor nivel, típicamente en el rango del 1%. Un típico horno rotatorio tiene una alimentación de 7.758 Kg/h, de la cual 956 Kg/h es alimentación ignífuga y el caudal del gas de salida es de 78.500 Nm³/h. Se ha reportado que un incinerador de dicha capacidad puede procesar 250-500 Kg/h de CFC.

Ventajas: Su principal ventaja es su capacidad para tratar una amplia variedad de residuos líquidos y sólidos de tal forma que pueden lidiar con SAO pura o en espumas. Además, pese a que su capacidad para tratar CFC se limita al 1% de la alimentación total como flúor, la capacidad total de CFC sigue siendo alta.

Desventajas: los hornos rotatorios tienen costos de inversión y mantención altos, por lo tanto, es improbable que hornos rotatorios nuevos sean construidos con la intención de solo destruir SAO. La inversión puede ser justificada de todas formas donde existan oportunidades para destruir una amplia variedad de residuos peligrosos. Además, se ha reportado que algunos de estos hornos exceden los niveles de 0,3 ng/Nm³ para dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD), lo cual satisface el límite para espumas, pero no para SAO concentrada.

Figura 7. Esquema de horno rotatorio. Fuente: Sensotec⁷².



71. El clinker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland, el cemento más común.

72. Sensotec. http://www.sensotec.com.ar/industria_cemento.php

Hornos de cemento

Los hornos de cemento son básicamente cilindros rotatorios, inclinados y fabricados con ladrillos resistentes al calor. Su tamaño varía en función del tipo particular del proceso de fabricación de cemento empleado y pueden alcanzar 250 metros de largo y 8 metros en diámetro. Un esquema del horno rotatorio se presenta en la Figura 7. El material crudo es alimentado en la parte elevada o “fría” al final del horno.

A medida que el horno rota lentamente, el material crudo desciende hasta el extremo caliente gradualmente hasta formar clinker⁷¹, el extremo caliente se mantiene a una temperatura por sobre 1.500°C. Los hornos de cemento operan en contra sentido.

Los gases de combustión ingresan por el extremo más caliente y fluyen hacia arriba, calentando el flujo de material crudo en la dirección opuesta a la que transitan y abandonan el horno en el tope superior.

Luego, los gases pasan por otros equipos que reducen su contaminación antes de que sean liberados a la atmósfera. Estos equipos incluyen por lo general bolsas de filtro o precipitadores electrostáticos. Este proceso es de alto consumo energético y se utiliza para quemar combustibles contaminados y otras sustancias peligrosas.

La naturaleza alcalina en los hornos de cemento otorgada por los óxidos de calcio neutraliza los gases ácidos formados (HCl y HF) a CaCl_2 y CaF_2 . En general, la mayoría de los hornos de cemento pueden tolerar la adición controlada de SAO, pero esto debe ser evaluado según cada caso. De forma generalizada, el contenido máximo de flúor de la operación es cerca del 0,25% del material alimentado. El límite teórico de cloro es cerca del 0,015% con respecto al material alimentado pero la tolerancia práctica se piensa que es mayor.

Ventajas: Se ha reportado que alrededor del mundo existen aproximadamente 60 hornos de cemento que han sido modificados para que distintos residuos puedan ser quemados en conjunto con los combustibles convencionales. Esto representa una gran ventaja para esta tecnología porque las plantas de cemento están distribuidas mundialmente, incluyendo países en desarrollo.

Desventajas: La alimentación de entrada del flúor y cloro requiere ser controlada cuidadosamente e impone una capacidad límite de destrucción para el horno. Un horno de cemento con una capacidad de 5.000 ton/día de clinker tendría un límite teórico de alrededor de 50 kg/h de CFC-12. Además, como los hornos de cemento no son originalmente diseñados para que puedan tratar SAO, es necesario

realizar modificaciones a los equipos para la alimentación de SAO de forma controlada, lo que incluye el monitoreo de las emisiones peligrosas. El costo para modificar los hornos de cemento para facilitar la destrucción de SAO podría requerir ser recuperado agregando una baja tarifa a la destrucción de CFC. Además, los operadores de los hornos no estarán interesados en esta operación donde no haya un mercado para cementos de baja alcalinidad.

Arco de plasma de argón

Destruye las SAO a 10.000°C haciendo uso de la antorcha patentada como PLASCON. Las SAO son expuestas a un proceso de degradación con calor llamado pirólisis, causando que éstas sean convertidas en gas ionizado, el cual luego es movido en una cámara de reacción o tubo de escape localizado debajo de la antorcha PLASCON para luego ser enfriado con agua a una temperatura menor a 100 °C. El proceso es seguido por un rápido enfriamiento alcalino que previene la formación de dioxinas y furanos.

Un scrubber alcalino es localizado debajo del enfriador para neutralizar la formación de ácidos residuales. Los subproductos sólidos y líquidos secundarios del proceso son sales de haluro y agua, las cuales pueden ser liberadas en los sistemas de aguas residuales municipales. Los subproductos gaseosos finales incluyen CO_2 , argón y trazas de otros gases, los cuales son liberados a la atmósfera.

Esta tecnología se encuentra presente en Australia, México y Estados Unidos.

Ventajas: La mayor ventaja de esta tecnología es que es una tecnología de no incineración cuya alta eficiencia ha sido demostrada para la destrucción de CFC y halones a escala comercial por varios años. También se han demostrado muy bajas concentraciones de dioxinas y furanos en el empleo de esta tecnología. La masa contaminante es muy baja debido al pequeño volumen de gases de combustión producidos por el proceso. Además, la alta densidad de energía empleada lo convierte en un proceso compacto. Esta tecnología puede ser fácilmente transportada.

Desventajas: La única desventaja es que las SAO recuperadas deben tener un pretratamiento para remover el aceite antes de la destrucción.

Además, en el actual proceso, las sales formadas por la neutralización de los gases ácidos formados son liberadas como un líquido efluente hacia el ambiente. Por último, el proceso no puede ser aplicado a espumas.

A continuación, la Tabla 9 presenta un resumen de las tecnologías más utilizadas para la destrucción de SAO presentes en equipos domésticos presentadas anteriormente. La siguiente tabla entrega, además, información sobre los principales países que utilizan las diferentes tecnologías, detallando las principales ventajas y desventajas que cada una de estas presenta:

Tabla 10. Resumen de tecnologías de destrucción más usadas y sus principales características. Fuente: Elaboración propia

	Craqueo en reactor	Horno rotatorio	Horno cementero	Arco de plasma de argón
Temperatura	2.000 °C	1.000 - 1200°C	>1.500 °C	2.500 - 10.000 °C
Eficiencia	>99,999%	>99,9999%	99,99%	>99,9998 %
Costos de operación	4-6 [USD/Kg]	4 [USD/Kg]	Muy bajo	7 – 9 [USD/kg]
SAO permisibles	CFC, HCFC, CCl4, metilcloroformo	CFC, HCFC, CCl4, metilcloroformo, halones y espuma	CFC, HCFC, CCl4 y metilcloroformo	CFC, HCFC, CCl4, metilcloroformo y halones
Países implementándolo	Brasil, Alemania	Brasil, Colombia, EE. UU., Japón, Suiza	Japón, Cuba, México, EE. UU. e Indonesia	México, Australia, EE. UU.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ·Alta eficiencia ·Minimiza formación de dioxinas y furanos ·Volumen pequeño de gases emitidos 	<ul style="list-style-type: none"> ·Puede destruir espumas 	<ul style="list-style-type: none"> ·Tecnología presente en países en desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> ·Alta eficiencia ·Baja formación de dioxinas y furanos ·Volumen pequeño de gases emitidos ·Compacta
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ·Coste sujeto al precio del hidrógeno ·Infactible a baja escala 	<ul style="list-style-type: none"> ·Altos costes de inversión y mantención 	<ul style="list-style-type: none"> ·Originalmente no son diseñados para la destrucción de SAO ·Disminuye alcalinidad de cemento 	<ul style="list-style-type: none"> ·No trata espuma ·Sales formadas se liberan como líquido efluente

Para el caso de los países latinoamericanos nombrados en la Tabla 9, cabe destacar que la implementación de las diferentes tecnologías se dio principalmente en el marco de programas para el aumento de la Eficiencia Energética a través del recambio de refrigeradores y aires acondicionados, los cuales requerían un manejo adecuado de las SAO recuperadas. La finalidad de estos proyectos fue descrita en los informes publicados por PNUD y UNIDO antes de iniciar su ejecución, no obstante, actualmente solo se han publicado los resultados para los programas ejecutados en Colombia y México, mientras que para Brasil y Cuba aún no se reportan resultados de la implementación de éstos.

En la sección 6 de este capítulo se entrega mayor información respecto a las experiencias de estos países en torno a las iniciativas de cada uno.

10.2. Experiencias en Latam con con tecnologías de destrucción de SAO

Previo a la selección de una tecnología de destrucción de SAO, es útil revisar las experiencias de otros países de la región y de similar desarrollo económico a Chile puesto que pueden aconsejar o advertir de su viabilidad y/o efectividad. En este capítulo se describe la experiencia de distintos países de Latinoamérica en el desarrollo de proyectos de pruebas piloto para la destrucción de SAO según los informes del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal (EXCOM).

El objetivo de las pruebas descritas en estos informes es asegurar que se cumpla con la eficiencia de destrucción y remoción (DRE por sus siglas en inglés) requerida por el TEAP para la destrucción de SAO y además para evaluar otros parámetros importantes tales como la emisión de contaminantes y la capacidad técnica de destrucción.

En la Tabla 11 se presenta el estado de diferentes proyectos piloto para la destrucción de SAO implementados en Latinoamérica con apoyo técnico y económico internacional. Se detalla el año de aprobación del subsidio internacional, el monto del subsidio en dólares, la agencia implementadora, las opciones de destrucción de SAO que posee el país y el estado en el cual se encuentra el proyecto.

Tabla 11. Estado de proyectos piloto para la destrucción de SAO en Latinoamérica. Fuente: EXCOM, 2018

País	Año de Aprobación	Subsidio (USD)	AI	Opción de destrucción	Estado/Observaciones
Brasil	2012/ 2014	1.490.600	PNUD	Instalaciones nacionales: HTI ⁷³ , arco de plasma. Desarrollo en paralelo de dos plantas de “desfabricación”.	Proyecto reformado para enfocarse en una selección competitiva de disposición de residuos peligrosos Implementación reiniciada basada en instalaciones comerciales de HTI ⁷⁴ .
Colombia	2012	1.195.000	PNUD	Instalación nacional de HTI de residuos peligrosos para CFC/ HCFC.	Pruebas de HTI ⁷⁵ completadas.
Cuba	2010	525.500	PNUD	Hornos de cemento para la quema de CFC-12.	Completado. Cantidades de destrucción y pruebas de rendimiento aún no reportadas.
México	2011	927.915 500.000	ONUDI Francia	Arco de plasma y horno de cemento.	Completándose. Reporta pruebas exitosas en arco de plasma y horno de cemento.
Ecuador	2008	500.000	ONUDI	Primero obtuvo una unidad ASADA ⁷⁶ pero no la empleó ⁷⁷ . Actualmente está desarrollando opción en horno cementero.	Continúa en implementación. Reporta pruebas positivas en la quema de CFC-12.
Trinidad y Tobago	2015	S/I	PNUD	Buscando opciones de hornos de cemento.	En desarrollo.
Costa Rica	S/I	S/I	S/I	Horno de cemento.	En desarrollo.

De la Tabla 11 se puede observar además que las tecnologías más utilizadas son la tecnología de incineración a alta temperatura (HTI), el horno de cemento y el arco de plasma de argón. De los países nombrados, solo han sido publicados los informes de resultados de pruebas piloto para Colombia y México. A continuación, se entrega información más detallada respecto a las experiencias de Colombia, México, Cuba y Brasil.

10.2.1. Colombia

Colombia llevó a cabo un proyecto piloto demostrativo de tratamiento y disposición de SAO recibiendo apoyo económico del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal. El monto aprobado para el proyecto fue de 1,195,000 USD y fue cofinanciado por el gobierno colombiano junto con los demás participantes con 1,098,358 USD. El proyecto contempla 3 componentes: las pruebas de destrucción experimental de SAO, la asistencia técnica y el manejo, monitoreo y evaluación del proyecto.

El proyecto comenzó su implementación el 2012 y se programó para una duración de tres años, no obstante, al momento de su implementación se observó que esta programación fue muy optimista y se aprobó su extensión hasta junio del 2019. Las pruebas fueron realizadas para el CFC-11 y el CFC-12 puro y para el CFC-11 y HCFC-141b diluido en espuma.

Éstas, se realizaron en la instalación de TECNIAMSA Mosquera⁷³ empleando la unidad originalmente instalada allí. La capacidad de esta unidad es de 1 tonelada por hora, considerada pequeña en comparación a la mayoría de las unidades industriales de su tipo. Las pruebas mostraron que la instalación cumple con los requerimientos del Protocolo de Montreal (determinados por el TEAP) para la destrucción de SAO. Sin embargo, se hallaron algunos problemas relacionados con la aplicación comercial de esta tecnología. Se debió limitar la velocidad de alimentación de la SAO debido a su contenido de flúor y cloro para no superar el límite máximo permitido en Colombia de emisiones de gases ácidos formados (particularmente HCl y HF) afectando de esta forma la productividad y el costo-efectividad de la planta. En consecuencia, se determinó que la capacidad de alimentación debiese ser de 3-5 kg/hora en la destrucción del CFC-11 y el CFC-12 para cumplir con las normas colombianas vigentes. Sin embargo, este límite establecido no imposibilita la utilidad de esta opción para la quema del CFC-11 y el CFC-12 considerando que existe potencial para optimizar su rendimiento y productividad.

En cambio, para la destrucción de la SAO en espuma, esta instalación no pareció ser muy viable. La estimación de costo-efectividad de la espuma (medido en dólares por Kg de SAO destruida) alcanza a ser 4 veces el umbral especificado por el Fondo Multilateral. Mientras que para la destrucción del CFC-11 y el CFC-12 concentrado, la estimación de costo-efectividad es menos de la mitad del

máximo especificado por el Fondo Multilateral, por lo tanto, esta última opción debería ser accesible para el sistema de Responsabilidad Extendida al Productor (REP) en Colombia.

Los costos estimados para la gestión del refrigerador se proyectan entre 6,3 a 12,3 USD por refrigerador, dependiendo del tratamiento que se defina para la espuma. Colombia debió modificar su regulación nacional para incluir a las SAO como residuos peligrosos cuya destrucción esté permitida en el país. Esta regulación entró en vigor a finales del 2018⁷⁹.

73. HTI: High Temperature Incinerator (Incinerador de alta temperatura).

74. HTI: High Temperature Incinerator (Incinerador de alta temperatura).

75. HTI: High Temperature Incinerator (Incinerador de alta temperatura).

76. Modelo de arco de plasma pequeño y portátil.

77. La unidad eran tan pequeña que resultó ser inabordable de operar.

78. Compañía colombiana que provee tratamiento, destrucción y disposición de residuos peligrosos provenientes del sector industrial, médico y petrolero.

79. UNDP (octubre 2019) Pilot demonstration project on ODS waste management and disposal in Colombia. UNDP Report.

10.2.2 México

El EXCOM aprobó en el 2011 el financiamiento de un proyecto demostrativo para la disposición de SAO para ser implementado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el gobierno de Francia. El monto aprobado para el proyecto fue de 1,427,915 USD. Durante su implementación, 113 toneladas de SAO fueron destruidas, equivalentes a 504 kilotoneladas de CO₂. 35 toneladas de estas SAO provinieron del programa de recambio gestionado por Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)⁸⁰.

Las pruebas de destrucción fueron implementadas en dos etapas para dos instalaciones en México, cada una de ellas con diferentes tecnologías. Una instalación corresponde a un arco de plasma de argón perteneciente a la empresa Quimobásico⁸¹ y posee la capacidad para tratar de 40-60 Kg de SAO por hora. La otra instalación es un horno cementero de propiedad de Holcim⁸² y recibe una alimentación mínima de SAO de 35 kg/h.

La implementación del proyecto demostrativo en México se ejecutó por etapas. Una vez aprobado el proyecto en el 2011 se debieron realizar actividades preliminares entre el 2011 y el 2013. Un aspecto relevante que retrasó la implementación del proyecto fue establecer

el banco de SAO a destruir debido a que los centros de recuperación no estaban llegando a las cantidades previstas de refrigerante. Las actividades preliminares consistieron en entrenar al personal y dotar de equipamiento de recuperación a estos centros, diseñar el sistema de monitoreo y verificación, organizar los seminarios de concientización y gestionar la aprobación de licencias que autorizaran a las compañías mexicanas a realizar pruebas para la destrucción de SAO.

Las pruebas demoraron dos años en el arco de plasma de argón y mostraron que en este se alcanza una eficiencia del 99,9994% lo cual permitió que la compañía adquiriera la licencia para destruir 526,6 toneladas de SAO al año. Por su parte, las pruebas en el horno de cemento tardaron 3,5 años y probaron una eficiencia del 99,99865% para esta instalación, demostrando además que la calidad del clinker no se veía afectada debido a la destrucción de SAO. Además, se identificó una reducción del 16% de las concentraciones de NO_x como un beneficio colateral de esta destrucción. Finalmente se concluyó que la instalación era compatible con el proceso de fabricación de clinker mientras son alcanzados los parámetros requeridos de eficiencia y emisiones⁸³.

10.2.3. Cuba

En los años 2006 al 2012 el gobierno cubano reemplazó 2,6 millones de refrigeradores domésticos y aires acondicionados que operaban con CFC-12 durante una iniciativa de eficiencia energética. A partir de estos

equipos se recuperaron 133 megatoneladas de SAO, las cuales fueron acopiadas en un centro de almacenaje en la Habana. En el 2012 Cuba implementó un proyecto, con apoyo económico del Fondo Multilateral, para la destrucción de las SAO en un horno de cemento usando tecnología desarrollada por Japón. Hasta la fecha de este estudio no han sido reportados los resultados de este proyecto⁸⁴.

80. www.fide.org.mx

81. www.quimobasicos.com.mx

82. www.holcim.com.mx

83. *United Nations Industrial Development Organization and the Government of France (UNIDO). (Septiembre 2017) Demonstration Project for Disposal of Unwanted ODS in Mexico.*

84. *Executive Committee of the Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol (diciembre 2010). Project Proposal: Cuba.*

10.2.4. Brasil

El 2014 se aprobó el financiamiento del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal para la realización de un proyecto piloto de demostración sobre gestión y eliminación de desechos de SAO en Brasil⁸⁵. Para las pruebas se tuvo a disposición 120 toneladas métricas de SAO ya disponibles en el país provenientes en su mayoría de centros de recuperación. El monto aprobado para su financiamiento fue de 1,460,600,000 USD y considera 4 componentes: 1) sistema de gestión de SAO, 2) pruebas de quema, 3) asistencia técnica y 4) supervisión/evaluación.

Uno de los grandes desafíos de este proyecto es la gestión del transporte, acopio y bodegaje de las SAO, dado que estas inicialmente se encontraban dispersas en distintas compañías y centros de recuperación en un extenso territorio que abarcaba más de 3.800 km cuadrados. Las principales brechas identificadas en torno a este tema son:

a) Carencia de un método estandarizado de cómo tratar y categorizar las SAO

(documentación y sistema de permisos subnacionales). Puesto que cada vez que una SAO residual cruzaba la frontera de un estado, se debían obedecer nuevas regulaciones, resultando en un mayor tiempo y costo del proceso.

b) Carencia de vehículos propios para el transporte de las SAO residuales y carencia de cilindros recargables para la recolección

y transporte de las SAO, dado que la mayor parte del mercado de refrigerantes en Brasil es suplido por cilindros no recargables.

c) Carencia de experiencia en el manejo y etiquetado de los cilindros/tanques recargables contenedores de SAO residual.

Para la destrucción de las SAO el Gobierno brasileño decidió utilizar una instalación de tratamiento de residuos peligrosos industriales, ya existente en el país, que poseía potencial de calificar con los estándares internacionales. En caso de que los resultados de las pruebas demostraran capacidad para destruir desechos de SAO de acuerdo con los estándares internacionales, la utilización de la capacidad nacional de destrucción sería más rentable que las otras alternativas (exportación hacia instalaciones cualificadas de países adherentes al Convenio de Basilea o desarrollar una nueva instalación nacional usando tecnologías importadas). La instalación seleccionada para las pruebas correspondió al horno rotatorio de la empresa Essencis⁸⁶, ubicado en el estado de Sao Paulo.

El informe con las conclusiones de estas pruebas aún no ha sido publicado. En la reunión número 84 del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, realizada el 2019⁸⁷, se incluyó un informe sobre la marcha de las actividades de este proyecto donde se indicó que la instalación de incineración concluyó los ajustes del proceso de incineración de SAO. Se realizó las pruebas de pre-incineración en septiembre del 2019 y terminó la prueba oficial de incineración en octubre del 2019, las cuales fueron supervisadas por CETESB⁸⁸.

Los resultados preliminares indicaron cumplimiento con las normas de emisión atmosféricas con la expectativa de que otras pruebas demostrarían su conformidad con el nivel de eficiencia de destrucción recomendado por la legislación brasileña. Esto permitiría a la instalación recibir la autorización final de CETESB para la destrucción de SAO. Se prevé que la expedición de la licencia de funcionamiento para que Essencis esté autorizada para la destrucción de SAO sea durante el año 2020. Según el PNUD, la planta de destrucción debería encontrarse completamente operacional para mediados del 2020 y el modelo comercial propuesto para la gestión sostenible de SAO en Brasil debería estar terminado para esa misma fecha. Un informe completo que contiene una evaluación de la gestión y destrucción de desechos de SAO se proporcionaría al Comité Ejecutivo al terminar el proyecto. Dicho informe aún no ha sido publicado.

85. Comité ejecutivo del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal (mayo, 2014). Proyecto piloto de demostración sobre gestión y eliminación de desechos de SAO.

86. www.essencis.com.br

87. Comité ejecutivo del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal (noviembre, 2019). Informes sobre los proyectos con requisitos específicos de presentación de informes <http://multilateralfund.org/84/Spanish/1/S8422.pdf>

88. Compañía ambiental del Estado de Sao Paulo, es una institución ambiental que monitorea y otorga licencias a proyectos con actividades consideradas potencialmente contaminantes.

11. Experiencias en LATAM con programas de recambio y plantas de tratamiento

11.1. Brasil

Brasil ha introducido numerosos programas de recambio de refrigeradores domésticos, enfocados en incrementar la eficiencia energética de los hogares. Las compañías distribuidoras de electricidad son impulsoras de estos programas puesto que se les exige que inviertan el 0,5% de sus ingresos anuales en proyectos sociales o ambientales. Brasil además recibió colaboración técnica y económica internacional para implementar dos plantas recuperadoras de materiales a partir de refrigeradores, congeladores y aires acondicionados de forma ambientalmente segura. Ambas plantas se describen a continuación:

Industria Fox⁸⁹

Se fundó el 2009 como una filial de Earth & Friends AG⁹⁰, e inició sus operaciones el 2011 en la ciudad de Sao Paulo. Posee capacidad para tratar 420.000 refrigeradores anualmente con la tecnología de la empresa URT Umwelt und Recyclingtechnik,^{91,92}.

La planta posee una línea automatizada para la recuperación de los materiales del refrigerador, la trituración se realiza en una maquinaria donde la trituración encapsulada basada en cuchillas rotatorias, presentada en el Anexo 2 del presente estudio. Los CFC recuperados durante el proceso son destruidos mediante craqueo a una temperatura de 1.200 °C⁹³. Esta planta inició sus actividades con fondos de Fair Recycling International Foundation⁹⁴ y la Agencia Suiza de Cooperación Económica⁹⁵. Durante el diseño de la fase piloto del proyecto de Industria Fox, se identificó que de los aparatos recolectados, tan solo el 5% contenía gas refrigerante. Esto debido a que, durante la recolección, los recicladores de base (RdB) cortaban el compresor y el circuito de cobre para valorizarlo, dejando que el gas se liberara a la atmósfera. Luego vendían las carcasas a otras compañías que poseían trituradoras mecánicas para recuperar su metal. Para fomentar la entrega de refrigeradores con gas refrigerante a ser tratados, Fair Recycling contribuyó pagando un incentivo monetario a los Recicladores de Base (RdB) de un 30% sobre el precio normal de un refrigerador usado si estos venían en perfectas condiciones y contenían aún el gas refrigerante. La Fundación financió esta iniciativa a partir de la venta de certificados de carbón en Suiza, en el cual cada certificado vendido equivalía a la adquisición y reciclaje de un refrigerador en Brasil⁹⁶. Bajo esta modalidad, entre los años 2011 al 2017, se logró el reciclaje de 750.000 refrigeradores.

89. <https://www.industriafox.com.br/>

90. Empresa dedicada a la implementación de proyectos del campo del reciclaje y la protección del clima.

91. URT Umwelt und Recyclingtechnik GmbH, consolidada en 1995. Se dedica al diseño, venta y servicio de plantas de reciclaje para la chatarra eléctrica y electrónica y para la disposición de los residuos provenientes de los refrigeradores.

92. URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH. Recycling. Climate protection by professional disposal of end-of-life cooling devices. https://www.urt-recycling.com/eigene_dateien/download/kuehlgeraete_engl_20180130_2.pdf

93. Tecnología descrita en el capítulo 3 del presente estudio.

94. <https://fair-recycling.com/>

95. <https://www.eda.admin.ch/deza/es/home.html>

96. Sorec. Globales Engagement. Obtenido en: <http://www.sorec.ch/forschung-und-verantwortung/globales-engagement/>

Los servicios de Industria Fox se han ampliado para alcanzar el reciclaje de todo tipo de electrónica y para la mantención, renovación y reparación de refrigeradores, principalmente del tipo comercial.

Industria Fox además ofrece servicios de gestión de proyectos y verificación de resultados para compañías energéticas. A partir del año 2017 la empresa posicionó sus programas de eficiencia energética a través de licitaciones públicas, bajo las cuales se le permite al consumidor optar a un subsidio para recambiar sus aparatos electrónicos antiguos. En la actualidad, los equipos recolectados por esta planta provienen de dos fuentes:

- 1) Desde puntos de recolección pequeños, asociaciones de RdB e instituciones sociales que reciben donaciones de equipos viejos y dañados y
- 2) A través de programas de recambio desarrollados en conjunto con las compañías de energía, fabricantes de refrigeradores, y del sector comercial que usa refrigeradores para la venta de helados y bebestibles.

Actualmente, Industria Fox dirige el programa de eficiencia energética “Bónus refrigerador inverter”, en el cual también participan la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), la concesionaria de

energía CPFL y la distribuidora minorista brasileña Magazine Luiza. Este programa comenzó en enero del 2020 y tiene como objetivo aumentar la eficiencia energética de los hogares por medio del recambio del refrigerador por otro más eficiente y con tecnología inverter⁹⁷. Para el programa se exige que los refrigeradores posean al menos 5 años de antigüedad. La concesionaria de energía en alianza con la distribuidora de electrodomésticos, bonifica hasta un 50% del nuevo equipo. Junto con el recambio del equipo, además se reemplazan cinco ampolletas de baja eficiencia por ampolletas LED. Además, aproximadamente 9 USD de lo que el consumidor paga por el aparato nuevo son destinados a organizaciones de proyectos sociales.

Revert Brasil⁹⁸

Es una sociedad empresarial conformada por Publikimagem⁹⁹ y Bom Clima¹⁰⁰. Se fundó el 2009 como resultado del Acuerdo de Cooperación Técnica firmado entre el Gobierno de Brasil y el Gobierno Alemán. Este acuerdo tuvo como objetivo apoyar la introducción de un programa piloto de logística inversa de refrigeradores en Brasil. Su implementación se desarrolló con apoyo técnico y económico de la Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). El valor del proyecto fue de alrededor de 10 millones de euros, de los cuales 5 millones fueron aportados por el Gobierno Alemán mientras que otros cinco millones provinieron de la empresa Revert Brasil¹⁰¹. El costo del traslado e instalación de la planta, junto con el equipamiento y capacitación fue de aproximadamente 3,5 millones de euros¹⁰².

97. La tecnología inverter consiste en usar un compresor de corriente alterna que regula su velocidad de acuerdo con las necesidades del sistema, consiguiendo de esta forma disminuir el consumo de energía.

98. www.revertbrasil.com.br/

99. Empresa brasileña dedicada al diseño y desarrollo de proyectos en las áreas de la comunicación, marketing, emprendimiento cultural y eficiencia energética. Sitio web: www.iki.com.br/site/

100. Empresa que ofrece servicios de mantenimiento y reparación para refrigeradores y aires acondicionados con enfoque en sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Sitio web: www.bomclimaac.com.br/

101. Mendes, D. (2010). Equipamento Vai Eliminar CFC de Geladeiras e Evitar emissao de CO2. <https://www.mma.gov.br/informma/item/6790-equipamento-vai-eliminar-cfc-de-geladeiras-e-evitar-emissao-de-co2>

102. \$5,9 millones de dólares aproximadamente.

Esta planta posee capacidad para tratar 350.000 equipos con la tecnología de la compañía URT Umwelt un Recyclingtechnik. Los refrigeradores son triturados por medio de cuchillas rotarias en un ambiente encapsulado¹⁰³, las SAO son recuperadas y almacenadas para su posterior destrucción (no son destruidas en la planta). Los equipos recolectados provienen principalmente de compañías energéticas que realizan programas de recambio¹⁰⁴ y empresas proveedoras de línea blanca, además de los 6 puntos de recolección que la planta dispone en estados aledaños. No se tiene acceso al registro de la cantidad de refrigeradores tratados en Brasil. El último número fue publicado por Jornal do Commercio do Recife y menciona que durante el año 2016 la planta trató un total de 51.000 refrigeradores¹⁰⁵.

Experiencias: Pese al apoyo de las compañías energéticas en la realización de programas de recambio y de los convenios con las empresas para recibir equipos comerciales, ninguna de las dos plantas ha alcanzado a operar a su máxima capacidad. En Indústria Fox se han reciclado aproximadamente 100.000 refrigeradores anualmente, lo cual constituye una cuarta parte de su capacidad total. Por su parte, Revert Brasil trató 51.000 refrigeradores durante el 2016 que es aún menos que una cuarta parte de su capacidad total. Los motivos por los cuales no han sido exitosas

se deben a la ubicación de las instalaciones (grandes distancias dada la geografía de Brasil) y el alto costo relacionado con su operación.

El traslado puede demorar hasta tres días y en un camión se transportan aproximadamente 15-30 refrigeradores. Este transporte tan lento no logra proveer a las plantas con las unidades suficientes para ser viable económicamente¹⁰⁶. Por otro lado, los operadores de procesos mecanizados y automatizados también cobran por sus servicios, a diferencia de los operadores de procesos manuales (vinculados con los centros de recuperación y reciclaje) que pueden cubrir sus gastos de acopio de desechos de SAO por medio de la venta de otros materiales reciclables que se extraen de los equipos¹⁰⁷.

11..2. Colombia

El 2013 se estableció la Ley REP en Colombia, la cual impulsó a los fabricantes e importadoras de electrodomésticos¹⁰⁸ a conformar Red Verde, que es un programa de recolección selectiva para el tratamiento de los electrodomésticos que finalizaron su ciclo de vida. Su objetivo es diseñar, financiar y ejecutar la gestión ambiental de los RAEE. Junto con la creación de Red Verde, se realizó en Bogotá, en octubre del 2014, un programa piloto de recambio de refrigeradores. Esta iniciativa fue elaborada por la Unidad Técnica de Ozono y expertos externos, recibiendo financiamiento del

103. URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH. Recycling. Climate protection by professional disposal of end-of-life cooling devices. https://www.urt-recycling.com/eigene_dateien/download/kuehlgeraete_engl_20180130_2.pdf

104. Se pueden revisar algunos de estos programas en el siguiente enlace <http://www.iki.com.br/site/pt/eficiencia-energetica/projetos.html>

105. Renata Monteiro (abril, 2017). Revert Brasil: Conscientização ambiental e negocios. <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/economia/nacional/noticia/2017/04/29/revert-brasil-conscientizacao-ambiental-e-negocios-280875.php>

106. Cambra, H.; Hill, J.; Knutson, D.; Sang, S. (mayo, 2015). A Case Study in Costa Rica: The Impacts of Refrigerants.

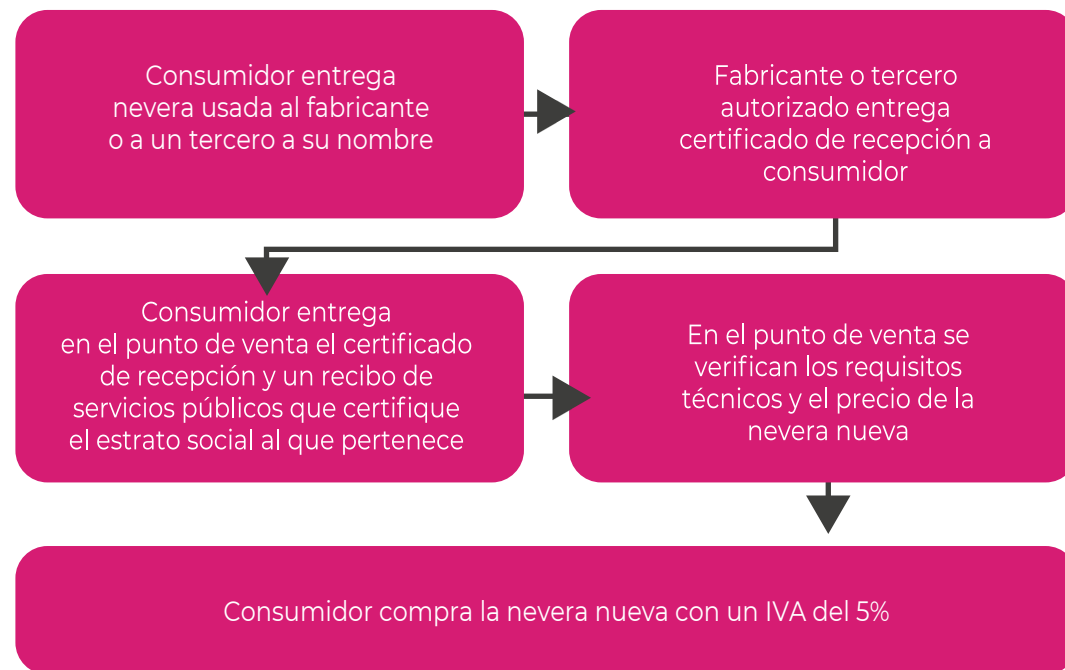
107. Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal. (mayo 2014) Propuesta del Proyecto: Brasil. Proyecto piloto de demostración sobre gestión y eliminación de desechos de SAO. <http://www.multilateralfund.org/72/Spanish/1/S7223.pdf>

108. Estas empresas son Challenger, Haceb, Abba, LG, Mabe, Panasonic, Samsung Y Whirpool.

Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal. El 2015, Red Verde se extendió para entregar cobertura a las 5 ciudades principales de Colombia y para tratar otras categorías de electrodomésticos además del refrigerador. Actualmente dispone de 6 empresas gestoras y cada una posee su propio punto de recolección.

En diciembre del 2017 el Sector Administrativo de Minas y Energía del Gobierno Colombiano aprobó el Decreto 2.143 que permite adquirir un refrigerador nuevo con un IVA rebajado del 19% al 5% en el caso que se entregue el refrigerador antiguo. Este beneficio se dispuso para los tres estratos más bajos. Con base en este decreto se presentó la campaña “Entrégala y ahorra”. El proceso de esta campaña se presenta a continuación en el Diagrama 1.

Diagrama 1. Diagrama de proceso del programa “Entrégala y Ahorra”. Fuente: Elaboración propia



Como se aprecia en el Diagrama 1, el consumidor debe entregar el refrigerador usado (de cualquier marca) a uno de los fabricantes o a un tercero autorizado. Luego, los equipos usados son llevados por los fabricantes a las instalaciones del gestor. Allí se lleva a cabo el proceso de desensamble manual que remueve y segrega los componentes del equipo. Para la campaña se calculó que el 75% del peso de un refrigerador lo constituye materiales que pueden ser reciclados o reincorporados a otros procesos productivos. Los elementos no aprovechables, como algunos gases refrigerantes, espumas de poliuretano y aceites, se extraen de manera segura y se gestionan evitando impactos negativos para el medio ambiente.

La alternativa definida para el tratamiento del refrigerante y la espuma de poliuretano y /o fibra de vidrio fue la destrucción por incineración directa. Para ello se destinó el horno rotatorio de la empresa Holcim¹⁰⁹ y se realizaron pruebas demostrativas. Este horno aún se encuentra en fase piloto puesto que las pruebas demostrativas han tomado más tiempo de lo inicialmente planificado (más detalles sobre los resultados de las pruebas demostrativas del horno se incluyen en el sección 6 del presente capítulo).

109. www.holcim.com.co/

Para finales del 2019 (aproximadamente 2 años desde la implementación del programa) se habían recolectado 2.123 refrigeradores domésticos viejos.

Durante el período del 2012 al 2016 se diseñó una “Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada” (NAMA)¹¹⁰ para el sector de refrigeración doméstica. La implementación de esta NAMA comprende el período del 2018 al 2023. Para su implementación cuenta con el apoyo de la GIZ y un financiamiento de 9 millones de euros de parte de la NAMA Facility¹¹¹.

El objetivo de la NAMA es reducir las emisiones de GEI causadas por los impactos directos e indirectos de los refrigeradores. Dentro de sus acciones se incluye: 1) el marco de política para la transformación del sector de refrigeración doméstica, 2) la conversión de las líneas de producción para el uso del HC-600a, 3) el programa sostenible de sustitución de refrigeradores domésticos junto con la gestión adecuada de los residuos de los refrigeradores al final de su vida útil y 4) la capacitación a los gestores de RAEE.

Esta NAMA busca la sustitución de 300.000 refrigeradores domésticos dentro de la iniciativa “Entrégala y Ahorra”. Para promover la participación de los consumidores, ofrecerá créditos para la compra del refrigerador nuevo. En septiembre del

2020 comienza su primera fase en la cual se espera el recambio de 25.000 refrigeradores.

Experiencias: El programa de sustitución de refrigeradoras “Entrégala y Ahorra” fue lanzado con el objetivo de recambiar un millón de refrigeradores en un período de 5 años, no obstante, a dos años de su implementación se ha logrado la sustitución de alrededor de 2.000 equipos. Los motivos por los cuales se le atribuye tener una menor acogida de la esperada, según Radio RCN¹¹², son la falta de conocimiento de la ciudadanía con respecto al programa, la falta de recursos económicos para acceder a él o la falta de interés de cambiar el refrigerador en el corto plazo¹¹³. No obstante, la NAMA que se encuentra en implementación está incorporando mayores incentivos económicos mediante la entrega de créditos a los consumidores. Dado que la NAMA comienza su implementación en la sustitución de refrigeradores en septiembre del 2020, aún no se poseen resultados de su implementación.

11.3. Ecuador

Entre los años 2012 y 2017 en Ecuador se ejecutó el programa de recambio “Plan Renova”. Este programa fue ejecutado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en cooperación con el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO). El proyecto tuvo como finalidad sustituir 330.000 refrigeradores ineficientes de más de 10 años de uso por otros de mayor

110. NAMA es un concepto introducido en el marco del Plan de Acción de Bali adoptado en la 13.ª sesión de la COP, se refiere a las opciones de mitigación que los países en desarrollo están dispuestos a tomar.

111. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. 2018. Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/47096251_Colombia-BUR2-1-2BUR%20COLOMBIA%20SPANISH.pdf

112. Radio RCN es una cadena de radios colombianas.

113. Olaya, M. (septiembre, 2018). Campaña para sustituir neveras de más de 10 años no tuvo acogida.

eficiencia durante los 5 años que duró el programa. Si bien la iniciativa logró sustituir tan solo 96.000 refrigeradores, esto permitió un ahorro anual de 63.000 MWh¹¹⁴.

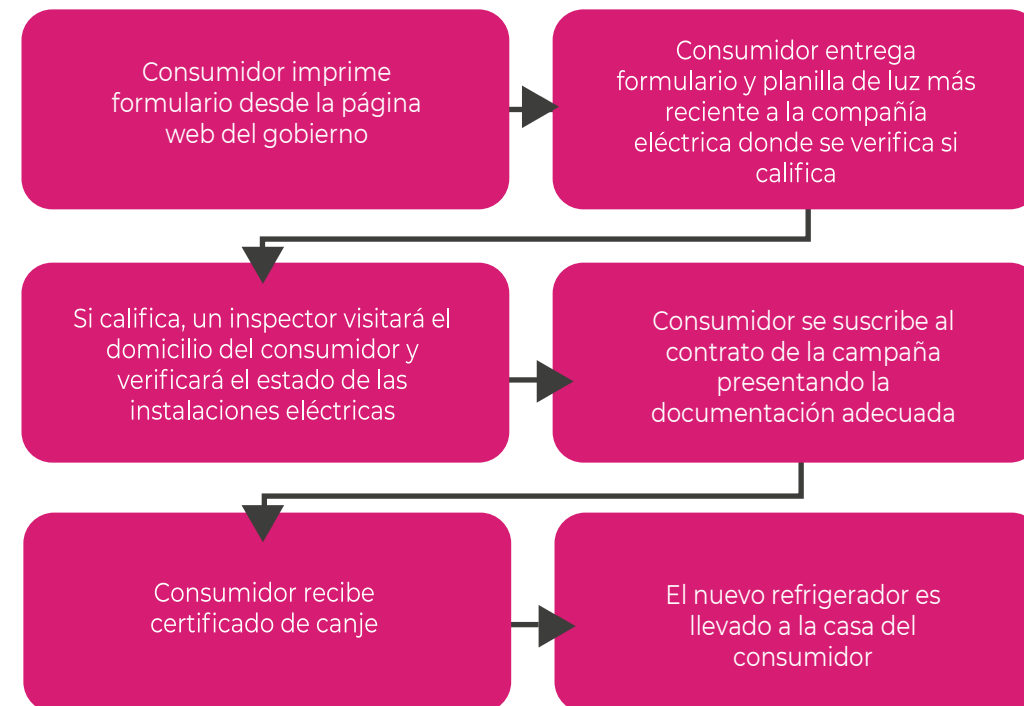
La población objetivo fue aquella que consumía hasta 200 kWh al mes en promedio, lo que representó a los hogares de las clases sociales baja y media. El Estado subsidió parte del precio del equipo y apoyó a través de créditos el financiamiento de la compra para el monto restante. El pago de este crédito se cobró mediante las cuentas mensuales de electricidad del consumidor con un plazo máximo de tres años y una tasa de interés fija del 5% anual¹¹⁵. El monto total presupuestado para el proyecto fue de 121,810,000 USD para todas las actividades relacionadas al proyecto, menos la recuperación de la cartera (lo recuperado en el cobro de la cuenta eléctrica del cliente). El detalle del financiamiento se puede revisar en el Anexo 7.

El precio por unidad de refrigerador fue de 545,10 USD, lo que incluía el valor del equipo y los gastos relacionados con el proyecto (administración, personal de promoción, publicidad, formularios, bodegaje, etc.). El Estado de Ecuador aportó con el 45,86% (USD 250) a los usuarios con un consumo inferior a 130 kWh al mes y con el 36,69% (USD 200) a los usuarios cuyo consumo eléctrico mensual se situaba entre 130 kWh y 200 kWh. En ambos casos, el Estado aportó adicionalmente con 17 USD por unidad por concepto

de disposición final o chatarrización. El apoyo económico total del Estado para subsidiar el precio de los refrigeradores fue de 75,900,000 USD¹¹⁶.

El procedimiento para el recambio de equipos se muestra en el Diagrama 2. El consumidor que participa en el proyecto debe ceder su refrigerador usado al distribuidor y/o fabricante para que éste lo lleve a los centros de acopio de ADELCA (Acería del Ecuador). El tratamiento incluye el retiro de los gases refrigerantes y el aceite del compresor y el desmantelamiento manual del refrigerador.

Diagrama 2. Diagrama de proceso del programa "Plan Renova". Fuente: Elaboración propia.



114. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador (2017). Informe de Rendición de Cuentas 2017. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Informe-RC-2017-MEER.pdf>

115. La Hora (octubre, 2011). Plan Renova Quiere Cambiar Refrigeradoras.

116. Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2017. Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. Quito, Ecuador. https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/documentos%20proyectos%20ambiente/pnud_ec_TERCERA-COMUNICACION-%20cambio%20clim%c3%a1tico%20WEB.pdf

Dentro del Plan Renova Refrigeradora, entre los años 2013 y 2016 se destruyeron 2,7 toneladas de gases de tipo CFC-12 y HFC-134a que contenían 94.000 refrigeradores domésticos obsoletos. La tasa de recuperación de gases refrigerantes proveniente del Plan Renova Refrigeradoras es de 55 gramos por unidad. La empresa Unión Andina de Cementos (Unacem)¹¹⁷ de Ecuador destruyó las SAO en hornos de cemento mediante incineración cumpliendo con los estándares de PNUD/Fondo Multilateral de Protocolo de Montreal.

Experiencia: No se alcanzó la demanda proyectada lo cual se atribuye a factores de gestión del proyecto, tales como, que los fabricantes tuvieron dificultades para entregar los refrigeradores dentro de los plazos establecidos, no se cubrió a tiempo la oferta requerida de los equipos y se tuvo restricción presupuestaria por atraso de los consumidores en el pago del crédito¹¹⁸.

11.4. México

A la fecha han operado dos programas de sustitución de refrigeradores con 10 años o más de uso. El primero fue el Programa de Financiamiento para el Ahorro de Energía Eléctrica (PFAEE), realizado el 2002 donde se sustituyeron 628.283 refrigeradores. El segundo fue el Programa de Sustitución de Equipos Electrodomésticos (PSEE), ejecutado desde marzo del 2009 hasta diciembre del 2012,

período durante el cual se logró la sustitución de 1.682.802 refrigeradores en la campaña difundida bajo el nombre “Cambia tu viejo por uno nuevo”¹¹⁹. Ambos programas fueron administrados por Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)¹²⁰. A continuación, se describe el programa más reciente.

Dentro del PSEE se ofreció a los consumidores un crédito para la compra y un subsidio de hasta 60 USD para los hogares de menor consumo eléctrico. Más del 75% de los participantes calificaron para el subsidio más alto. El crédito se pagó a través de la factura de la electricidad con una tasa de interés del 12% anual y un plazo máximo de 4 años. La deuda del crédito ofrecido a los consumidores participantes del programa se recolectó a través de la Comisión Nacional de Electricidad y la gestión de los refrigeradores fue realizada por la Secretaría de Medio Ambiente. Como requisito se exigió que el equipo a ser reemplazado tuviese al menos 10 años de uso y que se encontrase operativo al momento del retiro¹²¹.

Un esquema del proceso se presenta en el Diagrama 3. El programa puso a disposición de los consumidores un sitio web con los modelos de refrigeradores disponibles para el recambio. El usuario debía elegir su modelo y luego mandar un correo con copia de: el recibo de luz, comprobante de domicilio y otros documentos básicos de identificación personal. Posterior a esto recibía la confirmación de si calificaba o no para el programa junto con la fecha de entrega del refrigerador nuevo. La tienda de retail entregaba el refrigerador nuevo y se llevaba el

antiguo y entregándolo en los Centros de Acopio y Destrucción de Equipos (CayD) -empresas independientes dedicadas a dismantelar los aparatos retirados y a recuperar el gas refrigerante y el aceite contenido en los compresores de éstos-. El gas refrigerante y el aceite se almacenaron en cilindros para su disposición final¹²².

117. Unacem es una compañía de origen peruano líder en la industria del cemento que se encuentra presente en Perú, Ecuador, Chile, Colombia y EEUU. Sus actividades empresariales están enmarcadas en tres sectores: cemento, concreto y energía.

118. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=68745

119. Fideicomiso (2019) Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. 2013 – 2018 Retos, logros y desafíos.

120. <http://www.fide.org.mx/>

121. ONU Medio Ambiente. (2017) Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el medio ambiente y energéticamente eficientes.

122. Fideicomiso (2012). Cómo ayuda “El Viejo” a la Capa de Ozono. http://www.fide.org.mx/?page_id=6067

Diagrama 3. Proceso del programa “Cambia tu viejo por uno nuevo”. Fuente: Elaboración propia



Experiencia: Un estudio publicado por el American Economic Journal mostró que, si bien se logró la abrupta disminución del consumo eléctrico gracias a la sustitución de los refrigeradores, este ahorro energético fue un cuarto de lo que había estimado el Banco Mundial. La diferencia se debió a que las predicciones habían considerado refrigeradores muy antiguos (probablemente se estimó que la mayoría poseía más de 20 años de antigüedad), cuando en la práctica los equipos recibidos tenían en promedio 13 años de antigüedad. La diferencia se debió además a algunos atributos adicionales del equipo nuevo que aumentaban el consumo total del aparato, tales como las funciones de side-by-side (doble puerta) y dispensador de agua y hielo. El consumo adicional de un refrigerador con la función de side-by-side door es de alrededor de 100 kwh por año mientras que el de dispensador de hielo es de 80 kwh por año.

En este programa la tienda de retail determinaba cuánto subsidio correspondía entregar a cada hogar según su consumo de electricidad mensual, mientras ingresaba el número de cuenta del hogar en un sitio web diseñado para este propósito. Esto lo diferenció de otros programas a nivel mundial que funcionaban con subsidios, puesto que no requería que se rellenaran y enviaran vía correo, formularios ni pruebas de compras que después requiriesen esperar por otro correo con el cheque de reembolso, haciéndose más atractivo y rápido para el consumidor.

El ofrecimiento de créditos que se paguen por medio de la factura eléctrica hizo más atractivo el programa para el consumidor. No obstante, es un procedimiento que exige gestionar adecuadamente la base de datos para mantener un registro organizado de los pagos y moras. El programa inicialmente tuvo problemas en la gestión de las cobranzas debido a que mantuvo más de una base de datos. Esto fue solucionado una vez que ambas bases de datos fueran homologadas correctamente.

Situación actual de los refrigeradores y congeladores en Chile

12. Caracterización del mercado

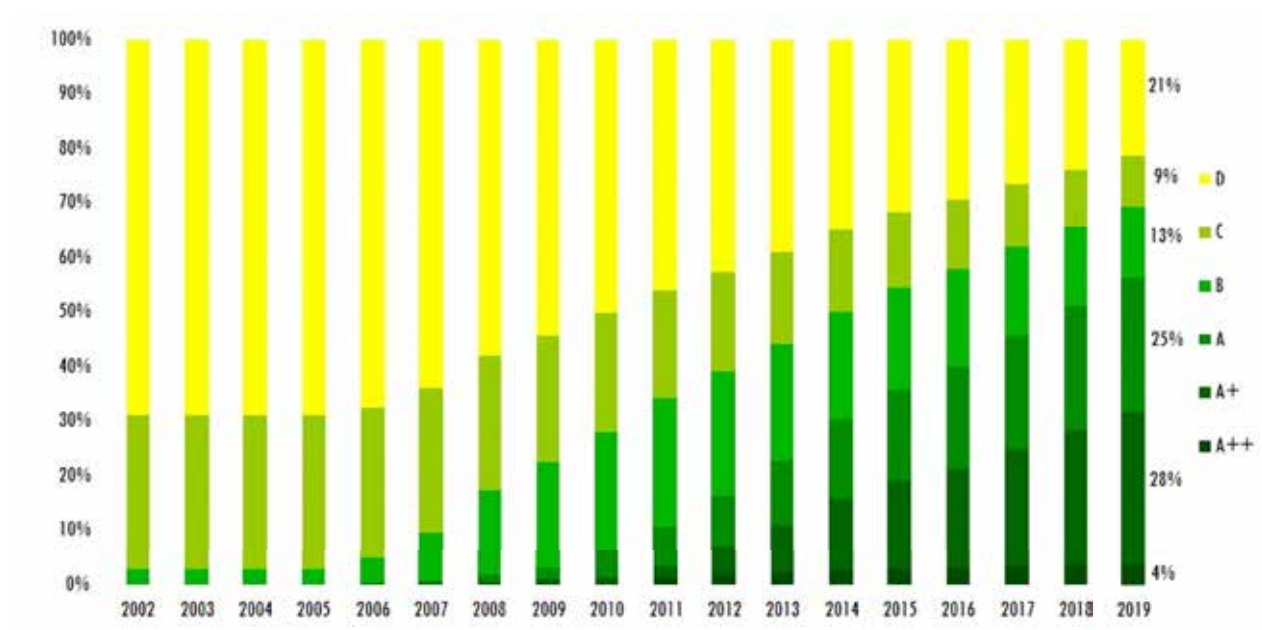
12.1. Línea base parque instalado

El año 2019 se estimó el parque instalado de refrigeradores en Chile dentro del Informe de Línea de Base para el proyecto “Acelerando la Transición a un Mercado de Refrigeradores Eficientes en Chile”, implementado por Fundación Chile. La estimación se realizó a partir del registro de importaciones de Aduana del año 2002, la base de datos de la SEC para ventas de equipos de refrigeración del 2004 y de los años 2007 al 2015. La metodología empleada se basó en la del informe “Generación de metodología para la medición de línea base del consumo energético en artefactos domésticos. Propuesta de seguimiento y aplicación en artefactos domésticos etiquetados” desarrollado por Fundación Chile el año 2009.

El Gráfico 1 presenta los resultados de esta estimación. A partir del año 2016 se extrapolaron linealmente los datos de ventas, puesto que no se contaba con dichos datos. Se estiman 6,8 millones de refrigeradores congeladores presentes en el parque instalado para el año 2019 y que el 43% de este valor pertenece a la clase de eficiencia energética B o menor. Las clases de EE predominantes son la clase A+ y la clase A con un 28% y un 25% de participación respectivamente. En las secciones siguientes de este capítulo se detalla el comportamiento del mercado en Chile al analizar las tendencias de equipos importados y certificados.

Gráfico 1. Variación de refrigeradores y congeladores instalados según año y clase de EE. Fuente: Fundación Chile

Proyección del parque instalado de refrigeradores congeladores al 2019



En el presente estudio se emplearon los resultados del estudio citado¹²³ para estimar la cantidad total de refrigerante y agente espumante presente en el parque instalado de refrigeradores congeladores. La metodología empleada para este cálculo se presenta en el Anexo 9. Se estima que existen entre 8.300 y 9.600 kilotoneladas de CO₂ equivalente de refrigerante y agente espumante presente en el parque instalado al año 2019. Un refrigerador congelador promedio del parque instalado posee 1.300 Kg de CO₂ equivalente de agente espumante y refrigerante, valor que asciende a 2.750 Kg de CO₂ equivalente para un refrigerador congelador de 10 años de antigüedad o más.

12.2. Caracterización de equipos importados

En este capítulo se presenta la tendencia de algunas características relevantes en el estudio del potencial impacto ambiental de un refrigerador o congelador, tales como la eficiencia energética, tipo de refrigerante, cantidad de refrigerante, etc. El estudio se realiza para los equipos importados y los equipos certificados en Chile considerando los 3 equipos de estudio (refrigerador, refrigerador-congelador y congelador). Se empleó la base de datos de equipos certificados de la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) y el registro de importaciones y exportaciones

de parte del Servicio Nacional de Aduanas Chileno (en adelante aduana).

El detalle de la metodología se muestra en el Anexo 8. Este estudio se basa solo en el etiquetado para estudiar la eficiencia energética del equipo y relacionarla con el tipo y cantidad de refrigerante. No obstante, la eficiencia energética depende además de otros componentes, tales como el compresor, las placas electrónicas, la aislación, ventilación interna, etc. La eficiencia del compresor influye mayoritariamente en la eficiencia del equipo, aquellos que son del tipo inverter operan por velocidad variable logrando ser más eficientes que los del tipo on-off. Las placas electrónicas determinan los ciclos de operación del refrigerador, por ejemplo, para que disminuya su frecuencia en la noche cuando la puerta del refrigerador tiende a permanecer cerrada.

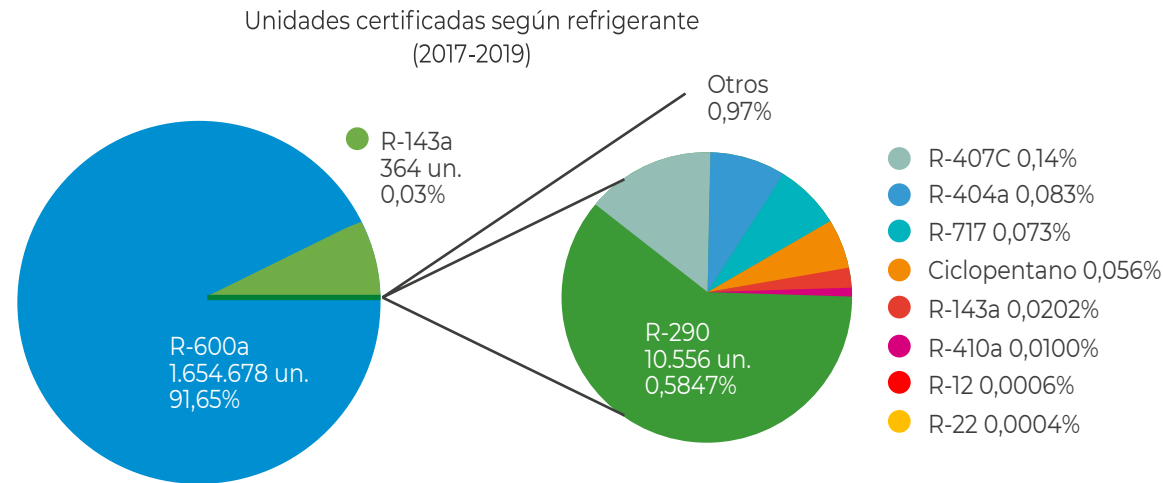
Cabe mencionar que en la base de datos recibida de la aduana se identificaron algunas unidades que en su glosa decían contener CFC. Estos modelos no fueron hallados en los equipos certificados por la SEC. Con el objetivo de facilitar la lectura de los gráficos, se usó una leyenda donde a cada clasificación de refrigerante (HC, HFC, HCFC y CFC) le pertenecen tonalidades de un determinado color. La leyenda general es la siguiente: Azul y celeste (HC), Verde (HFC), Naranja (HCFC), Rojo (CFC).

12.2.1. Tipo de refrigerante en equipos importados

Se logró identificar el tipo de refrigerante para el 77,9% de las unidades importadas. El Gráfico 2 presenta el tipo de refrigerante según las unidades importadas durante los años 2016 al 2018.

123. Fundación Chile (2019). Informe de Línea de Base para el proyecto "Acelerando la Transición a un Mercado de Refrigeradores Eficientes en Chile".

Gráfico 2. Equipos importados según refrigerante (2016-2018). Fuente: Aduana



Del Gráfico 2 se observa que el refrigerante predominante en los equipos importados es el HC-600a en un 91,65%, seguido por el HFC-134a en un 7,37%. Se observa, además, que se importan equipos con CFC-12 y HCFC-22 en un porcentaje menor al 0,001% cada uno. Se encuentra presencia del refrigerante R-717 el cual no es usado para refrigeración por ciclos de compresión, sino que para refrigeración de ciclos de absorción. Cabe mencionar que este mecanismo es minoritario en refrigeración doméstica y se usa típicamente en refrigeración de hoteles donde se requiere un aparato más silencioso.

12.2.2. Cantidad de refrigerante en equipos importados

Se logró identificar la cantidad de refrigerante para el 69,33% de las unidades importadas. Se calculó la cantidad de refrigerante promedio para los dos más comunes (HC-600a y HFC-134a). No fue factible obtener un promedio representativo para los otros tipos de refrigerante debido a que fueron identificados en una fracción muy pequeña del total de modelos y a la presencia de algunos equipos comerciales o industriales filtrados que contenían una cantidad anómala de refrigerante

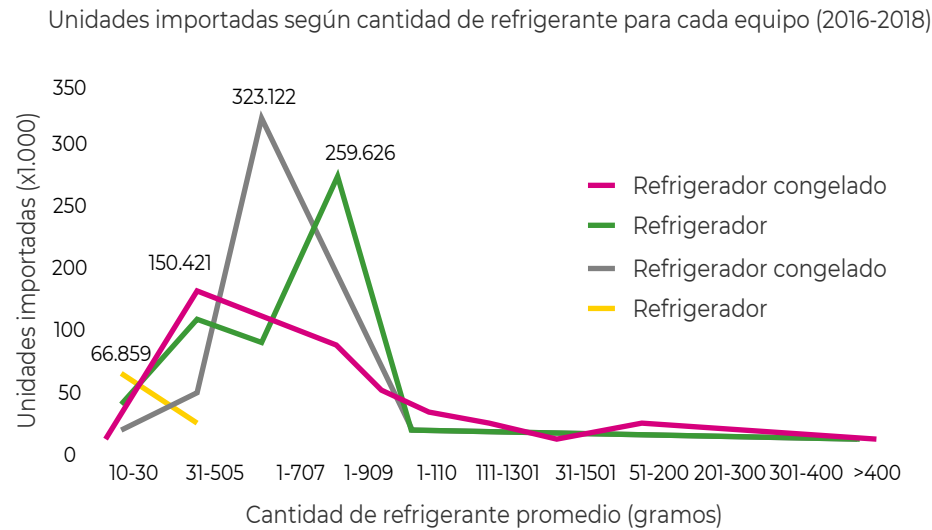
con respecto a los equipos domésticos. El HC-600a posee una media de 59,3 gramos mientras que el HFC-134a posee una media de 126,6 gramos, equivalente a 177,48 kg de CO₂eq y 181,081 kg de CO₂eq respectivamente. Estos valores son similares a los encontrados en la bibliografía, donde se indica que la media del HC-600a en un refrigerador es de 60 gramos¹²⁴ y que en el HFC-134a es de 120 gramos¹²⁵, pudiendo variar en un rango entre 100 gramos a 300 gramos¹²⁶. En la teoría se afirma que el HC-600a requiere una menor cantidad de refrigerante porque opera a una menor presión con relación al HFC-134a.

124. GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano. Bogotá, Colombia.

125. UNEP Ozone Secretariat (abril, 2015). Fact Sheet 3. Domestic Refrigeration. Bangkok, Tailandia.

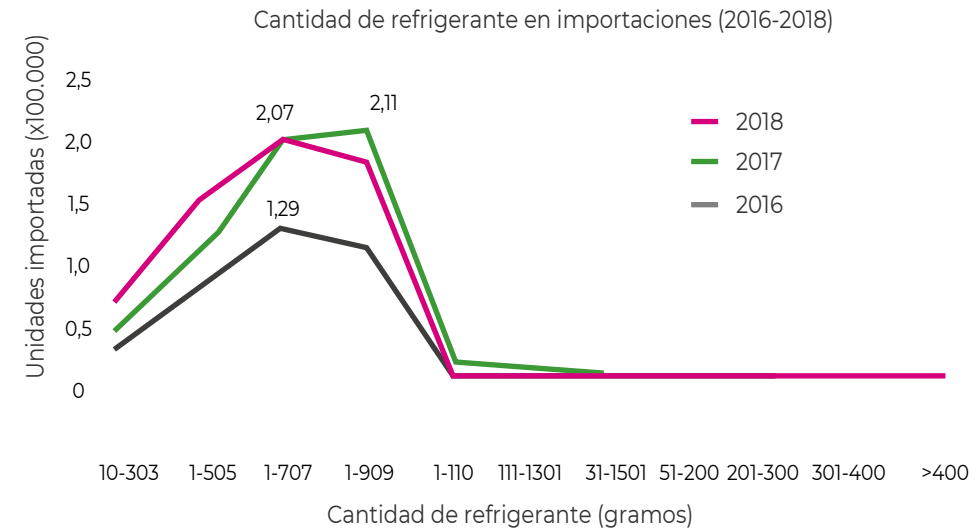
126. Dehoust, G. & Schüler, D. (2007). Lyfe Cycle Assessment Of The Treatment And Recycling Of Refrigeration Equipment Containing CFCs And Hydrocarbons. Darmstadt, Alemania. Disponible en: <https://www.oeko.de/oekodoc/1108/2007-226-en.pdf>

En el Gráfico 3 se analiza el número de unidades importadas y la cantidad de refrigerante para cada tipo de equipo.



Del Gráfico 3 se observa que los equipos con menor cantidad de refrigerante son los frigobares los cuales poseen 50 gramos o menos. La baja cantidad de refrigerante en estos aparatos se debe a que estos equipos poseen un circuito refrigerante más pequeño al deber enfriar un menor volumen, por lo tanto, requiere una menor cantidad de refrigerante para alcanzar la presión requerida para funcionar. Los refrigeradores congeladores, son los segundos aparatos en poseer la menor cantidad de refrigerante, tendiendo al rango de los 31 a los 50 gramos.

El Gráfico 4 muestra la variación de la cantidad de refrigerante para los tres años estudiados.



Del Gráfico 4 se observa que la mayoría de los aparatos (el 64% de las unidades importadas e identificadas) contienen entre 50 a 90 gramos de refrigerante y solo un 0,5% poseen más de 130. Además, el año 2018 la cantidad de refrigerante tiende a ser menor con respecto a los otros años predominando los refrigeradores y congeladores que poseen entre 51 gramos a 70 gramos de refrigerante, resultado que muestra la tendencia de los equipos en requerir cada vez menor cantidad de refrigerante para operar.

El Gráfico 5 muestra un análisis entre la cantidad de refrigerante y el IEE. Para la elaboración de este gráfico se calculó el promedio del IEE según los equipos agrupados en el mismo rango de cantidad de refrigerante.

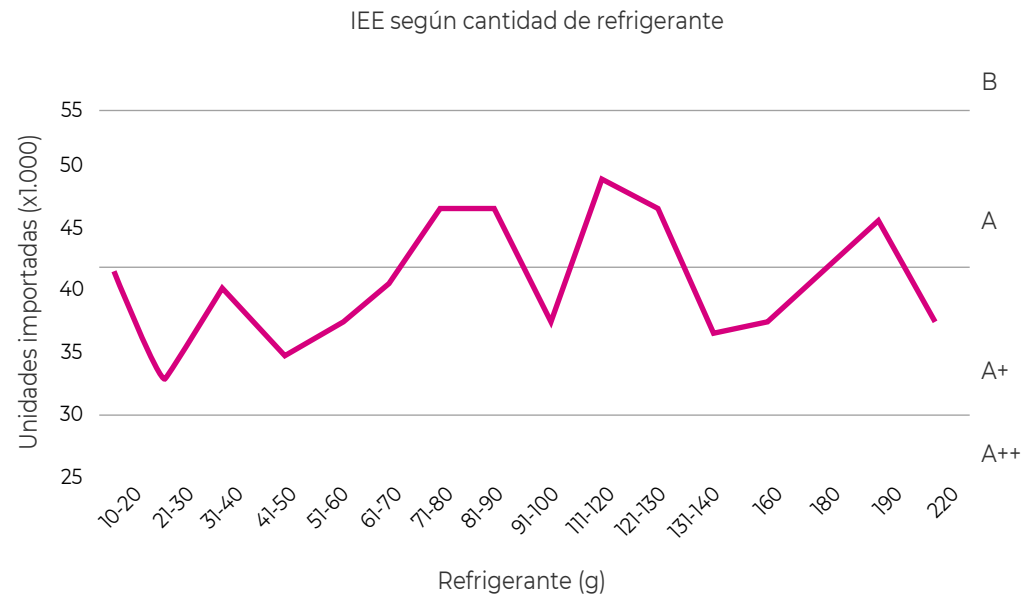


Gráfico 5. IEE según cantidad de refrigerante en importaciones. Fuente: Aduana

El Gráfico 5 no muestra una tendencia de la curva hacia un valor y se comporta más bien como una línea horizontal. Esta curva se interpreta como que no existe una relación directa entre la cantidad de refrigerante de un refrigerador o congelador con respecto a su IEE. Lo anterior se explica debido a que cada equipo es cargado con la cantidad de refrigerante necesaria de acuerdo con su compresor y tipo de refrigerante (entre otras variables) para que opere de la forma más eficiente posible.

12.2.3. Eficiencia energética en equipos importados

En relación con la clase de eficiencia energética, se logró obtener información para el 88,6% de las unidades ingresadas. Específicamente para los años 2016, 2017 y 2018 se logró obtener información del 94%, 97% y 98% respectivamente. El Gráfico 6 muestra el número de unidades importadas junto con la proporción de la clase de eficiencia energética de estas unidades.

Unidades importadas anualmente según clase de EE (millares)

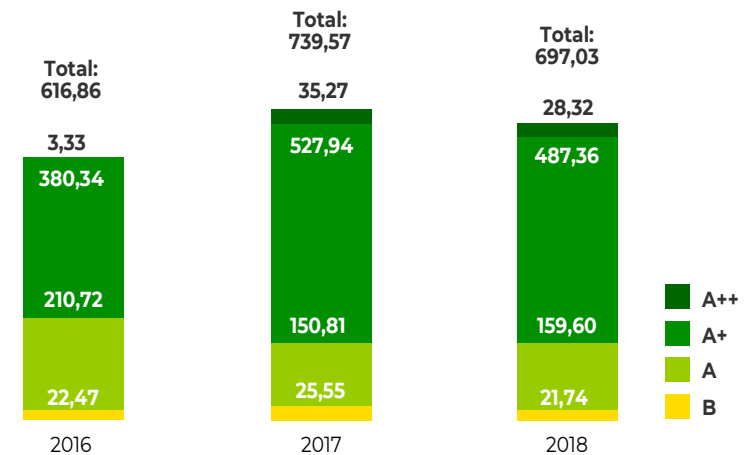


Gráfico 6. Unidades importadas anualmente según clase de EE. Fuente: Aduana y SEC

Del Gráfico 6 se observa que las unidades importadas aumentan entre los años 2016 al 2018 en más de 100.000 unidades y que este aumento corresponde principalmente a los equipos de clase A+ y A++, corroborándose que las importaciones de equipos más eficientes energéticamente están teniendo una participación en el mercado cada vez mayor. La clase de eficiencia energética predominante en las importaciones es la clase A+ en un promedio del 68% para los tres años, seguida de la clase A que constituye un 25,4% de las importaciones.

Para analizar en más detalle el Gráfico 6 se añade la Tabla 12, la cual presenta la variación porcentual entre cada año y para todo el período en estudio (tercera columna).

Tabla 12. Variación porcentual de clase de EE en importaciones. Fuente: Aduana y SEC

Variación porcentual			
Clase	2016 al 2017	2017 al 2018	2016 al 2018
B	13,71%	85,09%	-3,25%
A	-28,43%	5,83%	-24,26%
A+	38,81%	-7,69%	28,14%
A++	958,63%	-19,71%	750,03%

Al observar la variación porcentual para cada año (columna 1 y 2) no se observa un crecimiento ni una disminución constante para ninguna clase de eficiencia energética, no obstante, la variación porcentual entre el año 2016 al 2018 muestra que las clases A y B tienden a disminuir y que las clases A+ y A++ a aumentar en número de importaciones. Se aprecia además que la clase A++ tuvo un abrupto crecimiento entre el año 2016 y el 2017, aumentando cerca de 10 veces su número inicial de importaciones.

El Gráfico 7 presenta la relación entre el refrigerante y la clase de EE para las unidades importadas durante los años 2017 y 2018. Para la elaboración de este gráfico, se encontró información del 85,9% y 90,9% para los años 2017 y 2018 respectivamente. El año 2016 se excluyó del análisis dado que se encontró información solo para el 52,71% de los datos. El Gráfico 7 solo muestra los refrigerantes HFC-134a y HC-600a, debido a que (como se muestra en el Gráfico 2), los demás refrigerantes tienen una participación menor al 1% por lo que no se alcanzan a visualizar, al mismo tiempo de que pierden relevancia para las conclusiones.

Refrigerante según Clase en Equipos importados (millares) (2017-2018)

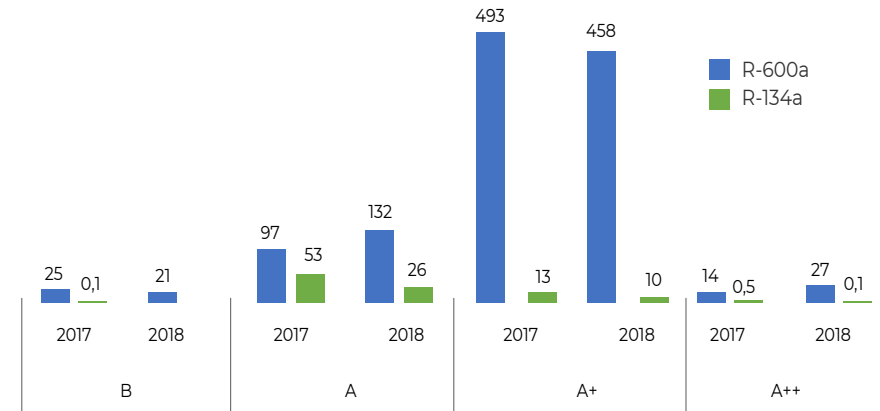


Gráfico 7. Refrigerante según Clase de EE en equipos importados (2017-2018). Fuente: Cruce de datos de Aduana y SE

El Gráfico 7 muestra que el refrigerante HC-600a predomina en todas las clases de EE, lo cual es congruente debido a que la mayoría de los equipos importados poseen este refrigerante. Con respecto al HFC-134a, se observa que éste tiene una mayor presencia en la clase A con respecto a las otras clases para ambos años, mostrando que los equipos que ocupan HFC-134a tienden a una menor eficiencia energética. Esto se condice con datos del PNUMA, quien publicó el 2012 que el HC-600a contribuye en un 5% a la eficiencia del equipo en relación con el HFC-134a¹²⁷.

127. TEAP (2019). Report Of The Technology And Economic Assessment Panel. Volume 4: Decision xxx/5 Task Force Report On Cost And Availability Of Low GWP Technologies/Equipment That Maintain/Enhance Energy Efficiency

12.2.4. Impacto ambiental medido en CO₂ equivalente

El Gráfico 8 estudia la relación entre cada tipo de refrigerante ingresado y su potencial impacto de calentamiento global implicado. Dado que no se identificó el tipo y cantidad de refrigerante para cada modelo, para la elaboración de este gráfico se realizaron algunos supuestos, los que se mencionan en la metodología para su elaboración, incorporado en el Anexo 8. El resultado final fue presentado en escala logarítmica para facilitar su lectura dada la alta diferencia de magnitud entre cada tipo de refrigerante.

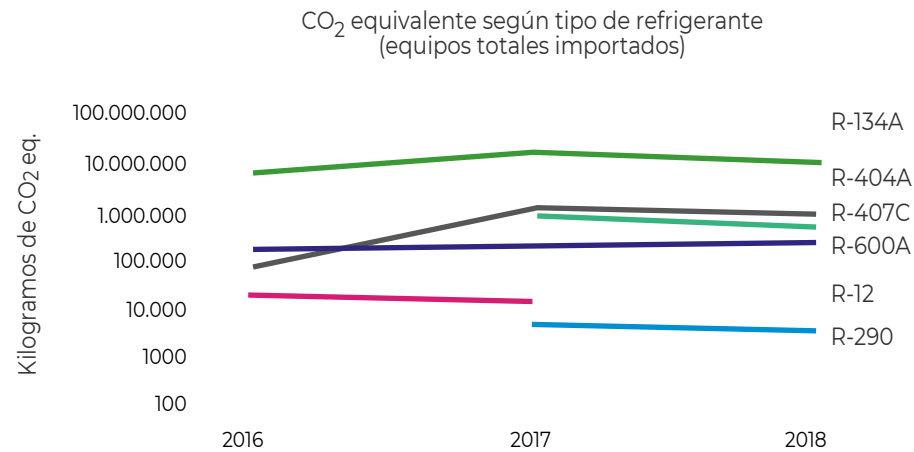


Gráfico 8. Unidades y kilotoneladas de CO₂ importadas según tipo de refrigerante. Fuente: Aduana

Del Gráfico 8 se observa que, si bien la gran mayoría de los equipos importados contienen HC-600a como refrigerante, estos constituyen una proporción muy baja del total de kilogramos de CO₂ equivalente, lo que ocurre debido a que posee un PCG de apenas 3 g CO₂ eq. En cambio, el HFC-134a, que posee un PCG de 1.430 CO₂ eq, tiene el primer lugar en las importaciones, representando la mayor cantidad de CO₂ equivalente ingresada al país. Si más del 90% de los equipos importados poseen HC-600a, entonces el agente espumante presente en tales equipos debiese ser mayoritariamente ciclopentano o isobutano, ambos tienen un PCG de 5 g CO₂ eq, lo que representaría un total de 1.013 toneladas de CO₂ eq. (asumiendo un promedio de 330 gramos de agente espumante en un refrigerador).

12.3. Caracterización de equipos certificados

12.3.1. Tipo de refrigerante en aparatos etiquetados

Se identificó el tipo de refrigerante para el 75,3% de los equipos certificados. El Gráfico 9 presenta la proporción de los tipos de refrigerante identificados en los equipos certificados durante los años 2017 al 2019.

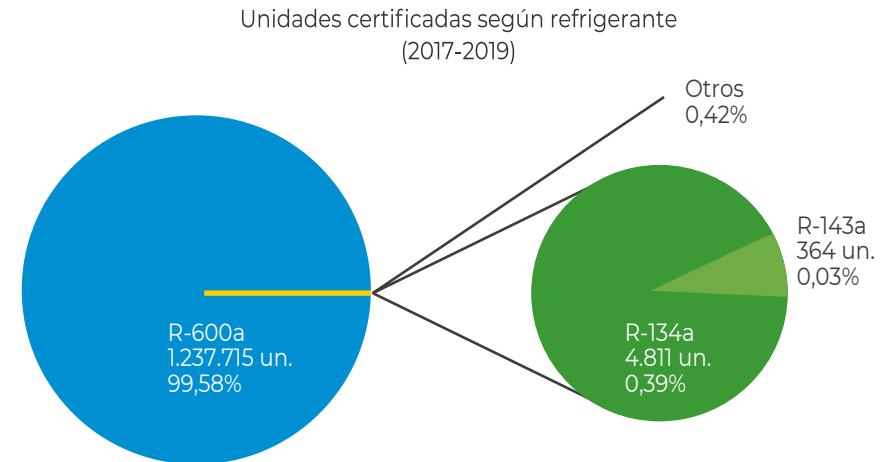
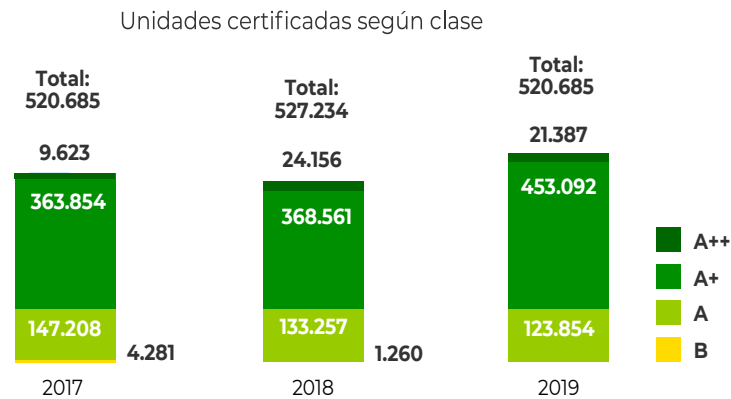


Gráfico 9. Unidades certificadas según tipo de refrigerante (2017-2019). Fuente: Aduana y SEC

En el Gráfico 9 se observa que solo tres tipos de refrigerantes están presentes en los equipos certificados, entre los cuales destaca el HC-600a con el 99,58% de las unidades certificadas.

12.3.2. Eficiencia energética de aparatos etiquetados

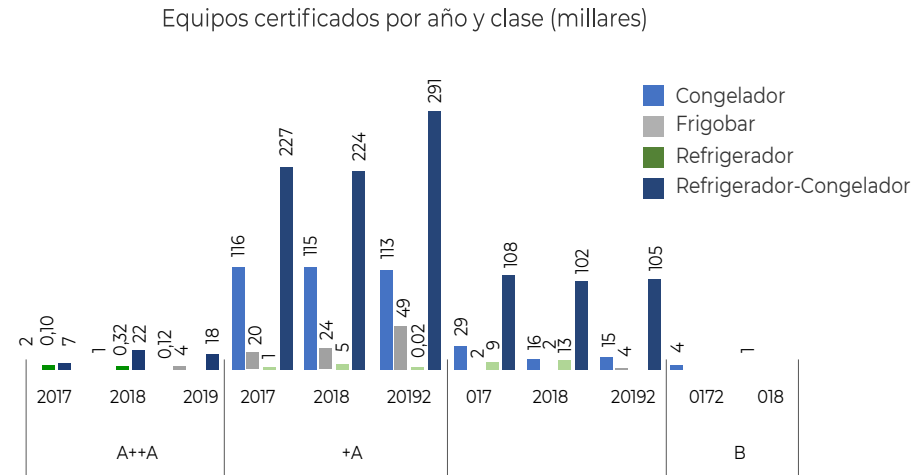
Gráfico 10. Unidades certificadas según clase de eficiencia energética. (2017-2019). Fuente: SEC



En el Gráfico 10 se observa que, al igual que en las importaciones, predominan los equipos certificados de la clase A+, seguidas de la clase A. Para los 3 años, la clase A+ predomina en promedio un 71,83%, mientras que la clase A en un 24,50%. Los equipos certificados con la clase A+ tienden a ser mayor en número cada año. A continuación, el Gráfico 11 presenta el número de equipos certificados según año y clase de EE, permitiendo analizar en mayor detalle la información del Gráfico 10.

128. Ministerio de Energía, 2018. Resolución Exenta N°74

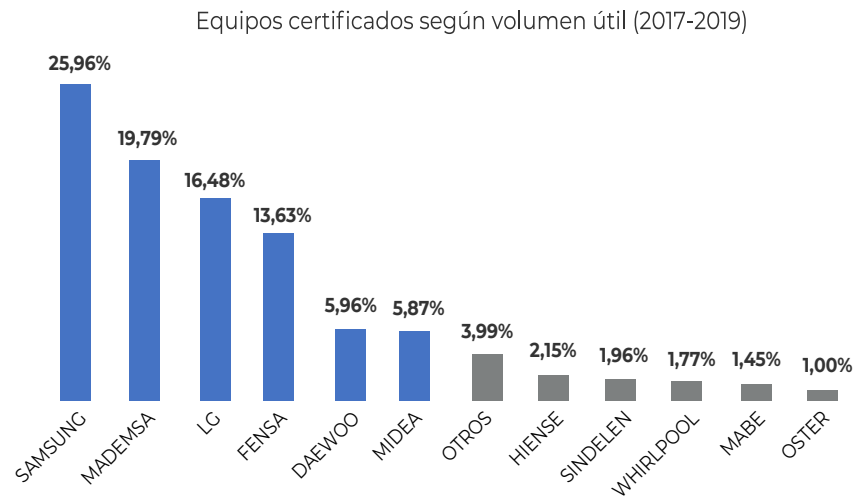
Gráfico 11. Equipos certificados según año y clase (2017-2019). Fuente: SEC



En el Gráfico 11 se observa que la mayor cantidad de unidades certificadas corresponden a refrigeradores-congeladores, predominando en las categorías A++, A+ y A. El congelador es el segundo equipo con más certificaciones y, además, es el único equipo que recibió certificación en la clase B durante los años 2017 y 2018. La presencia de congeladores en esta clase puede explicarse debido a que los estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS) prohibieron la clase B primero para refrigeradores-congeladores y posteriormente para congeladores¹²⁸. La clase A+ prevalece en la certificación de todos los equipos, a excepción del refrigerador, el cual tiende a un mayor número de certificaciones para unidades de la clase A.

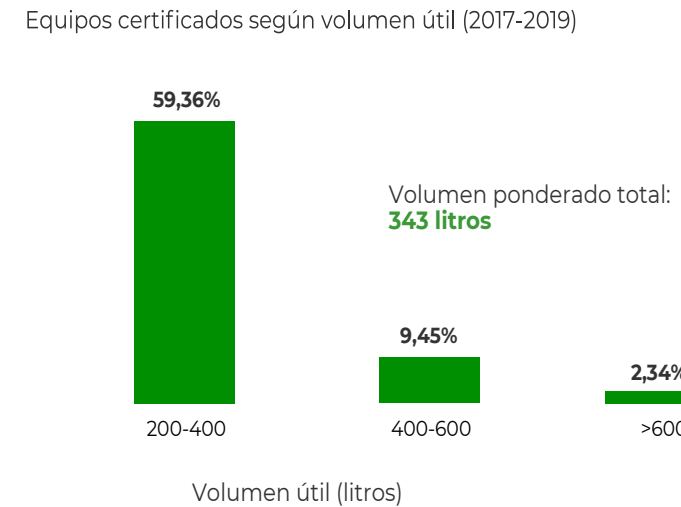
Dado que el refrigerador congelador es el equipo con mayor número de certificaciones, se infiere que también es el equipo con mayor demanda en las ventas, por lo cual se profundizará el análisis en este tipo de equipo. El Gráfico 12 reporta la presencia de refrigeradores congeladores certificados por cada marca durante los años 2017 al 2019. En la categoría "Otros" se han agrupado las marcas con una participación menor al 1% en unidades certificadas.

Gráfico 12. Marcas con más certificaciones en refrigeradores congeladores (2017-2019). Fuente: SEC



El 88% de los equipos certificados entre los años 2017 y 2019 corresponden a las marcas Samsung, Mademsa, LG, Fensa, Daewoo y Midea. Cabe mencionar que las marcas Fensa y Mademsa, entre otras, pertenecen al grupo Electrolux (corporación multinacional sueca), por lo que este grupo por sí solo representa un poco más del 30% de las unidades certificadas que ingresan al mercado. El Gráfico 13 presenta la tendencia de los equipos certificados de acuerdo con su volumen útil declarado, entendiéndose por volumen útil como la suma del volumen útil de refrigeración y el volumen útil de congelamiento. Para este análisis se consideró las 4 categorías de equipos.

Gráfico 13. Equipos certificados según volumen útil (2017-2019). Fuente: SEC



Según el Gráfico 13, el tamaño más común de los equipos certificados es entre 200 y 400 litros, ubicándose en este rango el 59,36% de las unidades certificadas. El promedio ponderado total de todas las unidades certificadas es de 343 litros.

13. Gestión de refrigeradores en Chile

129. E2BIZ Consultores (2019). Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenidos en la Ley 20.920.

13.1. Procesos de pretratamiento y tratamiento de refrigeradores y congeladores en Chile

La información de este capítulo se basa en el estudio "Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenidos en la ley 20.920"¹²⁹ realizado por E2BIZ y en los testimonios durante conversaciones directas con empresas gestoras para la realización de este estudio. Estas empresas corresponden a Regener, Degraf y CHILERECICLA.

13.1.1. Procesos de pretratamiento

Según la Ley 20.920 (2016, Ministerio del Medio Ambiente) el pretratamiento se define como las operaciones físicas preparatorias o previas a la valorización o eliminación, tales como separación, desembalaje, corte, trituración, compactación, mezclado, lavado y empaque, entre otros, destinadas a reducir su volumen, facilitar su manipulación o potenciar su valorización. En el caso de los aparatos eléctricos con gases refrigerantes, el proceso de pretratamiento en Chile propiamente tal, según E2BIZ, consta del desmontaje de las piezas, extrayendo fácilmente el acero, plásticos y vidrio para ser almacenados en contenedores por separado a la espera de su siguiente fase. Luego de esto se continúa con el desarme de los componentes para la obtención de metales no ferrosos. Si el compresor no fue retirado previamente por completo y solo perforado, se retira la pieza para disponerlo en el área de residuos peligrosos.

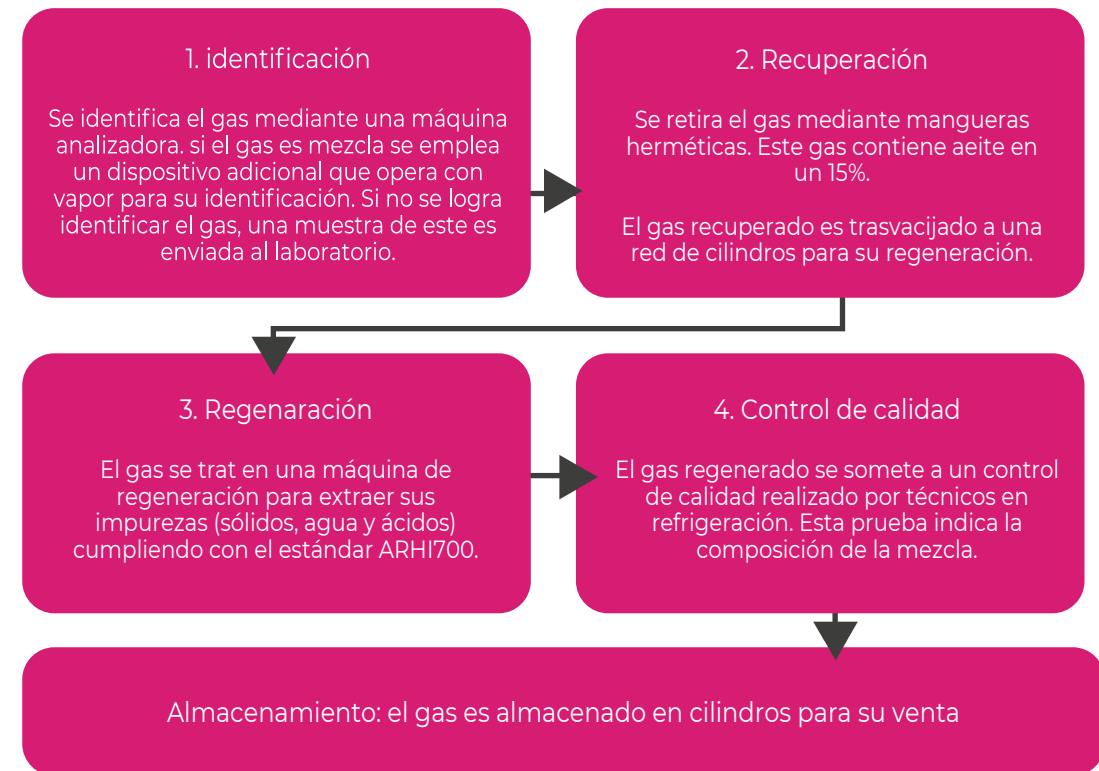
Los gestores consultados reciben residuos por lotes. Estos provienen principalmente de empresas, por lo tanto, los refrigeradores y congeladores que reciben son mayoritariamente comerciales y no de uso doméstico. Los refrigeradores domésticos recibidos provienen mayoritariamente de campañas esporádicas realizadas en conjunto con municipalidades, multitiendas o de otros gestores. Frecuentemente se reciben refrigeradores domésticos en las plantas sin refrigerante.

En cada gestor consultado es común el desmontaje de las piezas más extraíbles tales como bandejas, compresor, condensador, circuito de cobre, etc., junto con el envío de estas a valorización o a disposición final (según cada componente). No obstante, el método para desarmar la carcasa del refrigerador y el tratamiento de su espuma varía para cada gestor. El desarme de las carcasas se puede realizar manualmente o en trituradora de atmósfera no encapsulada. En el caso de usar una trituradora de este tipo se requiere acumular una cantidad de 200 toneladas para usarla. Quienes optan por el procesamiento manual deben realizar cortes a la carcasa en función de prepararla para su próximo proceso. Todos los gestores con quienes se conversó valorizan los metales ferrosos y no ferrosos, plásticos puros y vidrio. De acuerdo con sus testimonios, no existe un mercado para plástico mixto en Chile por lo que se debe enviar a valorización energética o a disposición final. El tratamiento del gas refrigerante y de la espuma se detalla en la sección 4.2 de este capítulo para cada gestor.

13.1.2. Proceso de tratamiento

El tratamiento se define como las operaciones de valorización y eliminación de residuos según la Ley N° 20.920 (2016, del Ministerio del Medio Ambiente). Para los aparatos de intercambio de temperatura, tales como los refrigeradores y congeladores, la recuperación y reciclaje se hace en nuestro país gracias a que existen equipos que se comercializan multifuncionales con carga de gas y reciclado dentro del territorio nacional. La regeneración del gas refrigerante es realizada por una empresa chilena. El proceso empleado para la regeneración consiste en:

Diagrama 4. Proceso de regeneración de gases refrigerantes. Fuente: Las Últimas Noticias¹³⁰.



Las Figura 8 muestra la máquina analizadora de imagen y la Figura 9 la máquina regeneradora de gases, mencionadas en el Diagrama 1.



Figura 8. Identificador de gases por espectroscopía infraroja. Fuente: Regener Chile



Figura 9. Regeneradora de gases. Fuente: Regener Chile

El procedimiento de recuperación, reciclaje y regeneración debe ser realizado por empresas que cuenten con las herramientas y equipos necesarios para la manipulación adecuada, así como también de contenedores aprobados para tal tratamiento con su rótulo correcto en el contenedor de los refrigerantes¹³¹. Los tratamientos previamente mencionados pueden realizarse dentro de los equipos y maquinarias especializadas necesarias para retirar los gases refrigerantes, entre ellas: detector electrónico de fugas, solución espumosa y equipo de recuperación.

130. Las Últimas Noticias. (octubre 2017). Paso a paso así reutilizarán tóxicos gases refrigerantes.

131. INN para Ministerio del Medio Ambiente - (Nch. 3241 - 2011). Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización <http://www.chryc.cl/biblioteca-camara/biblioteca-camara-2016-08-003.pdf>

14. Gestores en Chile para el tratamiento de refrigeradores y congeladores en desuso

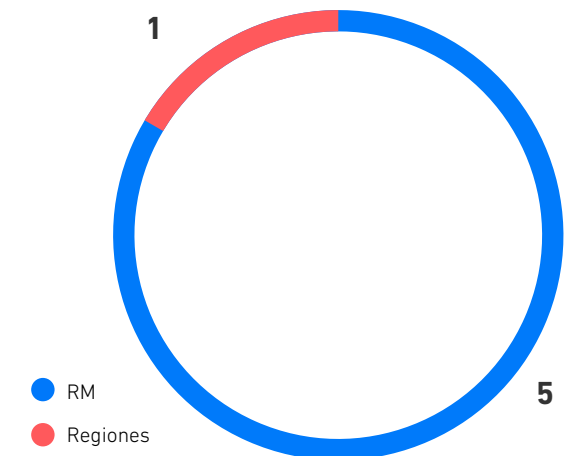
El siguiente capítulo tiene como finalidad entregar una descripción cuantitativa del mercado, capacidades y tecnologías existentes en el país para realizar procesos de pretratamiento o tratamiento para los refrigeradores y congeladores domésticos en Chile.

La información presentada a continuación se basa en entrevistas y visitas que se hicieron a las principales 6 empresas gestoras en Chile que trabajan con aparatos eléctricos y electrónicos incluidos refrigeradores y congeladores domésticos. Con el fin de resguardar la confidencialidad de las empresas gestoras, el siguiente capítulo entrega información de manera agregada.

1. Caracterización mercado gestión de residuos eléctricos y electrónicos

De las 6 empresas consultadas, tan solo una se encuentra emplazada fuera de la Región Metropolitana, mientras las otras 5 tiene sus plantas en Santiago.

Figura 10. Emplazamiento Empresas Gestoras. Fuente elaboración propia

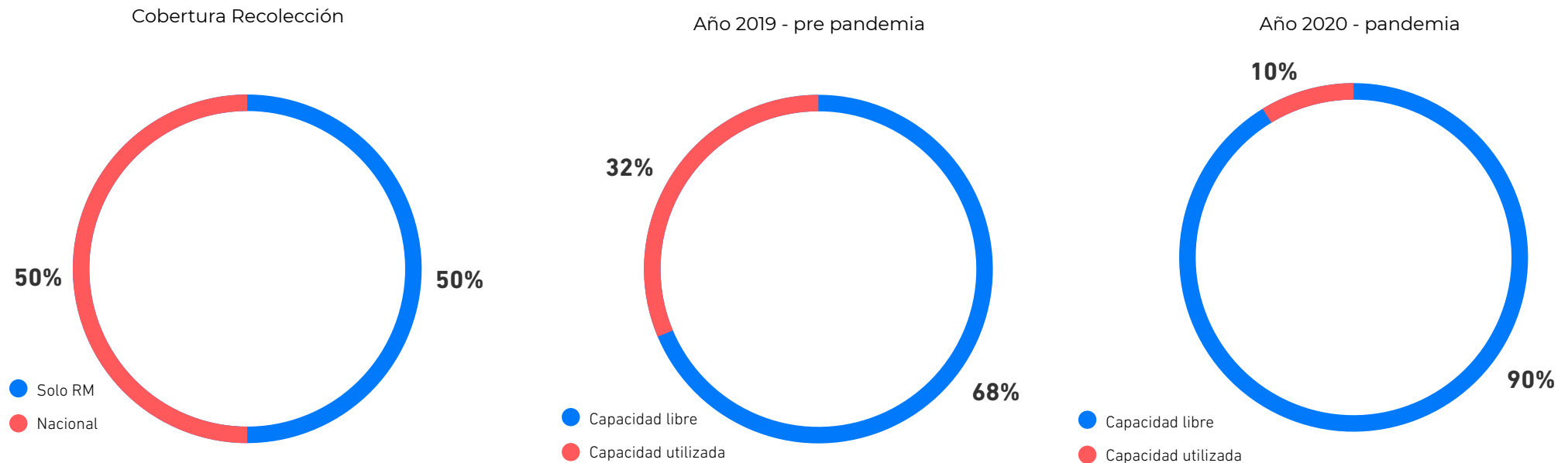


Sin embargo, la mitad de ellas extiende sus servicios de recolección a nivel nacional, mientras que la otra mitad solo ofrece servicios de recolección a nivel metropolitano (RM).

La capacidad instalada total de las empresas gestoras consultadas es de 2.360 ton/año. Es decir, en Chile existe la capacidad instalada para la gestión de alrededor de 3.400 refrigeradores anualmente¹³².

Si bien durante el año 2019 esta capacidad total se utilizó en un 31%, los efectos de la situación sanitaria por el Covid 19, llevaron a una reducción considerable en el manejo racional de refrigeradores y congeladores. Según información entregada por los gestores, la capacidad utilizada para el manejo de refrigeradores y congeladores no habría superado el 10% durante el 2020.

Figura 11. Capacidad Utilizada empresas gestoras (2019-2020).
Fuente elaboración propia



¹³². Considerando un peso promedio de 70 kg por aparato con una capacidad aproximada de 345 l

2. Pretratamiento y Tratamiento

Si bien el pretratamiento es en su gran mayoría manual, una empresa informa utilizar un sistema mecánico de trituración. Para el caso específico de los gases refrigerantes, tan solo un gestor tiene la tecnología para la regeneración de estos gases, mientras todo el resto utiliza el almacenamiento en bombona, las cuales posteriormente son exportadas para su destrucción final. Dado los altos requerimientos legales y técnicos, tan solo un actor nacional ofrece el servicio de exportación de gases refrigerantes, el cual presta servicio a todo el resto de gestores.

Figura 12. Pretratamiento empresas gestoras.
Fuente elaboración propia

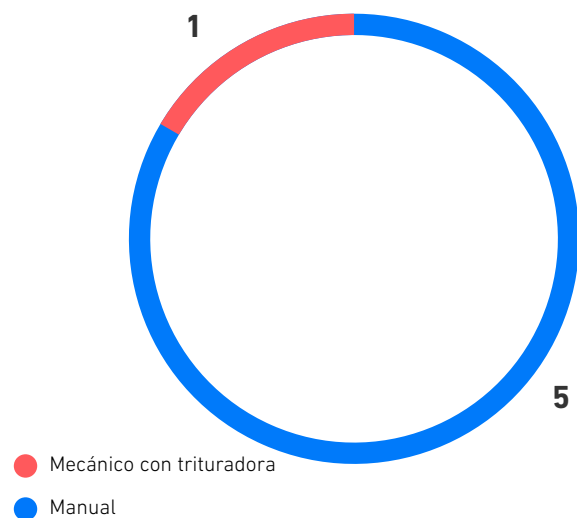
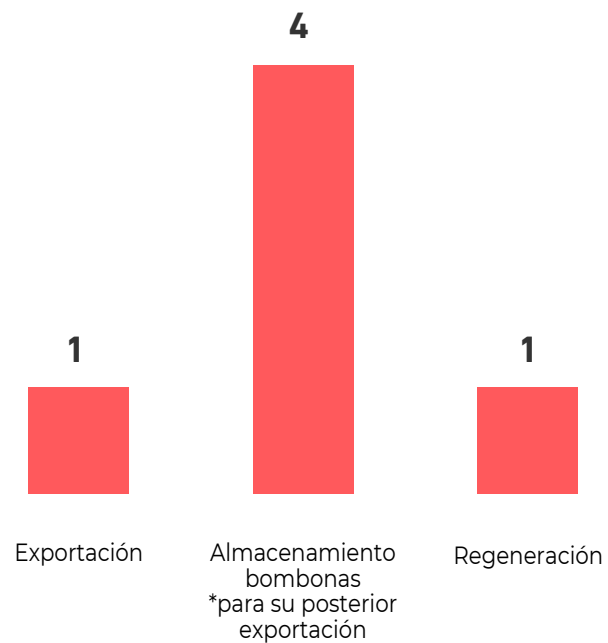


Figura 13. Manejo de gases refrigerantes
Fuente elaboración propia



15. Principales brechas para la gestión de refrigeradores y congeladores en Chile

15.1. Brechas ambientales

Para efectos de este estudio, las brechas ambientales se consideran como problemas que dificultan el tratamiento ambientalmente racional de los refrigeradores, englobando todos los impactos ambientales de la mala gestión: liberación de los gases refrigerantes, depósito de refrigeradores en terrenos no autorizados para ello, etc.

Escasez de campañas para la recolección de RAEE de mayor tamaño

Los refrigeradores domésticos recibidos por gestores son recolectados principalmente desde campañas municipales o campañas de recambio implementadas por tiendas del retail. No obstante, estas campañas son realizadas de forma esporádica, y en el caso de las campañas realizadas por municipios, estas solo se realizan en algunas comunas.

La baja frecuencia y cobertura territorial de campañas de esta índole dificultan que el consumidor entregue su refrigerador usado para su gestión segura y conllevan a que, en su lugar, lo termine desechando en zonas urbanas o en vertederos, o que sea recibido

por un reciclador informal que no realice la recolección y gestión adecuada del refrigerante.

Se recomienda aumentar el número de campañas de recolección de RAEE para tener al menos una anual por sector. En estas campañas el refrigerador debe ser retirado directamente desde el hogar del consumidor por personal capacitado a modo de prevenir la liberación del refrigerante durante su traslado.

Falta de concientización ciudadana

La falta de instancias para que el consumidor entregue el refrigerador se agrava con la falta de concientización de la ciudadanía. Un consumidor con conciencia ambiental sobre el potencial impacto ambiental del refrigerador tendrá mayor interés en participar de las campañas de recolección. La carencia de una cultura histórica ambiental alimenta la idea de que el usuario final de los aparatos eléctricos y electrónicos no es responsable de contribuir a una disposición y tratamiento adecuado de éstos al final de su vida útil.

Se recomienda que las campañas de recolección se acompañen con campañas de concientización y educación potentes que alerten sobre los impactos ambientales implicados por la mala gestión del refrigerador.

Trabajo informal de los recicladores de base

Los recicladores informales aprenden su oficio a través de conocidos y/o familiares, razón por la cual un número importante de ellos no tiene conocimiento del impacto de la liberación de los gases refrigerantes y no siguen las medidas

de seguridad necesarias para prevenir la liberación de estos a la atmósfera. Su actividad se basa en recuperar las partes valiosas del refrigerador llegando a desechar sin control ambiental las demás fracciones. La mayoría de ellos acopia el material recolectado donde viven, contando con espacios muy limitados para ello¹³³. Esta falta de espacio es una limitante para el acopio de refrigerantes en bombonas para la espera de su posterior tratamiento. Se recomienda mantener estudios actualizados sobre los recicladores informales a modo de obtener mayor trazabilidad del número de recicladores dedicados a la gestión de RAEE y las prácticas en cuanto al tratamiento de los refrigeradores (son escasos los estudios actuales en torno a esta temática en el país). Estos estudios ayudarían a dirigir las capacitaciones técnicas e incentivos económicos al público adecuado para integrarlos al sistema formal de tratamiento.

Carencia de un mercado para los plásticos impuros

En la Tabla 7 del capítulo III de este estudio se muestra que el 12% de los componentes recuperados de un refrigerador promedio constituye plástico mixto. Este material no tiene actualmente un mercado en Chile, por lo tanto, debe ser dispuesto en rellenos sanitarios. La disposición final del residuo no es una opción sostenible en el tiempo puesto que conlleva al colapso de los rellenos de seguridad.

¹³³. Fundación Casa de la Paz (2015). "Catastro Socio Laboral de Recicladores de la Región Metropolitana".

El plástico mixto tiende a no ser usado espontáneamente por las industrias debido a que su heterogeneidad dificulta su integración en un proceso productivo. No obstante, es posible reutilizar este material. En Europa, por ejemplo, se emplea en escaños para las plazas.

Se recomienda promover mercados secundarios que hagan uso de este material para fomentar la economía circular en el país.

Chile no posee tecnologías que hayan sido testeadas para destruir SAO de desecho de forma segura

Chile carece de una tecnología que destruya las SAO de acuerdo con los requerimientos del TEAP. Por lo tanto, aquellas SAO cuya regeneración no sea factible son exportadas para su destrucción o bien es destruida con tecnología que no ha sido testeada para destruir SAO de acuerdo con los requerimientos del TEAP.

Incinerar SAO en tecnologías no probadas para su destrucción expone el riesgo de que quede SAO remanente en los gases emanados debido a que no está comprobada su eficiencia de destrucción. Además, no se tiene seguridad de que las emisiones de gases ácidos (ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico), dioxinas y furanos estén por debajo de los valores recomendados por el TEAP.

Chile posee tecnología potencial de ser adaptada para la quema de SAO

cumpliendo con los requerimientos del TEAP. Las potenciales tecnologías presentes en el país son el horno rotatorio y el horno cementero. Actualmente en Chile ya se está quemando SAO en horno rotatorio de incineración de residuos peligrosos a alta temperatura, pero no se ha validado su cumplimiento en base a los requerimientos del TEAP.

Se recomienda trazar los hornos rotatorios de incineración de residuos peligrosos para analizar detalladamente aquellos que poseen un mayor potencial para incinerar SAO. Algunos de los parámetros que ayudan a determinar su potencial son: tamaño del horno, medidores disponibles para la trazabilidad de emisiones e interés de la compañía en este tipo de proyecto. Se recomienda, además, buscar apoyo técnico y económico internacional para la modificación y adaptación de un horno y la realización de pruebas de incineración, del mismo modo que lo han hecho Brasil y Colombia (por ejemplo, recurriendo a la PNUD o México con ONUDI, experiencias descritas en este estudio). La modificación de los hornos de cemento es relativamente fácil y la inversión es de alrededor de 20,000 USD (puesto que solo consiste en añadir un sistema de inyección de gas). No obstante, las pruebas de destrucción consideran una serie de gastos tales como transporte, operación del horno, asistencia técnica, evaluación, etc., que aumentan significativamente el coste. Como ejemplo, se tiene el caso de Colombia, cuyo coste total del proyecto piloto demostrativo de tratamiento y disposición de SAO en el horno rotatorio se estimó en 2,750,000 USD.

Carencia de instalaciones que traten las carcacas de refrigeradores previniendo la liberación del gas

Chile posee el centro de recuperación y regeneración de refrigerantes Regener Chile. Este correspondería a la única instalación existente en el país que trata las carcacas de refrigeradores previniendo la liberación del gas. El resto de los gestores nacionales optan por depositar la espuma y la carcaca en rellenos sanitarios, trozar la espuma para incinerarla o molerla para incorporarla a otro proceso. Reutilizar la espuma de los refrigeradores es conveniente puesto que favorece la economía circular y disminuye la generación de residuos, no obstante, las SAO presentes en las carcacas de los refrigeradores son liberadas cuando estas son trozadas o molidas. Por esto se recomienda realizar este proceso en ambientes encapsulados una vez que las tasas de recolección alcancen a ser viables para instalar tecnologías de esta índole a modo de reducir las emisiones del agente espumante. Actualmente, iniciativas como Regener Chile, constituyen la opción ecológica más viable para el país y se recomienda fomentar la creación de más emprendimientos de esta índole.

15.2. Brechas económicas

Se exponen a continuación las dificultades económicas para la gestión de un tratamiento de SAO ambientalmente adecuado.

Bajos incentivos económicos para la recolección del refrigerante

Tal como se menciona en el capítulo III de este estudio, un refrigerador doméstico de más de 15 años de antigüedad puede contener el refrigerante CFC-12 que, debido a las restricciones del Protocolo de Montreal, no es comercializable y su destrucción corresponde a la alternativa más segura en términos ambientales. Los gestores no poseen instrumentos para identificar el tipo de refrigerante in situ (a excepción de Regener Chile) por lo cual deben tratar a cada uno de ellos con las mismas precauciones de seguridad, lo que implica su recolección y almacenamiento en bombonas. Sin embargo, los gestores pequeños no poseen espacios suficientes para almacenar las bombonas y, además, el tratamiento de este residuo tiene un alto costo en el mercado.

El alto costo del tratamiento del refrigerante disminuye considerablemente la rentabilidad del tratamiento de refrigeradores para los gestores. El tratamiento adecuado de los gases refrigerantes es el componente más caro del proceso de tratamiento actual en Chile.

Se recomienda aumentar los incentivos económicos para que los gestores traten adecuadamente el gas, subvencionando, por ejemplo, a modo de disminuir para ellos el costo de su gestión.

Altos costos de exportación de SAO para su destrucción

Dado que Chile no posee tecnología probada para destruir SAO, la exportación para la destrucción es actualmente la única opción de tratamiento ambientalmente segura.

Los altos costos relacionados con la compleja gestión de la tramitación y el pago del transporte hacen este proceso extremadamente costoso (tanto en costos financieros, como en costos administrativos). La exportación de SAO hacia otros países para la destrucción está sujeta al control y a los requerimientos del Convenio de Basilea dado que las SAO de desecho son consideradas legalmente como residuo peligroso por el Estado de exportación, el Estado de importación o el Estado en tránsito. Pese a que existe la tecnología en Latinoamérica para destruir SAO, ningún país posee permiso sanitario para recibir (importar) SAO para su destrucción, por lo cual las SAO son enviadas a Europa, significando una larga distancia de transporte que impacta en el tiempo, coste y documentación del proceso.

Los gestores ignoran cómo documentar este proceso por sus propios medios y le pagan a Hidronor para la exportación de los refrigerantes, quien cobra 20 euros por kilo de refrigerante recibido, que es más del doble de lo que cobraría una incineradora local por este servicio (véase Tabla 9 del capítulo III). No obstante, la exportación posee además otras desventajas, tales como aumentar la huella de carbono involucrada en la gestión del residuo debido a las largas distancias del transporte

y aumentar el tiempo en que los residuos terminarán su proceso de disposición, puesto que para el gestor que exporta es conveniente acumular un volumen grande de gases refrigerantes para aumentar los beneficios en función de los costos. Se recomienda buscar opciones locales para invertir en una tecnología capaz de destruir SAO, con el fin de disminuir significativamente los impactos económicos y ambientales de este proceso.

Bajas tasas de recolección de RAEE

Las bajas tasas de recolección de RAEE actualmente alcanzadas en Chile, dan paso a la probabilidad de que, en caso de que el país contara con programas e infraestructura para un tratamiento ambientalmente responsable para los refrigeradores, estas no logren operar de manera económicamente viable. Se puede tomar como ejemplo el caso del Plan Renova de Ecuador, cuya meta era el recambio de 330.000 unidades de refrigeración, logrando recambiar sólo 96.000 unidades, lo cual representa un 29% de la meta fijada. O el caso de la empresa Industria Fox, cuya capacidad anual es de 400.000 pero opera en la cuarta parte de su capacidad.

Las plantas de tratamiento de refrigeradores con recuperación del refrigerante de la espuma tienen costos de inversión de entre 2 a 4 millones de euros,

requiriendo una cantidad mínima de aproximadamente 100.000 unidades de refrigeradores anualmente para ser viables económicamente (equivalente a unas 7.000 toneladas). E2BIZ estimó que las RAEE recolectadas para aparatos de refrigeración en Chile fue de 299 toneladas de las 27.976 generadas en el año 2017¹³⁴. Estos valores muestran que Chile genera suficiente RAEE de intercambio de temperatura de aparatos para que sea rentable implementar una planta que los gestione adecuadamente, pero que la baja tasa de recolección actual lo hace inviable económicamente. Se recomienda aumentar las tasas de recolección entregando más opciones a los consumidores para que entreguen los refrigeradores y difundiendo mayor conciencia ambiental para aumentar la cantidad de interesados en recurrir a estas opciones.

15.3. Brechas legislativas

Chile se encuentra implementando la Ley N° 20.920 (2016, Ministerio del Medio Ambiente) que establece un marco legal para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje. Esta Ley incluye a los refrigeradores al considerar a los RAEE como productos prioritarios, requiriendo que los productores organicen y financien la recogida, el tratamiento y el reciclaje de estos residuos. A continuación, se presentan las brechas derivadas de la ausencia de estándares y normativas específicas para refrigeradores junto con recomendaciones para su implementación.

Carencia de una normativa jurídica para la recolección del refrigerador

La carencia de una buena legislación conlleva a un esquema ineficiente de recolección con una trazabilidad incompleta de los RAEE recolectados y tratados. Además, destina el tratamiento de los RAEE como una función voluntaria para los proveedores, haciendo escasas las instancias para su recolección.

Se recomienda implementar una normativa en la gestión de los refrigeradores que otorgue suficientes instancias a los consumidores para devolver los refrigeradores usados sin costo y que dichas instancias tengan una periodicidad de al menos un año.

Carencia de un estándar nacional para las etapas del tratamiento del refrigerador

Los gestores en Chile tratan el refrigerante y las carcasas de los refrigeradores de diversas formas según sus medios, entre las cuales existen prácticas donde se disipan SAO a la atmósfera.

Es necesario implementar un estándar para establecer, desde un punto de vista técnico, la gestión adecuada de las carcasas del refrigerador y del refrigerante recuperado. Este estándar debiese normar tipos de tratamientos aceptados para estos componentes, así como también instalaciones autorizadas específicamente para este tipo de residuos y que dicha autorización se base en los requerimientos del TEAP.

Recomendaciones generales para incorporar en el Decreto Supremo de RAEE en torno al manejo de refrigeradores

- Exigir al gestor trazabilidad de equipos recibidos y del proceso de gestión del refrigerante.
- Exigir que el refrigerador sea retirado desde el domicilio del consumidor manteniendo registro del número de refrigeradores operantes (que contenían gas refrigerante) al momento de su retiro domiciliario.
- Otorgar incentivos económicos en función de la cantidad de refrigerante recolectado por aparato de refrigeración gestionado.
- Exigir autorización sanitaria específica para realizar el tratamiento final del gas refrigerante (ej. Regeneración, destrucción).
- Establecer metas graduales para aumentar el porcentaje total valorizado del refrigerador. Estas metas debiesen promover a los gestores a mejorar sus tecnologías y disminuir el total de residuos que tengan como destino la disposición final en un relleno de seguridad.
- Establecer un protocolo para la gestión de la carcasa del refrigerador que evite la liberación de gases.
- Fomentar el aumento gradual de tecnologías en función de las tasas de refrigeradores/congeladores tratados.

134. E2BIZ Consultores (2019). Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenidos en la Ley 20.920.



Conclusión y recomendaciones

Los refrigeradores y congeladores domésticos de mayor antigüedad poseen CFC u otras sustancias de alto PCG como HFC que, de no gestionarse adecuadamente al final de su vida útil, son liberadas a la atmósfera implicando un impacto al medio ambiente por el daño a la capa de ozono y/o la contribución del efecto invernadero.

La ratificación del Protocolo de Montreal y sus enmiendas han impulsado a las naciones a reemplazar las antiguas sustancias por hidrocarburos en la fabricación de los aparatos de intercambio de calor, los cuales no dañan a la capa de ozono y poseen bajo PCG. De este modo, se logró que para el año 2008 se eliminara el CFC en la fabricación del refrigerador en todas las economías.

Se estima que existen 6,8 millones de refrigeradores congeladores en el parque instalado al año 2019 y que el 43% de estos aparatos pertenece a la clase de eficiencia energética B o menor. Se estima que cada uno de estos equipos, de no gestionarse adecuadamente, liberaría en promedio 2.750 Kg de CO₂ equivalente.

Al analizar el registro de importaciones aduanero del 2016 al 2018 se observa que más del 90% de los equipos importados poseen HC-600a como refrigerante, y que el 64% de las unidades importadas poseen entre 50 a 90 gramos de refrigerante.

Se encontró que los refrigeradores y congeladores con HC-600a poseen una carga menor que los que emplean HFC-134a. Además, los equipos importados tienden a la mayor eficiencia energética a través de un aumento de las clases A++ y A+. Por otro lado, el análisis del registro de equipos certificados de la SEC reporta que el HC-600a se encuentra presente en el 99,58% de las unidades identificadas. Los equipos predominantes fueron aquellos con un volumen útil entre 200 a 400 litros y de clase A+.

Chile se encuentra implementando la Ley N° 20.920 (2016, Ministerio del Medio Ambiente) la cual incluye a los refrigeradores y congeladores al considerar a los RAEE como productos prioritarios, requiriendo que los productores organicen y financien la recogida, el tratamiento y el reciclaje de estos residuos. No obstante, aún no se redacta el Decreto Supremo que establezca metas de recolección y otras obligaciones en torno al manejo de RAEE. Chile carece de una normativa que establezca condiciones específicas para el manejo del refrigerador o congelador al final de su vida útil.

Los gestores reciben refrigeradores o

congeladores en grandes volúmenes. Éstos provienen principalmente de empresas, por lo tanto, los refrigeradores y congeladores recolectados son mayoritariamente de uso comercial. Los refrigeradores domésticos recibidos provienen de campañas esporádicas realizadas en conjunto con municipalidades, multitiendas o de otros gestores más pequeños. En Chile existe el centro de regeneración de gases refrigerantes, Regener Chile, que es una planta piloto financiada por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal. Esta planta es un ejemplo de aplicación de la economía circular para revalorizar cada componente del refrigerador minimizando la liberación de gases de alto PAO y/o PCG a la atmósfera durante su gestión.

El tratamiento de la espuma no se realiza en una atmósfera encapsulada, implicando la liberación de los gases contenidos en ella. La actual tasa de recolección de refrigeradores en el país no alcanza a ser lo suficientemente alta para recuperar la inversión en una instalación capaz de triturar las carcassas de refrigeradores en un ambiente encapsulado.

Chile carece de instalaciones para destruir CFC encontrado como refrigerante o como agente espumante en los refrigeradores o congeladores, debiendo ser exportado este tipo de residuo para finalizar su tratamiento, aumentando considerablemente los costos, el tiempo de tratamiento y la huella de carbono. Chile posee hornos rotatorios que es tecnología potencial para destruir refrigerante y agente espumante de acuerdo con los requerimientos

del TEAP. Actualmente la espuma con agente espumante es incinerada en uno de estos hornos sin ser probado que cumple con los requerimientos del TEAP. Colombia es un ejemplo de otro país de la región que con ayuda del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal invirtió un total de 2,750,000 USD dólares en el desarrollo del proyecto piloto demostrativo para el tratamiento y disposición de SAO para América Latina, el cual estableció protocolos para robustecer estas instalaciones con el fin de alcanzar los estándares internacionales de destrucción a través de un programa de pruebas de operación.

Para disminuir los impactos al medio ambiente del tratamiento de refrigeradores y congeladores en el país, se recomienda incorporar en el Decreto Supremo de RAEE obligaciones a los gestores para reforzar la trazabilidad de los refrigeradores, la gestión del refrigerante y de la carcasa del refrigerador, al mismo tiempo que se fomente aumentar el porcentaje total valorizado del refrigerador.

Bibliografía

Bibliografía

- Christian James et. al. (2016) The Use and Performance of Household Refrigerators: A Review
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2017). Acelerando la adopción mundial de refrigeradores amigables con el ambiente y energéticamente eficientes.
- Ministerio de Energía (2018). Primer Informe de usos finales de la energía. Sector Residencial de Chile.
- Generadoras de Chile AG. 2019. Consumo eléctrico crecerá 83% en 20 años y las energías renovables tendrán un rol clave. <http://generadoras.cl/prensa/consumo-electrico-crecera-83-en-20-anos-y-las-energias-renovables-tendran-un-rol-clave>
- Ministerio de Energía (2020). Anuario estadístico de energía 2019. <https://bit.ly/2ZZqoRo>
- TEAP. 2019. Technology and Economic Assessment Panel. 2018 Assessment Report. Nairobi: Technology and Economic Assessment Panel, United Nations Environment Programme (UNEP) 100 pp. <https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>
- Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente (febrero 2015). Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile Aplicada a los Aparatos Eléctricos.
- Öko-Institut (2018). Working Paper. Refrigerants and Foam-blowing Agents in Household Refrigerating
- Öko-Institut e.V. (2007). Environmental and Economic Evaluation of the Accelerated Replacement of Domestic Appliances
- Appliances – Facts and Policy Recommendations. www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Refrigerants-foam-blowing-agents-household-fridges.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2012). Orientaciones sobre las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el reciclaje y eliminación de artículos que contienen éteres de difenilo polibromado (PBDE) enunciados en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.
- GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano.
- Construction Safety Council (2011). Health Hazards in Construction Workbook
- Ministerio de Salud. (enero 2015). Decreto 123. Modifica decreto N° 594, de 1999, reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1074204&idVersion=2015-04-24>
- New Jersey Department of Health (2008). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1554sp.pdf>
- Oficina de Evaluación de Peligros de Salud Ambientales (OEHHA). (noviembre, 2016). Efectos del Cromo Hexavalente sobre la salud. <https://oehha.ca.gov/media/downloads/faqs/sphexchromiumairfact111616.pdf>
- Rajan, S. (2011). Comparison of Refrigerants R410A And R404A For Use In Low Temperature Applications: A Computer Model Study. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements. University of Illinois At Urbana-Champaign.
- Risto Ciconkov. Refrigerants: There is still no vision for sustainable solutions. International Journal of Refrigeration 86 (2018) 4 41–4 48.
- Bellido, B. (abril, 2016). Estudio del comportamiento del refrigerante R-744 en procesos de transferencia d calor realizados en intercambiadores de placas montados en una instalación de refrigeración.
- Naem Abas, Ali Raza Kalair, Nasrullah, Aun Haider, Zahid Saleem, Muhammad Shoaib Saleem (2018). Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews

- Sruthi, M., Kumar, B. (2018) The Use of Natural Refrigerants in Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Review. India
- Calm, J. M., Houran, G.C. (2011). Physical, Safety and Environmental Data for Current and Alternatives Refrigerants. Prague, República Checa
- ONU Medio Ambiente (octubre, 2018). Legislative and Policy Options to Control Hydrofluorocarbons. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26450/HFCs_control_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Alarcón, L., Paratori, C., Fernández, D. Unidad de Ozono. (mayo 2018). Chile y su cumplimiento ante el Protocolo de Montreal. Presentación para 4° Expo Frío Calor Chile.
- ONU Medio Ambiente (octubre, 2018). Legislative and Policy Options to Control Hydrofluorocarbons. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26450/HFCs_control_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- UNEP (2010). 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC)
- Elli Louka (2016). International Environmental Law: Fairness, Effectiveness, and World Order
- Institute for Governance & Sustainable Development (GSD) (mayo 2017). Primer on HFCs. Fast action under the Montreal Protocol can limit growth of hydrofluorocarbons (HFCs), prevent 100 to 200 billion tonnes of CO₂-eq, and avoid up to 0,5 °C of warming by 2100. <http://www.igsd.org/wp-content/uploads/2017/05/HFC-Primer-19May2017.pdf>
- Ecoestrategia. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. <http://www.ecoestrategia.com/articulos/convenios/articulos/convenio06.html>
- Instituto Nacional de Normalización INN - Chile (mayo 2018). Rol de las Normas Chilenas y principales aspectos de las Normas Chilenas NCh3241:2017 y NCh3301:2017.
- Ministerio del Medio Ambiente (2017). Reporte 2005 – 2015 del registro de emisiones y transferencias de contaminantes. Santiago, Chile. http://www.retc.cl/wp-content/uploads/2018/12/Decimo_reporte_RETC_2005-2015.pdf
- Ministerio de Secretaría General de la Presidencia (2019). Decreto N°3. Reglamento que establece normas aplicables a las importaciones y exportaciones de las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas, los volúmenes máximos de importación y los criterios para su distribución.
- Pinasseau, A.; Zerger, B.; Roth, J.; Canoca, M.; Roudier S. (2018). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment
- Brinkmann, T., Giner, G., Yükseler, H., Roudier, S., Delgado, L. (2016). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/ Management Systems in the Chemical Sector.
- Heubes, J; Papst, I; Gloël, J. (HEAT GmbH, Königstein). (Agosto 2015). Management and destruction of existing ozone depleting substances Banks.
- Gobierno de España. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Nota técnica sobre el tratamiento de residuos de aparatos eléctricos Y electrónicos que contengan clorofluorocarbonos (Cfc), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), hidrofluorocarbonos (HFC) o hidrocarburos (HC). <http://www.caib.es/govern/rest/arxiu/990405>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado. México.
- U.S. Environmental Protection Agency (2018). ODS Destruction in the United States and Abroad
- TEAP (2018). 2018 TEAP Report, Volume 2: Decision XXIX/4TEAP Task Force Report on Destruction Technologies for Controlled Substances. <http://ozone.unep.org/en/assessment-panels/technology-and-economic-assessment-panel>

·Bohr, P.(2009).Project Design Document. Recycling of Refrigerators, Freezers, and Metal-Containing Foam Insulation Panels in the South-East of Brazil.

·Sorec. Globales Engagement. <http://www.sorec.ch/forschung-und-verantwortung/globales-engagement/>

·Cambra, H.; Hill, J.; Knutson, D.; Sang, S. (mayo 2015). A Case Study in Costa Rica: The Impacts of Refrigerants

·E2BIZ Consultores (2019). Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para el producto prioritario “Aparatos Eléctricos y Electrónicos” contenidos en la Ley 20.920.

·Las Últimas Noticias. (octubre 2017). Paso a paso así reutilizarán tóxicos gases refrigerantes.

·INN para Ministerio del Medio Ambiente - (Nch. 3241 - 2011). Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización <http://www.cchryc.cl/biblioteca-camara/biblioteca-camara-2016-08-003.pdf>

·Inversiones e inmobiliaria Huaiquilaf LTDA. (mayo 2018). Catastro Nacional de Instalaciones de Recepción y Almacenamiento, e Instalaciones de Valorización de Residuos en Chile. Santiago, Chile. <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=aee3d69d-1039-45ad->

a2c5-4b4bc9e19e0a&fname=HUIQUILAF_Informe_%20Final_publicacion_EMI_E.pdf&access=public

·Pinasseau, A., Zerger, B., Roth, J., Canova, M., Roudier S. (2018). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control); EUR 29362 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg.

·James M. Calm. (2008) The Next generation of refrigerants – Historical Review, Considerations, and Outlook

·S.N. Singh (2002). Blowing Agents for Polyurethane Foams

·Amphos 21 Consulting Chile Ltda. (Febrero 2015). Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile Aplicada a los Aparatos Eléctricos.

·Bohr, P. (2009).Project Design Document. Recycling of Refrigerators, Freezers, and Metal-Containing Foam Insulation Panels in the South-East of Brazil.

·Mendes, D. (2010). Equipamento Vai Eliminar CFC de Geladeiras e Evitar emissao de CO2. <https://www.mma.gov.br/informma/item/6790-equipamento-vai-eliminar-cfc-de-geladeiras-e-evitar-emissao-de-co2>

·Bohr, P.(2009).Project Design Document. Recycling of Refrigerators, Freezers, and Metal-Containing Foam Insulation Panels in the South-East of Brazil.

·Sorec. Globales Engagement. Obtenido en:<http://www.sorec.ch/forschung-und-verantwortung/globales-engagement/>

·Cambra, H.; Hill, J.; Knutson, D.; Sang, S. (mayo, 2015). A Case Study in Costa Rica: The Impacts of Refrigerants

·IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA. 2018. Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/47096251_Colombia-BUR2-1-2BUR%20COLOMBIA%20SPANISH.pdf

·El Nuevo Siglo (diciembre, 2019). Más de 12.800 electrodomésticos recolectados en primeros 5 años. <https://elnuevosiglo.com.co/articulos/12-2019-mas-de-12800-electrodomesticos-recolectados-en-primeros-5-anos>

·Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador (2017). Informe de Rendición de Cuentas 2017. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Informe-RC-2017-MEER.pdf>

·Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2017. Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. Quito, Ecuador. <https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/>

documentos%20proyectos%20ambiente/
pnud_ec_TERCERA-COMUNICACION-%20
cambio%20clim%c3%a1tico%20WEB.pdf

·Fideicomiso (2019) Fideicomiso para
el ahorro de energía eléctrica. 2013
– 2018 Retos, logros y desafíos.

·ONU Medio Ambiente. (2017) Acelerando
la adopción mundial de refrigeradores
amigables con el medio ambiente
y energéticamente eficientes.

·UNDP (octubre 2019) Pilot demonstration
project on ODS waste management and
disposal in Colombia. UNDP Report

·United Nations Industrial
Development Organization and the
Government of France (UNIDO).
(Septiembre 2017) Demonstration Project
for Disposal of Unwanted ODS in Mexico.

·Executive Committee of the Multilateral
Fund for the Implementation of
the Montreal Protocol (diciembre
2010). Project Proposal: Cuba

·Fundación Chile (2019). Informe
de Línea de Base para el proyecto
“Acelerando la Transición a un Mercado
de Refrigeradores Eficientes en Chile”

·E2BIZ Consultores (2019). Antecedentes
para la elaboración de análisis económicos
de metas de recolección y valorización para
el producto prioritario “Aparatos Eléctricos

y Electrónicos” contenidos en la Ley 20.920.

·Del Río S., Eriza F., Fiamengo F., González
A. (2019). El reciclaje electrónico de apodera
del mundo empresarial. Obtenido de: [http://
dpd.comunicaciones.uc.cl/2019/reciclaje-
electronico-mundo-empresarial/](http://dpd.comunicaciones.uc.cl/2019/reciclaje-electronico-mundo-empresarial/)

·Marcano J. (marzo 2019). Grupo de
mujeres recicladoras buscan salvar el
planeta. [http://www.economiaynegocios.
cl/noticias/noticias.asp?id=550231](http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=550231)

·Fundación Casa de la Paz, Yuen M, Movimiento
Nacional de Recicladores de Chile A. G., Estay
E., (noviembre 2015). Catastro Socio Laboral
de Recicladores de la Región Metropolitana.
Santiago, Chile. [https://reciclajeinclusivo.org/wp-
content/uploads/2019/02/09_Chile_CasadelaPaz_
CatastroSocioLaboral_Recicladores_R-1869.pdf](https://reciclajeinclusivo.org/wp-content/uploads/2019/02/09_Chile_CasadelaPaz_CatastroSocioLaboral_Recicladores_R-1869.pdf)

·Ministerio del Medio Ambiente. Política
de inclusión de recicladores de base (2016
– 2020). Obtenido en: [https://mma.gob.cl/
wp-content/uploads/2016/12/Politica-de-
inclusion-de-recicladores-de-base.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/12/Politica-de-inclusion-de-recicladores-de-base.pdf)

·Ministry of the Environment of Japan (mayo
2006). Revised Report of the Study on ODS
Disposal Options in Article 5 Countries.

·Gisma, Ministerio del Medio Ambiente.
Proyecto diseño del programa de regeneración
para la implementación de centros de
regeneración recuperación, reciclaje y acopio
de gases en Chile. Disponible en: [portal.
mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/01/08-](portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/01/08-)

Anexo-6-Informe-Final-Proyecto-diseno-
del-programa-de-regeneracion-1.pdf

·Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R.,
Stegmann, P. : The Global E-waste Monitor – 2017,
United Nations University (UNU), International
Telecommunication Union (ITU) & International
Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/
Vienna. Disponible en: [http://www.terraqui.
com/blog/wp-content/uploads/2018/01/
Global-E-waste_Monitor_2017_.pdf](http://www.terraqui.com/blog/wp-content/uploads/2018/01/Global-E-waste_Monitor_2017_.pdf)

·Farbiarz A. (enero, 2018) Publicado un informe
sobre tendencia de los RAEE a nivel mundial.
Disponible en: [http://www.terraqui.com/blog/
actualidad/publicado-un-informe-sobre-
tendencias-de-los-raee-nivel-mundial/](http://www.terraqui.com/blog/actualidad/publicado-un-informe-sobre-tendencias-de-los-raee-nivel-mundial/)

·Recycling of Waste Electronic and Electrical
Equipment. Climate Technology Centre
& Networking. [https://www.ctc-n.org/
technologies/recycling-waste-electronic-
and-electrical-equipment-weee](https://www.ctc-n.org/technologies/recycling-waste-electronic-and-electrical-equipment-weee)

·Tribunal Constitucional. Historia de la
Ley N° 20.920. Establece marco para la
gestión de residuos y, responsabilidad
extendida del productor. Disponible
en: [https://www.bcn.cl/historiadelaley/
historia-de-la-ley/vista-expandida/5030/](https://www.bcn.cl/historiadelaley/historia-de-la-ley/vista-expandida/5030/)

·URT-Recycling Technology.
Cooling Devices, Climate Protection By
Professional Disposal Of End-Of-Life Cooling
Devices. Disponible en: [https://www.urt-
recycling.com/eigene_dateien/download/
kuehlgeraete_engl_20180130_2.pdf](https://www.urt-recycling.com/eigene_dateien/download/kuehlgeraete_engl_20180130_2.pdf)

·Waste Management World (2007). Fridge Recycling. Disponible en: <https://waste-management-world.com/a/fridge-recycling>

·Pachecho-Torgal, F., Khatib, J., Colangelo F., Tuladhar R. (2018). Use of Recycled Plastics in Eco-Efficient Concrete.

·Brinkmann, T., Giner, G., Yükseler, H., Roudier, S., Delgado, L. (2016). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector.

·Zhao, X., Duan, H., Li, J. (2010) An Evaluation on the Environmental Consequences of Residual CFCs from Obsolete Household Refrigerators in China.

·U.S. Environmental Protection Agency (Octubre 2010) Transitioning To Low-GWP Alternatives in Domestic Refrigeration.

·Fundación Chile (2019). Informe de Línea de Base para el proyecto “Acelerando la Transición a un Mercado de Refrigeradores Eficientes en Chile”

·TEAP (2019). Report Of The Technology And Economic Assessment Panel. Volume 4: Decision xxx/5 Task Force Report On Cost And Availability Of Low GWP Technologies/Equipment That Maintain/Enhance Energy Efficiency

SUMA BUENA ENERGÍA

FCH
FUNDACIÓN CHILE

