



CORPOEMA



MITSIDI

Volumen III:
**Diagnóstico Nacional de
refrigeración y climatización en
Colombia**

Contrato CO - T1663 - P009

Presentado a:

**Banco Interamericano de
Desarrollo (BID) y la Unidad de
Planeación Minero-Energética
(UPME)**



Bogotá D.C, 30 de agosto de 2024



Tabla de contenido

1. Resultados climatización	12
1.1. Sector residencial.....	12
2. Resultados de refrigeración.....	27
2.1. Cadena de frío en alimentos	27
2.1.1. Producción.....	27
2.1.2. Procesamiento	32
2.1.3. Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes	38
2.1.4. Administración pública, defensa y educación	48
2.1.5. Refrigeración doméstica.....	54
2.1.6. Transporte refrigerado	64
2.2. Cadena de frío en salud	74
2.3. Procesos industriales.....	79
3. Distritos térmicos	84
3.1. Distritos térmicos en Colombia.....	85
3.1.1. Marco regulatorio para distritos térmicos	85
3.1.2. Distritos térmicos viables en Colombia	87
3.1.3. Distritos térmicos en operación y desarrollo en Colombia	89
4. Referencias.....	96

Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de tenencia de AC en 2023, en cada piso térmico por estrato socioeconómico del sector residencial	13
Figura 2. Porcentaje distribución de las tecnologías de AC por piso térmico en el sector residencial.	15
Figura 3. Inventario proyectado en el piso térmico cálido húmedo para el sector residencial	15
Figura 4. Inventario proyectado en el piso térmico cálido seco para el sector residencial .	16
Figura 5. Inventario proyectado en el piso térmico templado para el sector residencial....	16
Figura 6. Inventario proyectado en el piso térmico frío para el sector residencial.....	17
Figura 7. Porcentaje de inventario no satisfecho en los estratos socioeconómicos por piso térmico.....	18
Figura 8. Demanda de energía eléctrica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial	19
Figura 9. Demanda de potencia eléctrica satisfecha 2023, y proyectada a 2030 y 2050 por piso térmico en el sector residencial.....	19
Figura 10. Porcentaje de demanda de energía eléctrica no satisfecha por piso térmico en el sector residencial.	20
Figura 11. Demanda de potencia eléctrica no satisfecha a 2023, por piso térmico en el sector residencial.	21
Figura 12. Demanda de potencia térmica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial	22
Figura 13. Porcentaje de demanda de potencia térmica no satisfecha por piso térmico en el sector residencial.	23
Figura 14. Proyección del refrigerante emitido satisfecho a la atmosfera 2023 por piso térmico en el sector residencial	24
Figura 15. Proyección satisfecha de emisiones equivalentes de CO ₂ 2023 por piso térmico en el sector residencial.....	25
Figura 16. Emisiones de GEI indirectas, directas por disposición y operación en cada piso térmico del sector residencial	26
Figura 17. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-producción.....	28
Figura 18. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción	29
Figura 19. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción	30
Figura 20. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-producción	31
Figura 21. Emisiones equivalentes de CO ₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-producción	32
Figura 22. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-procesamiento	33

Figura 23. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- procesamiento 34

Figura 24. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos- procesamiento 35

Figura 25. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos- procesamiento 36

Figura 26. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- procesamiento 37

Figura 27. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 39

Figura 28. Inventario no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento 40

Figura 29. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 41

Figura 30. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento 42

Figura 31. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 43

Figura 32. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento 44

Figura 33. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 45

Figura 34. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento 46

Figura 35. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 47

Figura 36. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento 48

Figura 37. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 49

Figura 38. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 50

Figura 39. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 51

Figura 40. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 52

Figura 41. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 53

Figura 42. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 55

Figura 43. Inventario no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 56

Figura 44. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 57

Figura 45. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica..... 58

Figura 46. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 59

Figura 47. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica..... 60

Figura 48. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 61

Figura 49. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica..... 62

Figura 50. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 63

Figura 51. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica 64

Figura 52. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 65

Figura 53. Inventario proyectado no satisfecho para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 66

Figura 54. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 67

Figura 55. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 68

Figura 56. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 69

Figura 57. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 70

Figura 58. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 71

Figura 59. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado 72

Figura 60. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 73

Figura 61. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado..... 74

Figura 62. Inventario proyectado para cadena de frío en salud..... 75

Figura 63. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en salud 76

Figura 64. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en salud..... 77

Figura 65. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en salud 78

Figura 66. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en salud..... 79

Figura 67. Inventario proyectado para procesos industriales 80

Figura 68. Demanda de energía eléctrica proyectada para procesos industriales 81

Figura 69. Demanda de potencia térmica proyectada para procesos industriales 82

Figura 70. Cantidad de refrigerante proyectado para procesos industriales 83

Figura 71. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para procesos industriales 84

Figura 72. Distritos térmicos 85

Figura 73. Arquitectura de distritos térmicos con agua marina o fluvial 88

Figura 74. Arquitectura de distritos térmicos de refrigeración con energías renovables 88

Figura 75. Arquitectura de distritos térmicos de cogeneración con gas o energía solar 89

Figura 76. Arquitectura de distritos térmicos mixtos 89

Figura 77. Distritos térmicos en funcionamiento y en desarrollo en Colombia 90

Figura 78. Distritos térmicos en operación en Colombia 92

Figura 79. Distritos térmicos en desarrollo en Colombia. 94

Índice de tablas

Tabla 1. Siglas y abreviaciones 10

Tabla 2. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico cálido húmedo del sector residencial 13

Tabla 3. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico cálido seco del sector residencial 14

Tabla 4. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico templado del sector residencial 14

Tabla 5. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico frío del sector residencial 14

Tabla 6. Inventario no satisfecho en 2023 en el estrato socioeconómico 1, 2 y 3 del sector residencial 17

Tabla 7. Demanda de energía eléctrica satisfecha en 2023 por piso térmico en el sector residencial 18

Tabla 8. Demanda de energía eléctrica no satisfecha en 2023 por piso térmico en el sector residencial 20

Tabla 9. Demanda de potencia térmica satisfecha 2023 por piso térmico en el sector residencial 21

Tabla 10. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 por piso térmico en el sector residencial 22

Tabla 11. Cantidad de refrigerantes en 2023 emitidos a la atmosfera en el sector residencial debido al inventario satisfecho 23

Tabla 12. Cantidad de refrigerantes en 2023 emitidos a la atmosfera en el sector residencial debido al inventario no satisfecho 24

Tabla 13. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico debido al inventario satisfecho en el sector residencial 25

Tabla 14. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico debido al inventario no satisfecho en el sector residencial 26

Tabla 15. Inventario 2022 para cadena de frío en alimentos-producción..... 27

Tabla 16. Demanda energética 2022 para cadena de frío en alimentos-producción 29

Tabla 17. Demanda de potencia térmica 2022 para cadena de frío en alimentos-producción 30

Tabla 18. Cantidad de refrigerantes 2022 para cadena de frío en alimentos-producción .. 31

Tabla 19. Emisiones equivalentes de CO₂ 2022 para cadena de frío en alimentos-producción 32

Tabla 20. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento 33

Tabla 21. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento 34

Tabla 22. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento..... 35

Tabla 23. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento 36

Tabla 24. Emisiones equivalentes de CO₂ para cadena de frío en alimentos-procesamiento 37

Tabla 25. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 38

Tabla 26. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento..... 40

Tabla 27. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 41

Tabla 28. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento 42

Tabla 29. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 43

Tabla 30. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento 43

Tabla 31. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 45

Tabla 32. Cantidad de refrigerantes no satisfechos 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento 46

Tabla 33. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes 47

Tabla 34. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento 48

Tabla 35. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 49

Tabla 36. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación..... 50

Tabla 37. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 51

Tabla 38. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación..... 52

Tabla 39. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación 53

Tabla 40. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica..... 54

Tabla 41. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 55

Tabla 42. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 56

Tabla 43. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 57

Tabla 44. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 58

Tabla 45. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica..... 59

Tabla 46. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 60

Tabla 47. Cantidad de refrigerantes no satisfechos 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 61

Tabla 48. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica 62

Tabla 49. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica..... 63

Tabla 50. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 64

Tabla 51. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 65

Tabla 52. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 66

Tabla 53. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado..... 67

Tabla 54. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 68

Tabla 55. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 69

Tabla 56. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 70

Tabla 57. Cantidad de refrigerantes no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado..... 71

Tabla 58. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 72

Tabla 59. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado 73

Tabla 60. Inventario 2023 para cadena de frío en salud..... 74

Tabla 61. Demanda energética 2023 para cadena de frío en salud 75

Tabla 62. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en salud 76

Tabla 63. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en salud 77

Tabla 64. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en salud 78

Tabla 65. Inventario 2023 para procesos industriales 79

Tabla 66. Demanda energética 2023 para procesos industriales..... 80

Tabla 67. Demanda de potencia térmica 2023 para procesos industriales 81

Tabla 68. Cantidad de refrigerantes 2023 para procesos industriales 82

Tabla 69. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para procesos industriales 83

Tabla 70. Marco regulatorio para distritos térmicos 85

Tabla 71. Toneladas de refrigeración de los distritos térmicos en operación y en desarrollo..... 94

Tabla 1. Siglas y abreviaciones

Termino	Abreviatura	Unidad
Años de vida útil	n	años
Clorofluorocarburo	CFC	---
Clasificación Industrial Internacional Uniforme	CIU	---
Consumo específico de cada tipo de tecnología i	CE_i	GWh/año gal/año kWh/mes MWh/año
Demanda de energía eléctrica en un determinado sector (CIU)	E	kWh
Departamento Administrativo Nacional de Estadística	DANE	---
Emisiones específicas de refrigerante por disposición	$IR_{disposición}$	Kg g
Emisiones específicas de refrigerante por operación	$IR_{operación}$	Kg g
Emisiones específicas directas por disposición para una tecnología i	$ID_{disposición-i}$	kgCO ₂ -eq tCO ₂ -eq
Emisiones específicas directas por operación para una tecnología i	$ID_{operación-i}$	kgCO ₂ -eq tCO ₂ -eq
Emisiones específicas indirectas para una tecnología i	Ii_i	kgCO ₂ -eq tCO ₂ -eq
Factor de eficiencia energética	ef	kW/TR
Factor de emisión para la energía producida	β	tCO ₂ -eq/MWh
Hidrocarburo	HC	---
Hidroclorofluorocarburos	HCFC	---
Hidrofluorocarbonos	HFC	---
hidrofluoroolefinas	HFO	---
Hipermercados	HM	---
No aplica	NA	---
Plan Nacional de Acción para la Refrigeración (National Cooling Action Plan)	NCAP	---
Porcentaje anual de pérdidas de refrigerante	L	%
Porcentaje de energía demandada por una división CIU	E_x	%
Porcentaje de consumo por grupo	E_Y	%
Porcentaje de demanda de refrigeración	r	%
Porcentaje de dicha tecnología	P_i	%
Porcentaje de tenencia de neveras	k	%
Porcentaje por tipo de refrigerante	g	%
Potencial de calentamiento global (global warming potential)	GWP	---
Producto Interno Bruto	PIB	billones de pesos colombianos
Supermercados grandes	SG	---
Supermercados medianos	SM	---
Supermercados pequeños	SP	---

Recarga del refrigerante	m	toneladas
Refrigerante	R-	kg
Tiempo de operación anual	t	horas
Tiendas de conveniencia	TC	---
Toneladas de alimentos perdidos	T_a	toneladas
Tonelada de refrigeración específica de una tecnología i	TRE_i	TR
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME	---
Valor del último año (PIB / leche producida/número de viviendas)	x_i	billones de pesos colombianos millones de litros
Valor del primer año (PIB / leche producida/número de viviendas)	x_j	billones de pesos colombianos millones de litros
XM Administradores del mercado eléctrico	XM	---

Fuente: Elaboración propia

1. Resultados climatización

Los resultados generados de la implementación de la metodología descrita en la **sección 1.2 del Volumen 2** se exponen en este capítulo, los cuales proporcionan una visión del estado actual (año 2023) y futuro proyectado (año 2030 y 2050) de la climatización en edificaciones del sector residencial y terciario.

En ambos sectores se presentan los resultados asociados a las variables previamente definidas: inventario de equipos, demanda de energía eléctrica, demanda de potencia térmica, cantidad de refrigerante y emisiones equivalentes de CO₂. Estos se abordan a partir de dos indicadores: demanda satisfecha y no satisfecha. Es importante resaltar que la demanda no satisfecha es considerada únicamente en el sector residencial, específicamente en los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3.

En cuanto a los escenarios futuros, como se detalla en la sección 1.2.3 del Volumen II, las proyecciones se realizan sobre el indicador de demanda satisfecha. En el sector residencial se basaron en el crecimiento de las importaciones, y en el terciario en el crecimiento del PIB por división CIIU. La información mencionada fue proporcionada de Legiscomex y el DANE respectivamente.

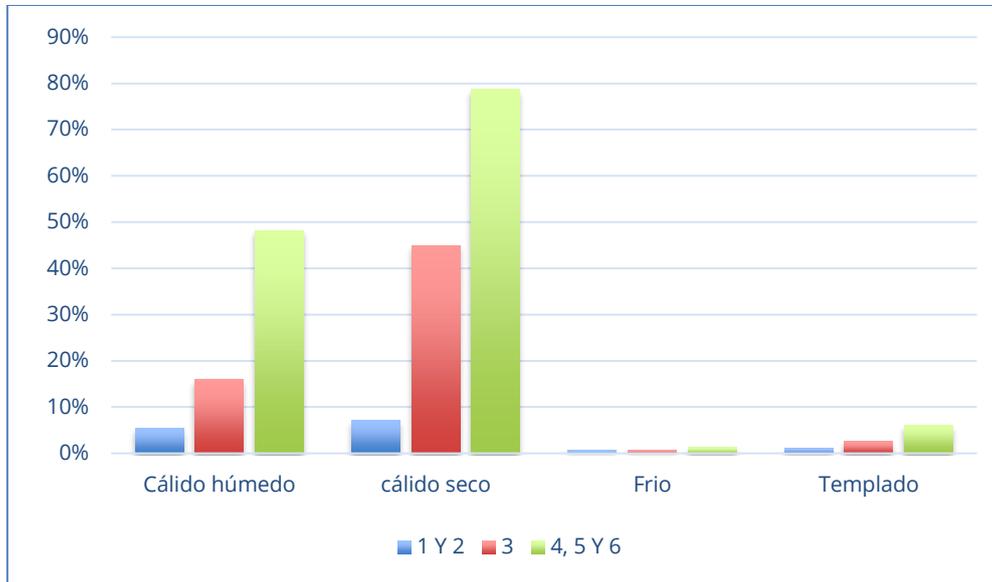
1.1. Sector residencial

A partir de la información proporcionada en las encuestas de calidad de vida de 2019 y 2023 y mediante la aplicación de la metodología bottom-up, se cuantifico el inventario de equipos de AC en cada piso térmico y estrato socioeconómico. A partir de esta variable, junto con las especificaciones técnicas (**ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 44 del Volumen 2**) y operativas (**ver tabla 47 del Volumen 2**), y siguiendo el proceso descrito en la sección 1.2.2 del Volumen II, se determinaron las demás variables (demanda de energía eléctrica, demanda de potencia térmica, cantidad de refrigerante y emisiones equivalentes de CO₂).

Inventario

Con la ECV - 2023 se puede establecer el porcentaje de la tenencia de AC en las viviendas por estrato socioeconómico en cada departamento, con ello se pudo obtener el número de unidades instaladas en el sector residencial. En la **Figura 1¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la distribución de los AC por estrato socioeconómico en cada piso térmico, en cada uno de ellos la mayor tenencia se da en los estratos altos y en los climas cálidos con un porcentaje superior al 40%.

Figura 1. Porcentaje de tenencia de AC en 2023, en cada piso térmico por estrato socioeconómico del sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda satisfecha

La **Tabla 2**, **Tabla 3**, **Tabla 4** y

Tabla 5 presentan el inventario del 2023 del sector residencial en los pisos térmicos cálido húmedo, cálido seco, templado y frio respectivamente. Estas son la línea base para realizar la proyección respectiva a 2050, aplicando una tasa de crecimiento anual de 2,2% para cada piso térmico, calculada con base en las importaciones en la sección 1.2.3 del **volumen 2**.

Tabla 2. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico cálido húmedo del sector residencial

Piso térmico	Tecnología	Refrigerante	TRE _i ¹ [TR]	Número de equipos
Cálido húmedo	Minisplit	R-22	1,2	7.922
		R-410 ^a	1,2	330.648
	Pared	R-22	0,7	17.166
		R-410 ^a	0,8	42.639
	Central	R-22	3,6	0
		R-410 ^a	6,1	13.361

Fuente: Elaboración propia

¹ Consumo específico de cada equipo

Tabla 3. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico cálido seco del sector residencial

Piso térmico	Tecnología	Refrigerante	TRE _t [TR]	Número de equipos
Cálido seco	Minisplit	R-22	1,2	4.876
		R-410 ^a	1,2	203.517
	Pared	R-22	0,7	8.280
		R-410 ^a	0,8	20.566
	Central	R-22	3,6	0
		R-410 ^a	6,1	2.866

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico templado del sector residencial

Piso térmico	Tecnología	Refrigerante	TRE _t [TR]	Número de equipos
Templado	Minisplit	R-22	1,2	1.561
		R-410 ^a	1,2	65.035
	Pared	R-22	0,7	11.704
		R-410 ^a	0,8	29.078
	Central	R-22	3,6	0
		R-410 ^a	6,1	3.425

Fuente: Elaboración propia

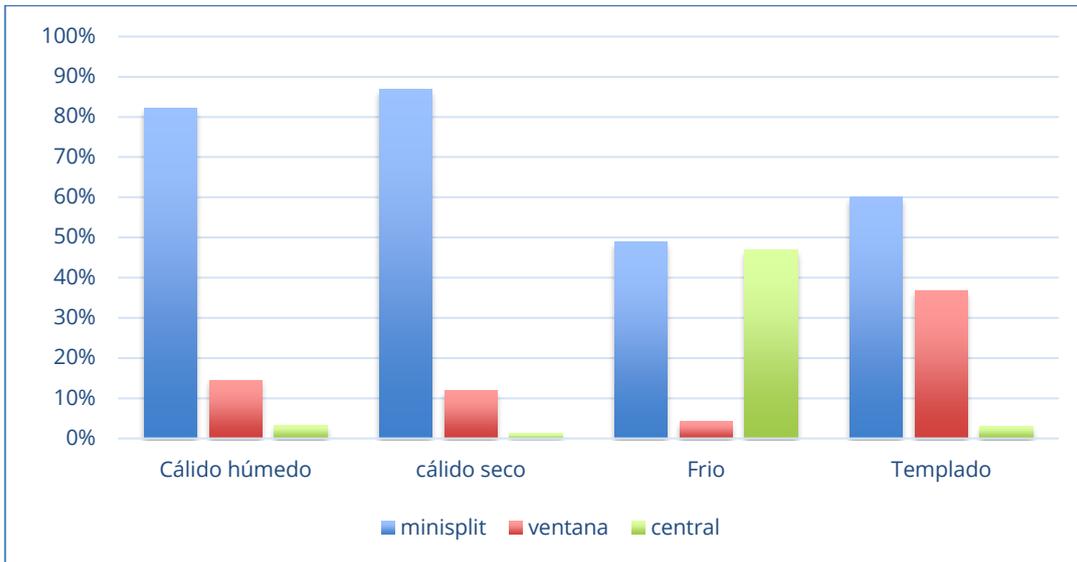
Tabla 5. Inventario satisfecho en 2023 en el piso térmico frío del sector residencial

Piso térmico	Tecnología	Refrigerante	TRE _t [TR]	Número de equipos
Frío	Minisplit	R-22	1,2	423
		R-410 ^a	1,2	17.663
	Pared	R-22	0,7	439
		R-410 ^a	0,8	1.093
	Central	R-22	3,6	0
		R-410 ^a	6,1	17.381

Fuente: Elaboración propia

Dado que la proyección se realiza por tecnología en cada piso térmico, según la información de tenencia mostrada anteriormente, se obtuvo la distribución de estos la cual se puede observar en la **Figura 2**.

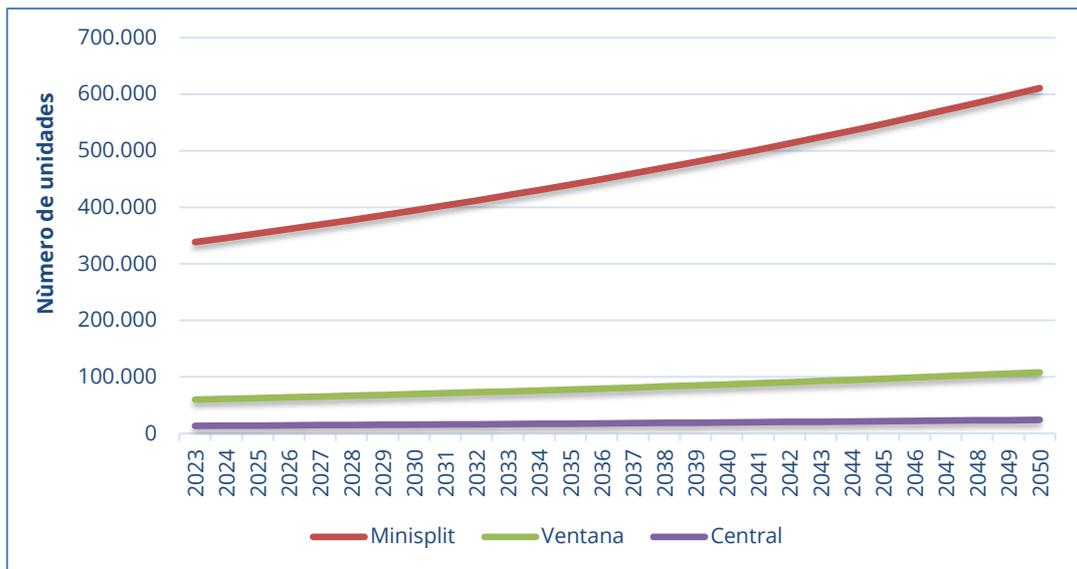
Figura 2. Porcentaje distribución de las tecnologías de AC por piso térmico en el sector residencial.



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 3;Error! No se encuentra el origen de la referencia.** ilustra la proyección a 2050 del inventario en el piso térmico cálido húmedo de cada tecnología. Con esta, se estima que para 2030 y 2050 respectivamente, estén instalados los siguientes equipos: 394.550 y 610.900 unidades de minisplit, 69.693 y 107.909 unidades de pared/ventana y 15.570 y 24.107 unidades de central.

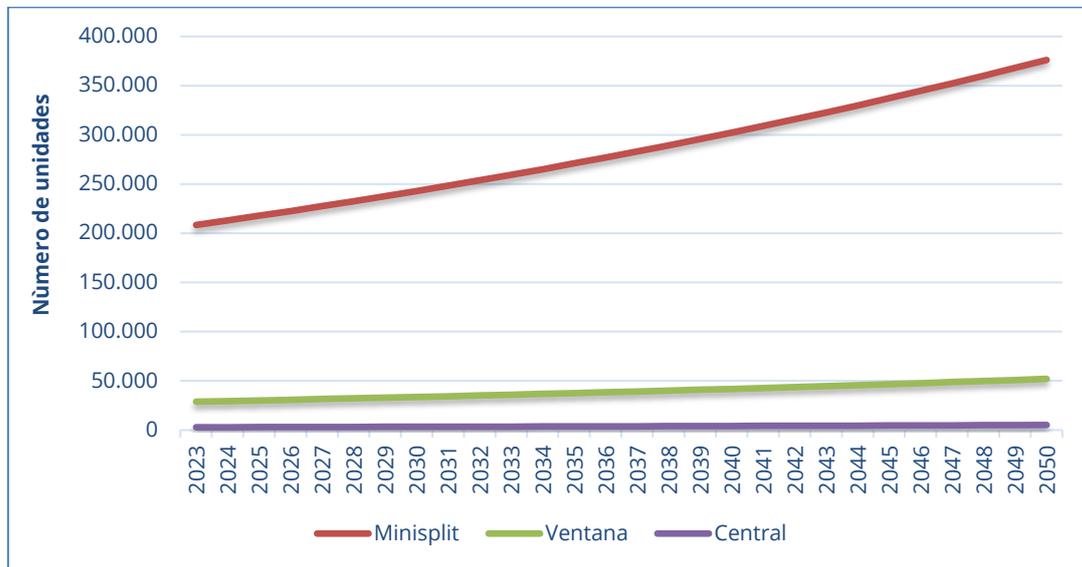
Figura 3. Inventario proyectado en el piso térmico cálido húmedo para el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 4** muestra la proyección del inventario de equipos a instalar al 2030 y 2050. De ello resulto una estimación para los años mencionados de 242.849 y 376.015 unidades de minisplit, 33.615 y 52.048 unidades de pared/ventana y 3.340 y 5.171 unidades de central.

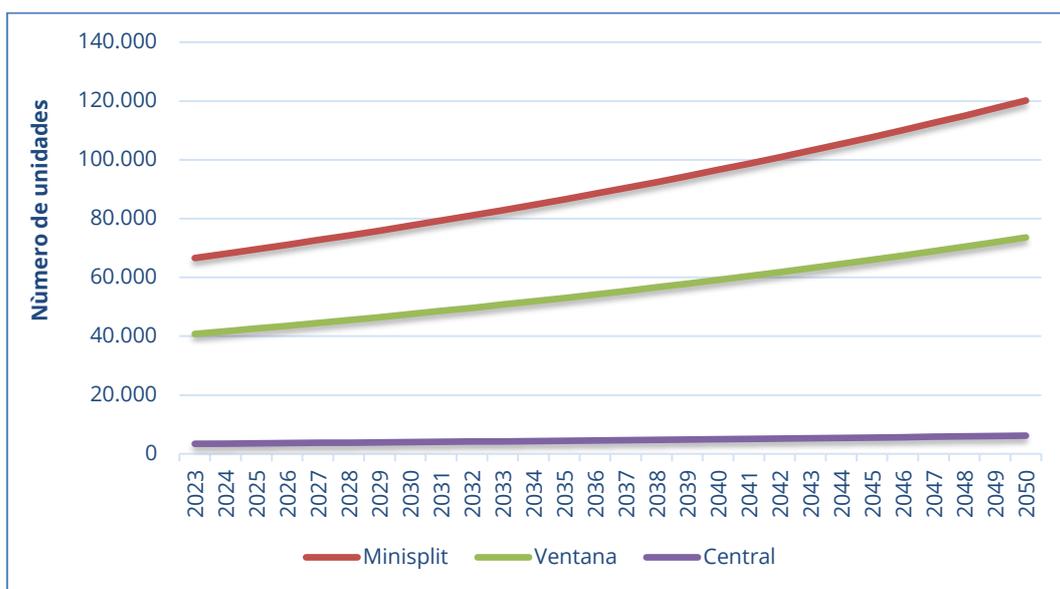
Figura 4. Inventario proyectado en el piso térmico cálido seco para el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al inventario proyectado en el piso térmico templado, la **Figura 5** muestra los equipos instalados al 2030 y 2050. Las unidades estimadas en los años mencionados respectivamente son: 77.607 y 120.163 unidades de minisplit, 47.525 y 73.585 unidades de pared/ventana y 3.991 y 6.180 unidades de central.

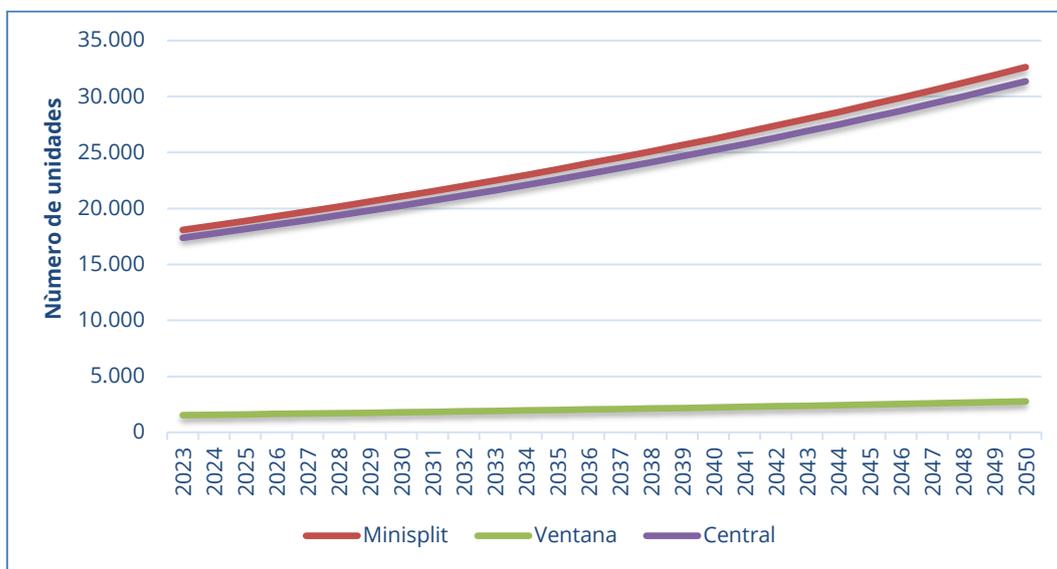
Figura 5. Inventario proyectado en el piso térmico templado para el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la proyección dada para el piso térmico frío, presenta una proyección a 2050 tal como se observa en la **Figura 6**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Esta muestra los equipos instalados según las tecnologías a 2030 y 2050. De acuerdo con lo anterior, en los años mencionados se estima una tenencia de 21.076 y 32.634 unidades de minisplit, 1.785 y 2.764 unidades de pared/ventana y 20.255 y 31.361 unidades de central.

Figura 6. Inventario proyectado en el piso térmico frío para el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

La demanda no satisfecha fue calculada en los estratos socioeconómicos bajos (1, 2 y 3) partiendo del supuesto que los estratos altos tienen su demanda completamente satisfecha dado que sus alcances económicos les permite satisfacer dichas necesidades, en los pisos térmicos cálido húmedo, cálido seco, templado y frío (solamente en el departamento de Cundinamarca²), en la cual se asumió que la tecnología instalada es minisplit dado que es la más representativa dentro del porcentaje de tenencias dentro de todas las tecnologías; para más detalle de criterios asumidos y metodología referirse a la **sección 1.2.2 del Volumen 2.**

La **Tabla 6**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** especifica el inventario no satisfecho en 2023, el cual está proporcionado por estrato socioeconómico en cada piso térmico. Tal como se muestra en la **Figura 7**, el mayor déficit de climatización está en el piso térmico cálido seco en estrato 1 y 2 con 1.386.318 unidades por instalar. Esta figura, denota la distribución porcentual de los estratos 1,2 y 3 según cada piso térmico.

Tabla 6. Inventario no satisfecho en 2023 en el estrato socioeconómico 1, 2 y 3 del sector residencial

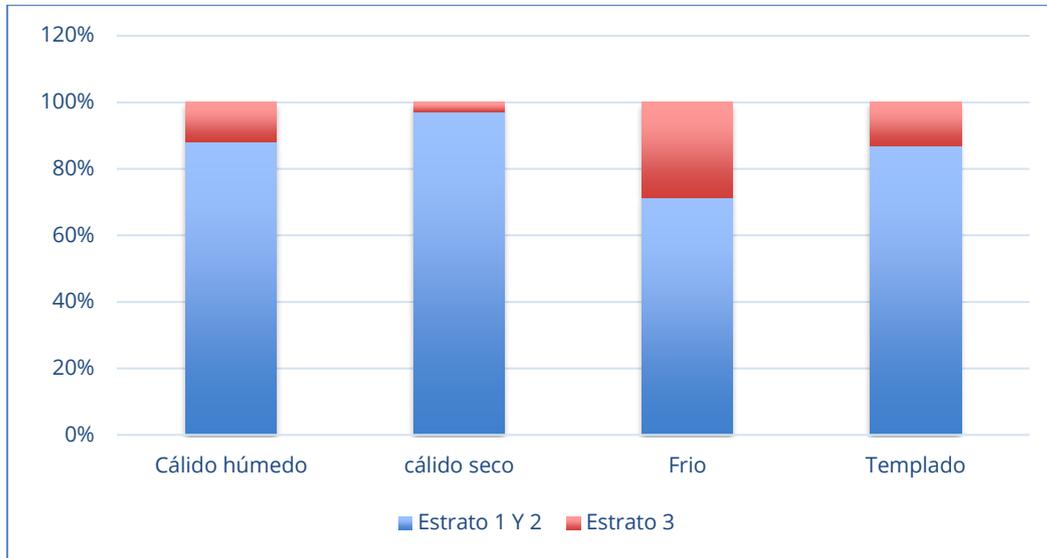
Piso térmico	Tecnología	Refrigerante	$\frac{TRE_t}{[TR]}$	Número de equipos
Cálido húmedo	Minisplit	R-410 ^a	1	1.470.355

² Dado que es el único departamento del piso térmico frío que presenta demanda de AC

Cálido seco		R-410 ^a	1	1.428.369
Templado		R-410 ^a	1	292.288
Frio		R-410 ^a	1	92.870

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Porcentaje de inventario no satisfecho en los estratos socioeconómicos por piso térmico



Fuente: Elaboración propia

Demanda de energía eléctrica

La estimación de la demanda de energía eléctrica fue calculada a partir de las horas de uso proporcionadas en la ECV-2019, la potencia promedio estipulada para cada tecnología (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del Volumen II) para cada tecnología y el inventario anteriormente calculado. Para más detalle dirigirse a la **sección 1.2.1 del Volumen 2.**

Demanda satisfecha

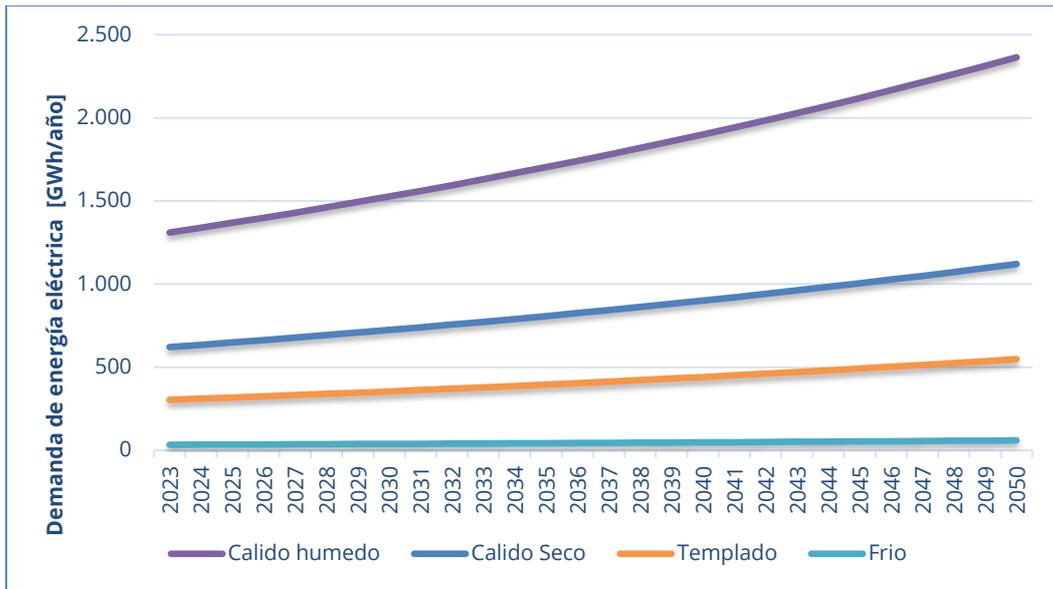
En la **Tabla 7; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la demanda de energía eléctrica consumida debido al uso de AC en el sector residencial. Esta fue proyectada con una tasa de crecimiento anual de 2,2 % al 2050. De ello se obtuvo que a 2030 y 2050 respectivamente, se espera consumo de energía eléctrica anual en el piso térmico cálido húmedo de 1.527 GWh y 2.364 GWh/año, 724 GWh y 1.121 GWh/año en el cálido seco, 354 GWh y 549 GWh/año en el templado y finalmente 38 GWh y 60 GWh/año en el frío.

Tabla 7. Demanda de energía eléctrica satisfecha en 2023 por piso térmico en el sector residencial

Piso térmico	Demanda de energía [GWh/año]
Cálido húmedo	1.310
Cálido seco	621
Templado	304
Frio	33
Total	2.268

Fuente: Elaboración propia

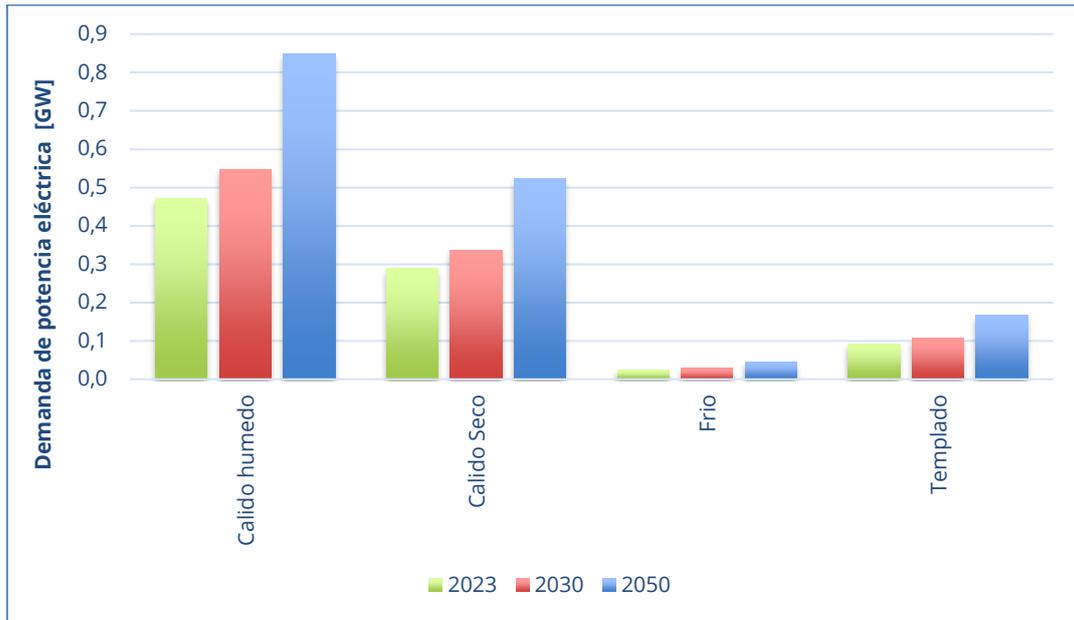
Figura 8. Demanda de energía eléctrica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 9** muestra la demanda de potencia eléctrica que el sistema eléctrico de potencia asumiría si se conectaran todos los equipos entre las 18:00 y 22:00 horas. Actualmente se tiene una potencia instalada promedio de 0,87 GW, en el año 2030, se espera aproximadamente una potencia instalada de 1 GW y en el 2050 1,58 GW.

Figura 9. Demanda de potencia eléctrica satisfecha 2023, y proyectada a 2030 y 2050 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

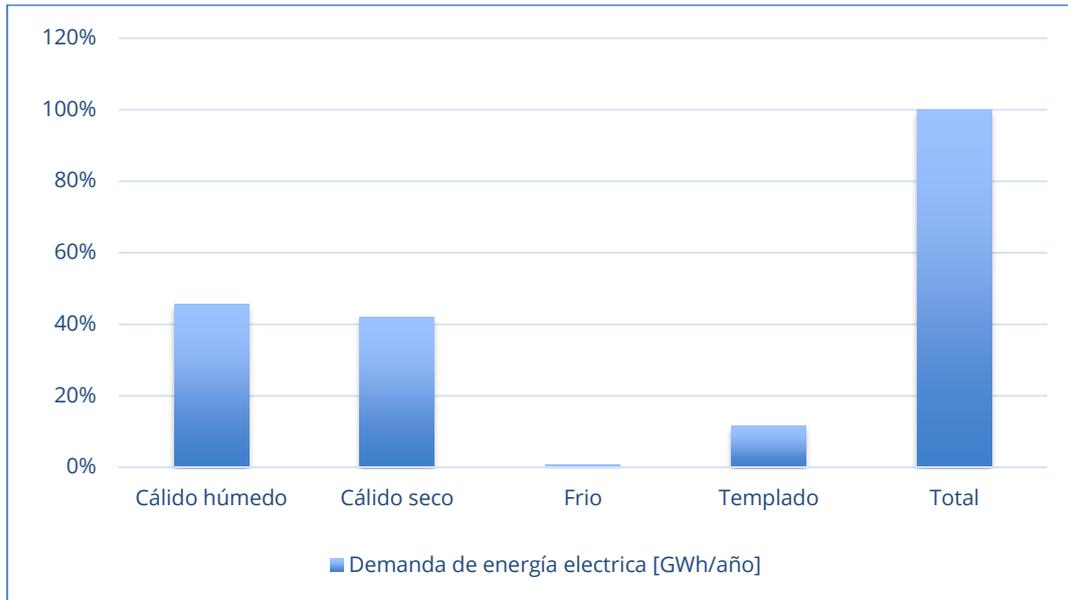
En la **Tabla 8** esta consignada la demanda de energía no satisfecha en el año 2023, la cual fue calculada operando las horas de uso correspondientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 de cada departamento, la potencia eléctrica definida en 1kW y el inventario de equipos previamente calculado. Para ver el detalle del procedimiento realizado, referirse a la **sección 1.2.1 del Volumen 2**. La **Figura 10**, representa el consumo de energía no satisfecha por piso térmico, donde se evidencia una mayor presencia en los climas cálidos húmedo y seco, con un 46% y 42 % respectivamente.

Tabla 8. Demanda de energía eléctrica no satisfecha en 2023 por piso térmico en el sector residencial

Piso térmico	Demanda de energía [GWh/año]
Cálido húmedo	2.304
Cálido seco	2.118
Templado	34
Frio	591
Total	5.048

Fuente: Elaboración propia

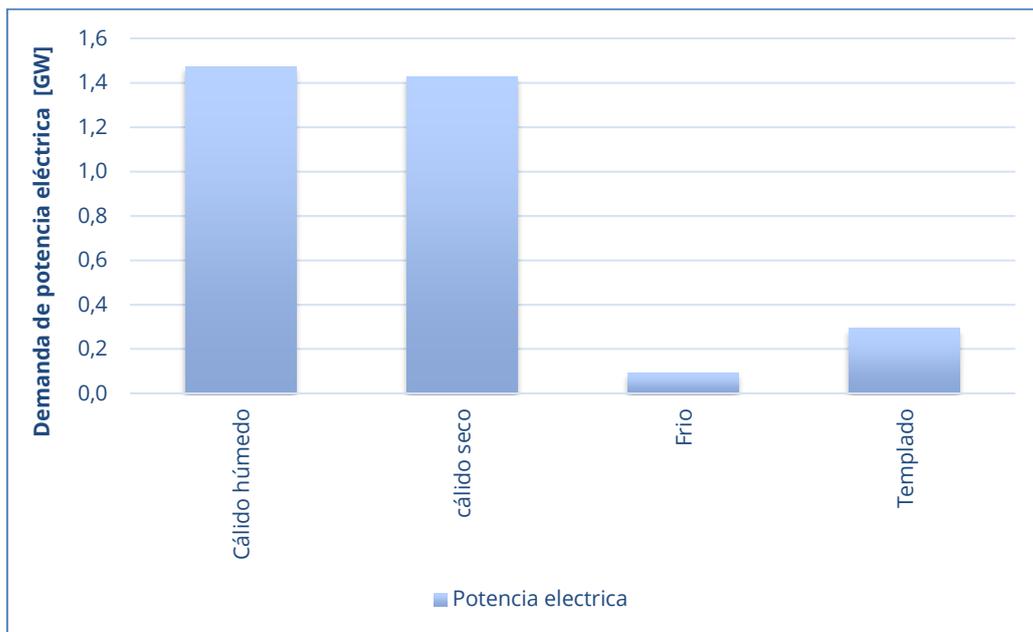
Figura 10. Porcentaje de demanda de energía eléctrica no satisfecha por piso térmico en el sector residencial.



Fuente: Elaboración propia

Dado que se asumió para el periodo de 18:00 a 22:00 horas, el funcionamiento del inventario de AC no satisfecho, este representaría en el sistema eléctrico una potencia eléctrica demandada de 3,3 GW. Tal como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en los climas cálido húmedo y cálido seco, la potencia eléctrica instalada para las horas mencionadas es de 1,4 GW.

Figura 11. Demanda de potencia eléctrica no satisfecha a 2023, por piso térmico en el sector residencial.



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

Para obtener la demanda de potencia térmica se multiplico el inventario previamente calculado por la capacidad térmica promedio de cada tecnología (ver **Tabla 44**). En la **sección 1.2.1 del Volumen 2**, se puede encontrar a detalle el procedimiento realizado.

Demanda satisfecha

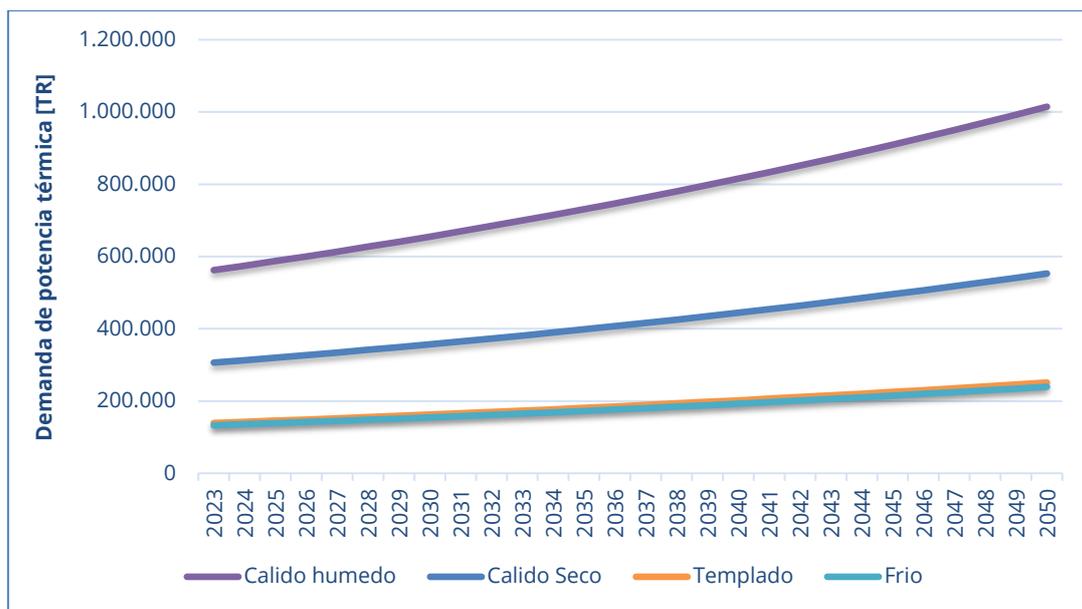
En la **Tabla 9** se presentan las potencias térmicas previstas para cada piso térmico en 2023. Con base en estas se realiza la proyección a 2050 mostrada en la **Figura 12** con una tasa de crecimiento del 2,2%. Dada la proyección realizada se obtuvo que para 2030 se estima una potencia térmica instalada 655.185 TR, 357.060 TR, 162.220 TR y 154.781 TR en los climas cálido húmedo, cálido seco, templado y frio respectivamente. En cuanto al 2050, se estima 1.014.452 TR, 552.852 TR, 251.173 TR y 239.654 TR para los mismos pisos térmicos.

Tabla 9. Demanda de potencia térmica satisfecha 2023 por piso térmico en el sector residencial

Piso térmico	Demanda de potencia térmica [TR]
Cálido húmedo	562.225
Cálido seco	306.399
Templado	139.204
Frio	132.820
Total	1.140.648

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Demanda de potencia térmica satisfecha proyectada a 2050 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

En la **Tabla 10** **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las potencias térmicas previstas para cada piso térmico en 2023, asumiendo que cada equipo del inventario no satisfecho tiene 1 TR. La distribución de potencia térmica difiere con la de demanda de energía eléctrica, ya que esta no depende del tiempo de uso del equipo, en la **Figura 13**, se muestra la distribución de la capacidad térmica no satisfecha a 2023.

Tabla 10. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 por piso térmico en el sector residencial

Piso térmico	Demanda de potencia térmica [TR]
Cálido húmedo	1.470.355
Cálido seco	1.428.369
Templado	292.288
Frio	92.870
Total	3.283.882

Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Porcentaje de demanda de potencia térmica no satisfecha por piso térmico en el sector residencial.



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

En este sector los equipos instalados usan dos refrigerantes (R-22 y R-410^a), los cuales son emitidos a la atmosfera durante la operación y mantenimiento de cada equipo y, durante la disposición de este a lo largo y al final de su vida útil. El total en kg de refrigerante emitido resulta de sumar las emisiones anteriormente mencionadas calculadas para todo el inventario, siguiendo el cálculo matemático explicado en la **sección 1.2.1 del Volumen 2**.

Demanda satisfecha

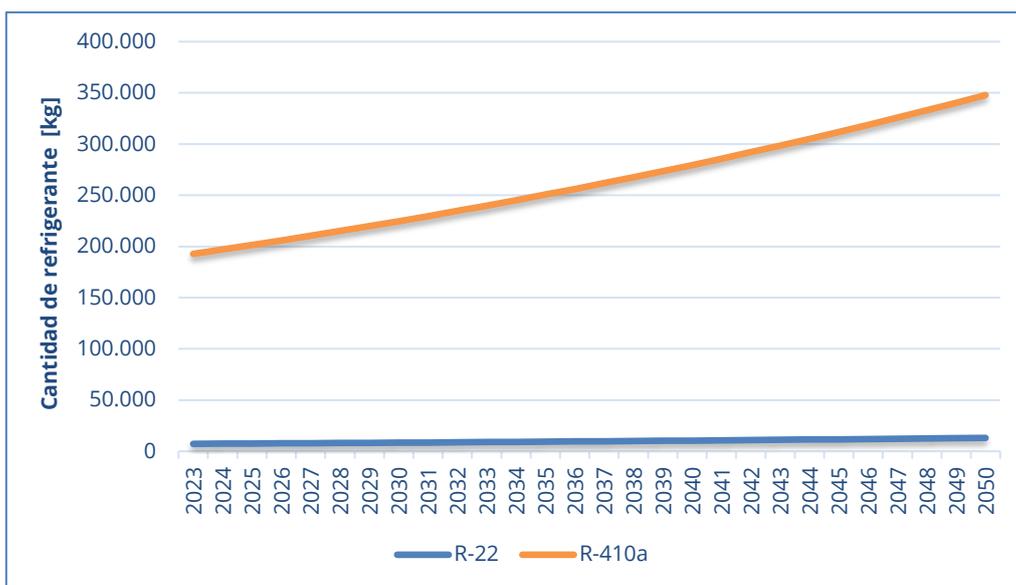
La **Tabla 11** presenta las emisiones de los refrigerantes R-22 y R-410^a emitidos a la atmosfera debido al inventario satisfecho previamente obtenido para cada piso térmico en 2023. Estos sirven como línea base para realizar la respectiva proyección a 2050 vista en la **Figura 14**, con una tasa de 2,2% Con estas se estima que en total para 2030 y 2050, se emitirán 233.043 kg y 360.831 kg de refrigerante.

Tabla 11. Cantidad de refrigerantes en 2023 emitidos a la atmosfera en el sector residencial debido al inventario satisfecho

Piso térmico	R-22 [kg]	R-410a [kg]
Cálido húmedo	3.627	97.500
Cálido seco	2.049	55.243
Templado	1.385	21.655
Frio	155	18.364
Total	7.216	192.762

Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Proyección del refrigerante emitido satisfecho a la atmosfera 2023 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

La cantidad de refrigerante R-410^a emitido a la atmosfera que se presentaría debido a la operación, mantenimiento y disposición de los AC no satisfechos por piso térmico, esta consignado la **Tabla 12**.

Tabla 12. Cantidad de refrigerantes en 2023 emitidos a la atmosfera en el sector residencial debido al inventario no satisfecho

Piso térmico	R-410a [kg]
Cálido húmedo	290.124
Cálido seco	281.840
Templado	57.673
Frio	18.325
Total	647.962

Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Para obtener las emisiones totales equivalentes CO₂, se sumaron las emisiones directas por operación y disposición, más las indirectas. Las dos primeras están relacionadas al GWP, propio de cada refrigerante y tienen en cuenta la carga del refrigerante, los años de vida útil y el porcentaje de perdida de refrigerante debido al uso y mantenimiento del equipo. En cuanto a las indirectas estas se relaciona al consumo de energía eléctrica de los equipos. En la **sección 1.2.1 del Volumen 2** se encuentra detallado el proceso matemático.

Demanda satisfecha

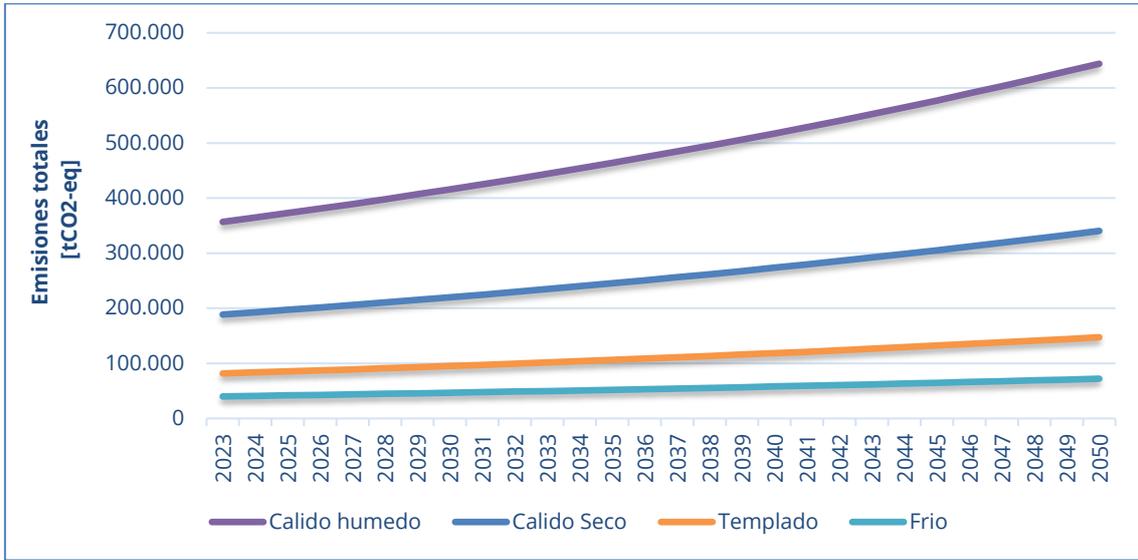
La **Tabla 13** presenta las emisiones directas por operación, directas por disposición, indirectas y totales para el 2023 dado los equipos usados en el sector. Estas fueron proyectadas a 2050 con una tasa de crecimiento del 2,2%. En la **Figura 15** se puede observar la proyección, donde se estima que a 2030 se emiten 779.609 tCO₂-eq de GEI y a 2050 1.206.010 tCO₂-eq.

Tabla 13. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico debido al inventario satisfecho en el sector residencial

Piso térmico	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Cálido húmedo	32.224	177.921	146.674	356.819
Cálido seco	15.587	103.469	69.628	188.684
Templado	8.791	38.931	33.996	81.718
Frio	13.204	25.422	1.406	40.032
Total	69.806	345.743	251.704	667.253

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Proyección satisfecha de emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico en el sector residencial



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

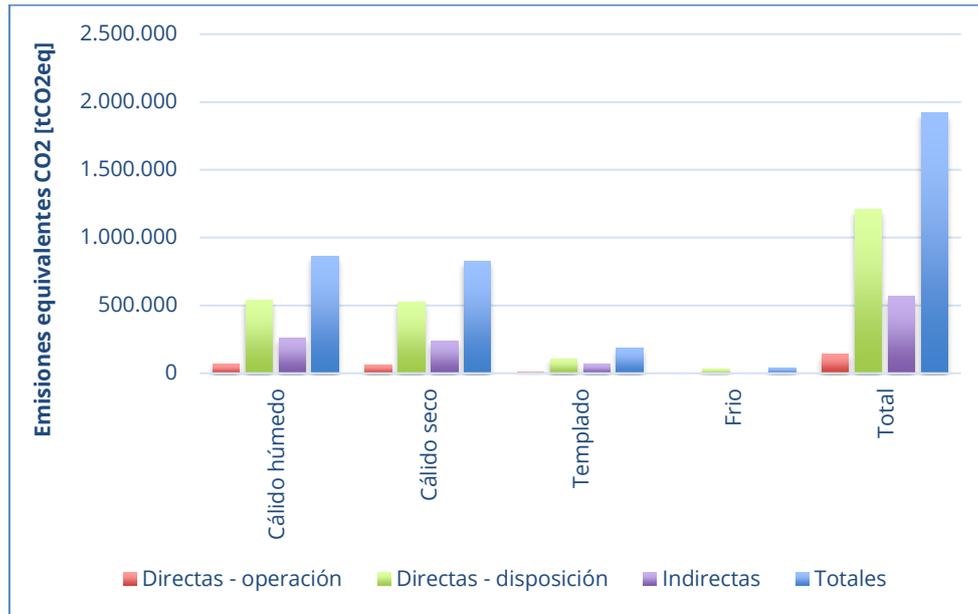
Dado el inventario no satisfecho previamente calculado, la **Tabla 14** refleja las toneladas de emisiones de GEI emitidas a la atmósfera, generadas por el uso de refrigerantes para el funcionamiento de los AC y consumo de energía eléctrica. La **Figura 16** muestra el comportamiento de las emisiones generadas por el uso de AC, tal que, la disposición del equipo representa la mayor influencia.

Tabla 14. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 por piso térmico debido al inventario no satisfecho en el sector residencial

Piso térmico	Emisiones directas operación [tCO2-eq]	Emisiones directas disposición [tCO2-eq]	Emisiones indirectas [tCO2-eq]	Emisiones totales [tCO2-eq]
Cálido húmedo	64.905	540.875	258.096	863.876
Cálido seco	63.052	525.430	237.269	825.751
Templado	12.902	107.519	66.174	186.595
Frio	4.100	34.163	3.797	42.059
Total	144.958	1.207.987	565.335	1.918.281

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Emisiones de GEI indirectas, directas por disposición y operación en cada piso térmico del sector residencial



Fuente: Elaboración propia

2. Resultados de refrigeración

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación de la metodología expuesta en el **volumen 2** para refrigeración en su estado actual (período 2022 o 2023) y sus proyecciones hacia el año 2050. Estos se han categorizado en tres grupos principales: cadena de frío en el sector alimentario, cadena de frío en el sector salud y procesos industriales.

Para cada una de estas categorías, se muestran los resultados de inventario, demanda energética, demanda de potencia térmica, cantidad de refrigerantes liberados a la atmósfera y emisiones equivalentes de CO₂. Además, se ha distinguido entre la demanda satisfecha y la no satisfecha, siendo esta última aplicable en casos específicos que requieren una consideración particular.

Adicionalmente, se aplicaron proyecciones individualizadas por sectores. Estas tasas se basan principalmente en el crecimiento del PIB de los diversos sectores económicos del país.

2.1. Cadena de frío en alimentos

La cadena de frío en alimentos se descompone en diversas subcategorías. Estas subcategorías comprenden: (a) producción; (b) procesamiento; (c) empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes; (d) administración pública, defensa y salud; (e) refrigeración doméstica; y (f) transporte refrigerado.

2.1.1. Producción

Inventario

La subcategoría de producción comprende los sectores agrícolas donde se presenta demanda de refrigeración, específicamente: cultivo de flores, conservación de leche, reproducción porcina y conservación de pescado. Para cuantificar el inventario de estos, se llevó a cabo la metodología top-down, en la cual se parte de la demanda de energía y se fracciona entre las diferentes tecnologías utilizadas en cada sector. El siguiente paso consiste en dividir la demanda energética de cada tecnología por su consumo específico.

Demanda satisfecha

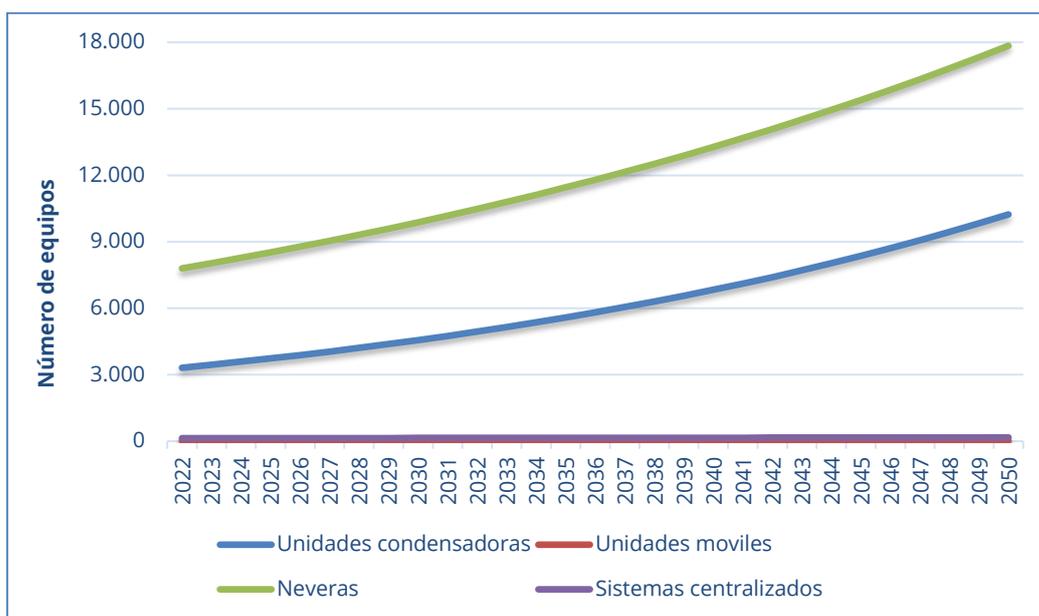
La **Tabla 15** presenta el inventario de producción a 2022, que sirve como punto inicial para la proyección mostrada en la **Figura 17**. Esta proyección utiliza tasas anuales de crecimiento para cada tipo de equipo: 4,1% para unidades condensadoras, 1,8% para unidades móviles, 3% para neveras y 0,8% para sistemas centralizados. Los resultados de la proyección son los siguientes: para 2030 y 2050 respectivamente, se esperan 4.565 y 10.234 unidades condensadoras, 144 y 169 unidades móviles, 9.881 y 17.846 neveras, y 9 y 13 sistemas centralizados.

Tabla 15. Inventario 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	Tecnología	Refrigerante	$\frac{TRE_i}{TR}$	Número de equipos
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	Unidad condensadora	R-22	2,9	249
		R-134 ^a	2,0	1.663
		R-404 ^a	1,3	1.236
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	Unidad condensadora	R-22	2,9	13
		R-134 ^a	2,0	87
R-404 ^a		1,3	65	
	Unidades móviles	R-404 ^a	1,4	8
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	Nevera	R-134 ^a	0,06	5.304
		R-600 ^a	0,06	2.496
Pesca (CIU 031)	Autocontenido	R-22	0,5	1
		R-134 ^a	0,3	105
		R-404 ^a	0,4	5
		R-507 ^a	0,4	0
		R-290	0,3	17
		R-600 ^a	0,4	1
		R-744	0,4	6

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica y combustibles)

La cuantificación del consumo de energía eléctrica para los sectores mencionados se basó en los datos de XM correspondiente al año 2022, el período más reciente reportado. El proceso consistió en fraccionar el componente energético de cada sector y luego cuantificar la energía específica para refrigeración, aplicando un porcentaje conocido para cada sector.

Demanda satisfecha

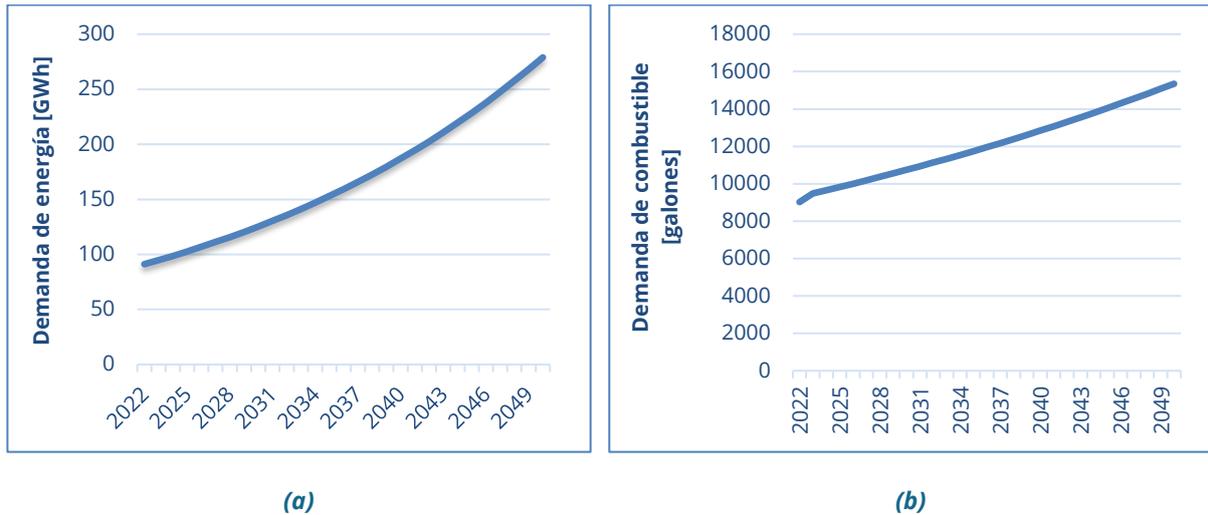
En la **Tabla 16** se presenta la demanda de energía eléctrica y combustible para refrigeración requerida por la subcategoría de producción a 2022. Complementariamente, la **Figura 18** muestra las proyecciones con tasas de crecimiento anual del 4,1% para electricidad y del 1,8% para combustible. Con estas tasas, se estima que para 2030 se alcanzarían 125 GWh y 10.742 galones de combustible, mientras que para 2050 las cifras proyectadas serían de 279 GWh y 15.348 galones de combustible.

Tabla 16. Demanda energética 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	Demanda de energía [GWh/año]	Demanda de combustible [gal/año]
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	84	---
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	4	9.024
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	2,3	---
Pesca (CIU 031)	0,3	---
Total	91	9.024

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

La cuantificación de la demanda de potencia térmica comenzó con la multiplicación del número de unidades de cada tecnología por las toneladas de refrigeración correspondientes a cada una de ellas. Luego, se sumaron las toneladas de refrigeración de todas las tecnologías para obtener el total.

Demanda satisfecha

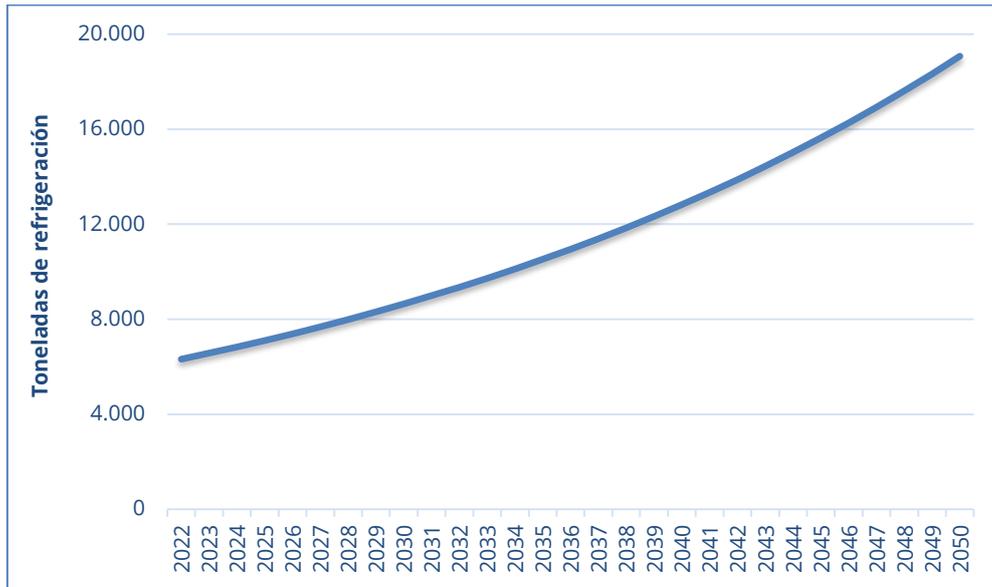
En la **Tabla 17**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las potencias térmicas previstas para cada sector en 2023. Asimismo, en la **Figura 19** se complementa esta información mediante la proyección de esta demanda con una tasa de crecimiento anual del 4%, lo cual se espera que crezca hasta 8.643 TR para 2030 y 19.075 TR para 2050.

Tabla 17. Demanda de potencia térmica 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	5.535
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	301
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	444
Pesca (CIU 031)	38
Total	6.318

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

Las emisiones específicas de refrigerantes provienen de dos fuentes: las originadas por la operación del equipo (fugas) y las provenientes de la disposición de este (refrigerantes perdidos al finalizar su vida útil). El cálculo se realizó en tres pasos: primero, se calcularon las emisiones específicas por operación; segundo, las emisiones específicas por disposición; y tercero, se sumaron ambas y se multiplicaron por el inventario. En esta subcategoría se identificaron los siguientes refrigerantes: R-22, R-134^a, R-404^a, R-507^a, R-290, R-600^a y R-744.

Demanda satisfecha

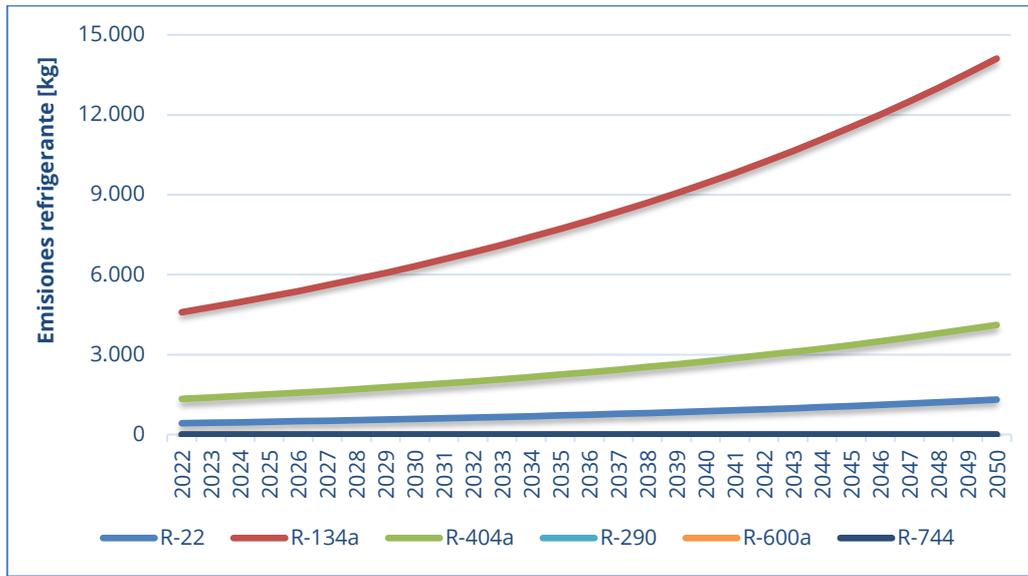
La **Tabla 18** presenta las emisiones de refrigerantes por los sectores de producción a 2022. Así también, la **Figura 20** Error! No se encuentra el origen de la referencia. completa esta información mediante la proyección de estos refrigerantes, donde el R-22, R-134^a y R-404^a tienen una tasa de crecimiento anual del 4,1%, mientras que para el R-290, R-600^a y R-744 es del 0,8%. Se espera que estos refrigerantes alcancen emisiones de 585 kg, 6.316 kg, 1.841 kg, 0,43 kg, 0,004 kg y 0,35 kg para el 2030, así como 1.311 kg, 1.411 kg, 4.112 kg, 0,5 kg, 0,005 kg y 0,41 kg para el 2050.

Tabla 18. Cantidad de refrigerantes 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	R-22 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]	R-290 [kg]	R-600 ^a [kg]	R-744 [kg]
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	403	4.288	1.251	---	---	---
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	21,1	224,3	73,8	---	---	---
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	---	70,2	13,7	---	---	---
Pesca (CIU 031)	0,2	8,1	0,3	0,4	0,004	0,3
Total	424	4.591	1.339	0,4	0,004	0,3

Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Las emisiones equivalentes de CO₂ se clasifican en tres categorías: directas por operación, directas por disposición e indirectas. Las dos primeras están vinculadas al Potencial de Calentamiento Global (GWP) de los refrigerantes utilizados, mientras que las emisiones indirectas se relacionan con el consumo energético del equipo.

Para cuantificar estas emisiones, se siguió un proceso en dos pasos: primero, se determinaron las emisiones específicas de cada tecnología, y luego, estas se multiplicaron por el inventario correspondiente.

Demanda satisfecha

La **Tabla 19** presenta las emisiones directas por operación, directas por disposición, indirectas y totales para el 2022. Estas últimas se proyectan en la **Figura 21** con una tasa de crecimiento anual del 4,1%, alcanzando 31.292 tCO₂-eq en 2030 y 69.854 tCO₂-eq en 2050, respectivamente.

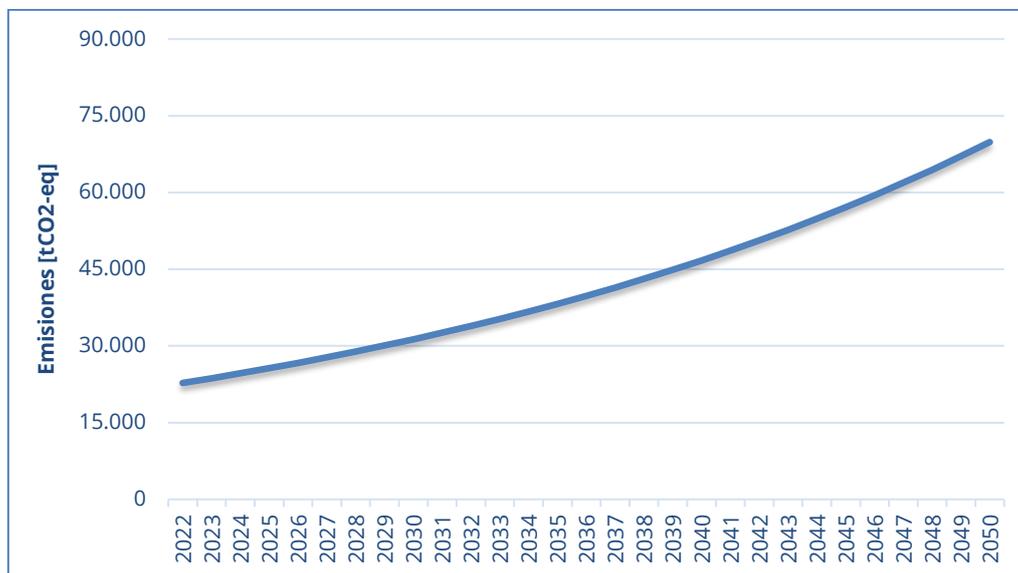
Tabla 19. Emisiones equivalentes de CO₂ 2022 para cadena de frío en alimentos-producción

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Cultivo de flor de corte (CIU 0125)	10.058	1.710	9.429	21.198
Cría de ganado bovino y bufalino (CIU 0141)	554	94	507	1.155
Cría de ganado porcino (CIU 0144)	27	73	255	356
Pesca (CIU 031)	4	10	33	46

Total	10.643	1.887	10.224	22.755
-------	--------	-------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-producción



Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Procesamiento

Inventario

El procesamiento se refiere a la transformación de alimentos y bebidas obtenidos durante la fase de producción en sus respectivos sectores. En esta etapa, los productos son sometidos a diversos tratamientos con el fin de obtener productos más elaborados. Para la elaboración de este inventario, se utilizó la metodología top-down detallada en el **volumen 2**.

El proceso se inició con la evaluación de la demanda energética de cada sector, la cual se desagregó de acuerdo con la fracción correspondiente a cada tecnología. Esta información fue obtenida de dos fuentes principales: el inventario reportado por la UTO y el estudio realizado por Incombustion para la UPME, que incluyeron visitas técnicas a las instalaciones. A partir de estos datos, se lograron identificar tres tipos de sistemas de refrigeración: centralizados, unidades condensadoras y chillers.

Demanda satisfecha

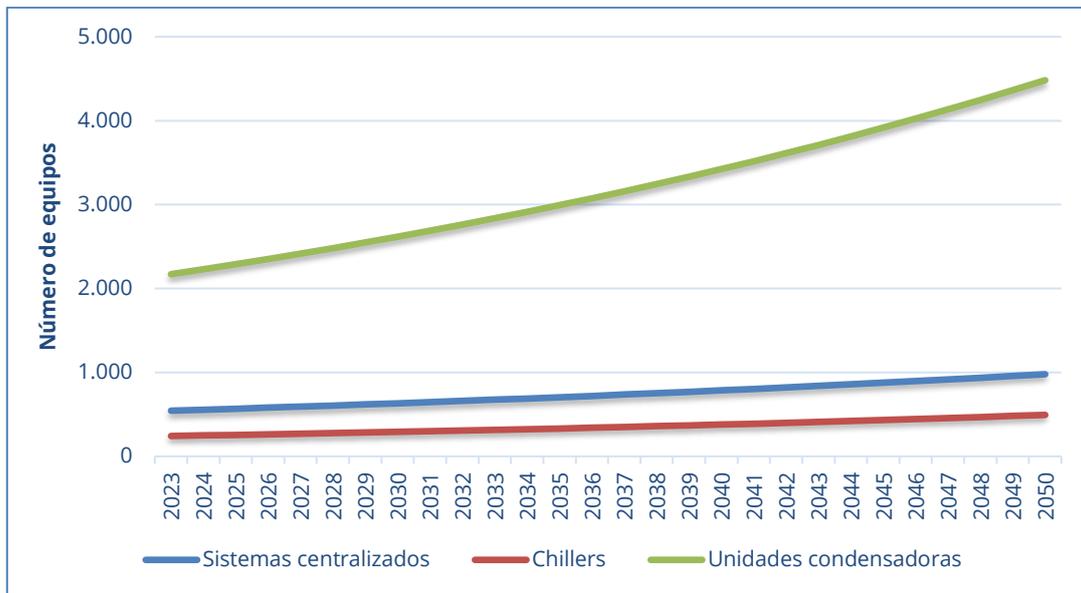
El inventario de producción para el año 2023 se presenta en la **Tabla 20**, sirviendo como base para la proyección ilustrada en la **Figura 22**. Esta proyección emplea tasas de crecimiento diferenciadas según el tipo de equipo: sistemas centralizados crecen al 2,2%, chillers al 2,6%, y unidades condensadoras al 2,7%. Los resultados proyectados muestran que para 2030 se esperan 633 sistemas centralizados, 292 chillers y 2.617 unidades condensadoras. Estas cifras aumentan para 2050 a 979, 494 y 4.482 unidades respectivamente.

Tabla 20. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
Alimentos (CIU 10)	Sistema centralizado	R-717	100	467
	Chiller	R-22	17	192
		R-123	549	36
		R-134 ^a	229	6
	Unidad condensadora	R-22	2,9	1.031
		R-134 ^a	2,0	627
R-404 ^a		1,3	465	
Bebidas (CIU 11)	Sistema centralizado	R-717	200	77
	Chiller	R-22	17	9
	Unidad condensadora	R-22	2,9	48

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

El proceso se inició con la determinación de la energía asignada a cada sector, empleando porcentajes de consumo obtenidos y aplicados a los datos de consumo total reportados por el SUI para el año 2023. Posteriormente, se calculó la demanda específica de energía para refrigeración aplicando un porcentaje previamente conocido.

Es relevante destacar que, en el sector de alimentos, se contaba con porcentajes específicos de demanda de refrigeración para cada clase CIU, lo que permitió realizar un cálculo más preciso en cada subsector.

Demanda satisfecha

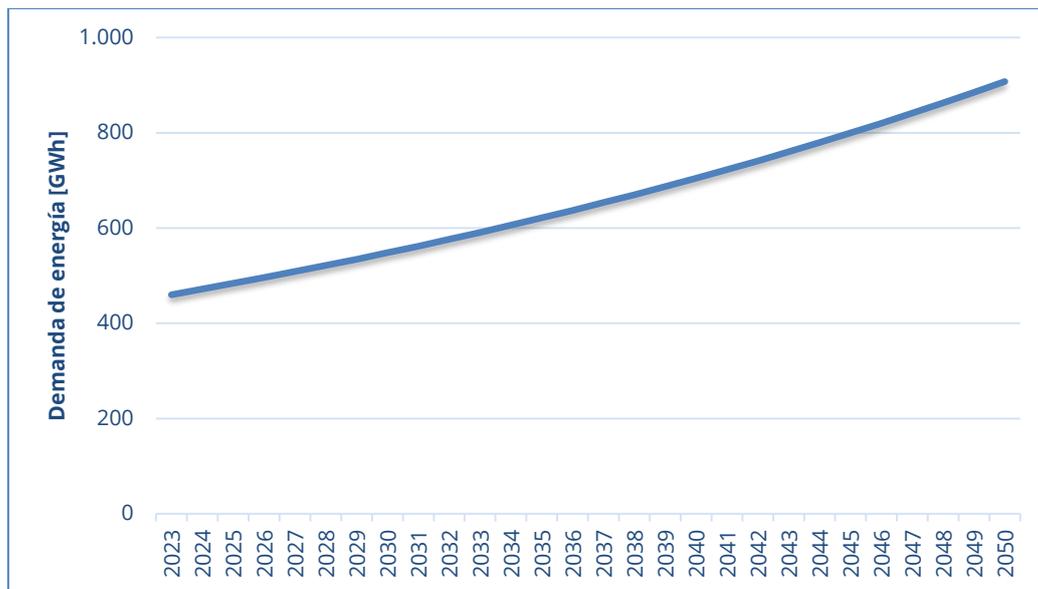
En la **Tabla 21** se detalla la demanda de energía eléctrica en 2023, requerida para la refrigeración en procesamiento. Adicionalmente, la **Figura 23** ilustra la proyección con una tasa de crecimiento anual del 2,6% para la electricidad. Según estas proyecciones, se espera que para 2030 la demanda alcance 548 GWh, mientras que para 2050 se proyecta un incremento hasta los 908 GWh.

Tabla 21. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector	Demanda de energía [GWh/año]	
Alimentos (CIU 10)	CIU 101	138
	CIU 102	27
	CIU 103	48
	CIU 104	196
	CIU 105	96
	CIU 108	13
Bebidas (CIU 11)	139	
Total	460	

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

Para llevar a cabo este cálculo, se implementó la metodología descrita en el **volumen 2** Donde, se utilizaron las toneladas de refrigeración específicas previamente calculadas, correspondientes a tres tecnologías principales: unidades condensadoras, chillers y sistemas centralizados. Este valor fue multiplicado por la cantidad de equipos de cada tecnología, y posteriormente, se sumaron los resultados para obtener la demanda total de potencia térmica en cada sector.

Demanda satisfecha

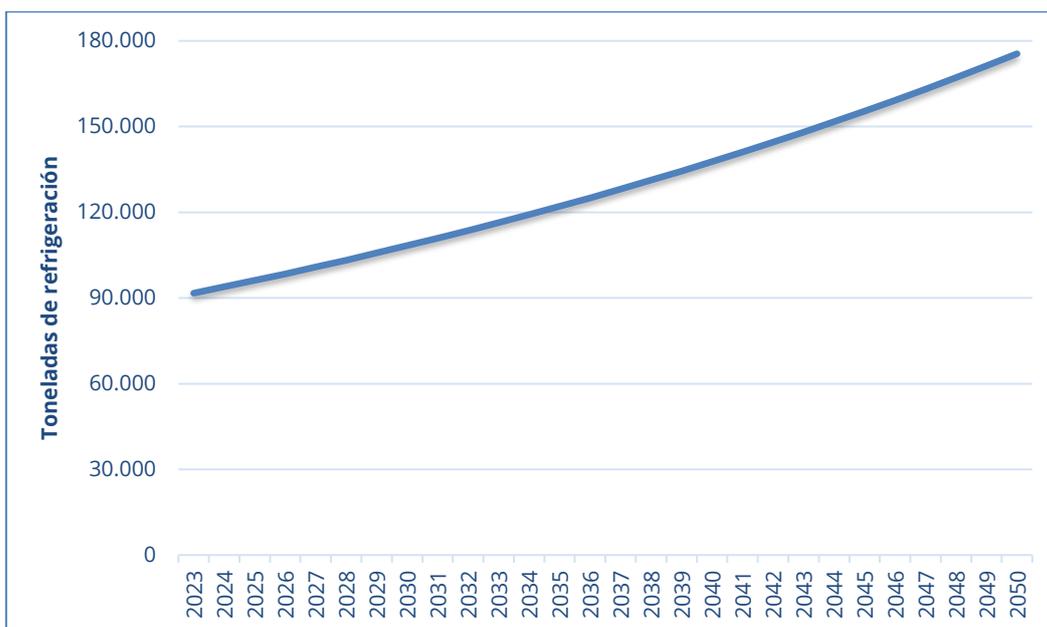
La **Tabla 22** exhibe la potencia térmica estimada para cada sector en el año 2023. Complementariamente, la **Figura 24** muestra la evolución proyectada de esta demanda para procesamiento, considerando un incremento anual del 2,4%. Según estas previsiones, se anticipa que la demanda alcanzará 108.294 TR en 2030, y continuará su expansión hasta llegar a 175.493 TR para el año 2050.

Tabla 22. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector		Demanda de potencia térmica [TR]
Alimentos (CIU 10)	CIU 101	17.586
	CIU 102	3.052
	CIU 103	18.839
	CIU 104	22.071
	CIU 105	11.000
	CIU 108	3.358
Bebidas (CIU 11)		15.770
Total		91.675

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

La cuantificación del refrigerante se realizó siguiendo la metodología detallada en el **volumen 2**. El proceso comenzó con la determinación de las emisiones específicas promedio de refrigerante, tanto por disposición como por operación. Una vez establecidas estas emisiones, se multiplicaron por el inventario correspondiente. Finalmente, se sumaron las emisiones de cada tecnología para obtener el total. En resumen, se encontraron porciones de R-717, R-22, R-123, R-134^a y R-404^a.

Demanda satisfecha

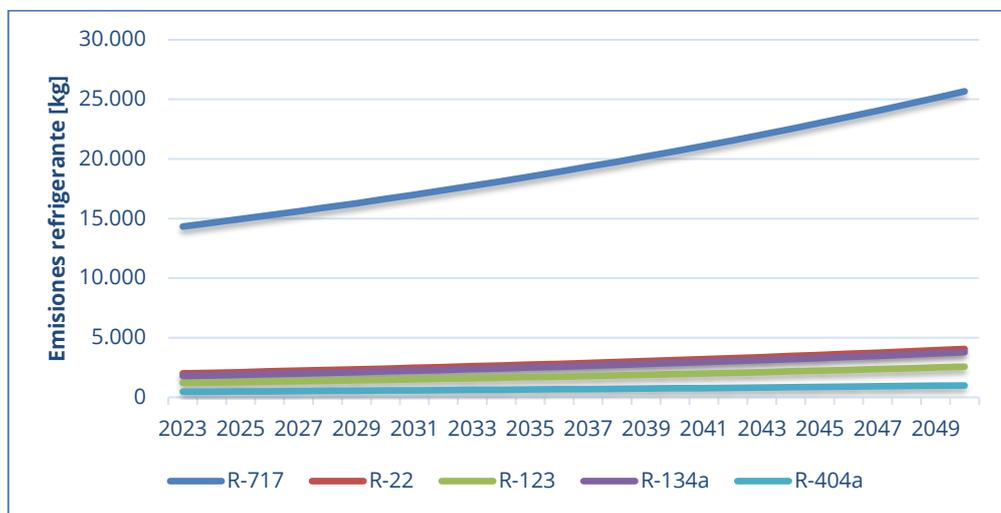
La **Tabla 23** presenta las emisiones de refrigerantes para los sectores de procesamiento a 2023. La **Figura 25** complementa esta información proyectando el crecimiento de estos refrigerantes. El R-717 muestra una tasa de crecimiento anual del 2,1%, el R-22 del 2,6%, mientras que el R-123, R-134^a y R-404^a crecen al 2,8% anual. Según estas proyecciones, para el año 2030 se espera que las emisiones alcancen 16.642 kg de R-717, 2.410 kg de R-22, 1.476 kg de R-123, 2.177 kg de R-134^a y 571 kg de R-404^a. Continuando con esta tendencia, para el 2050 se proyectan emisiones de 25.679 kg de R-717, 4.055 kg de R-22, 2.574 kg de R-123, 3.788 kg de R-134^a y 995 kg de R-404^a.

Tabla 23. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector		R-717 [kg]	R-22 [kg]	R-123 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]
Alimentos (CIU 10)	CIU 101	2.932	1.036	169	269	70
	CIU 102	813	2	---	5	2
	CIU 103	214	302	911	1.297	343
	CIU 104	5.582	362	---	---	---
	CIU 105	2.938	---	---	---	---
	CIU 108	---	222	135	223	56
Bebidas (CIU 11)		2.067	90	---	---	---
Total		14.331	2.012	1.215	1.794	471

Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Complementando lo expuesto anteriormente y siguiendo la metodología delineada en el **volumen 2**, se procedió a cuantificar las emisiones equivalentes específicas asociadas a los refrigerantes utilizados en los equipos de refrigeración. Estas emisiones fueron calculadas en relación con el inventario, lo que permitió totalizarlas en tres categorías: emisiones directas por operación, emisiones directas por disposición, y emisiones indirectas.

Demanda satisfecha

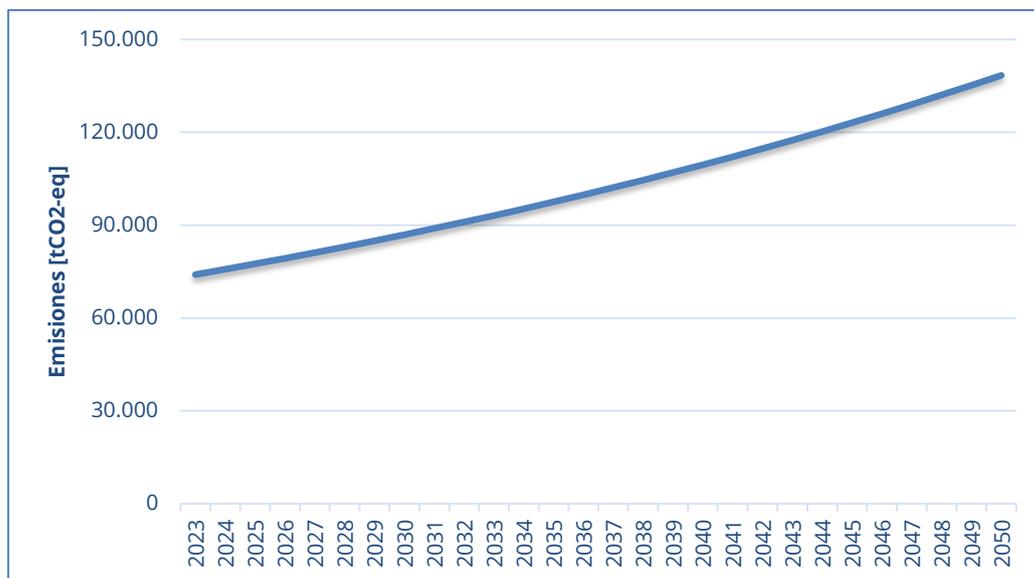
En la **Tabla 24** se desglosan las emisiones correspondientes al año 2023, categorizadas en directas por operación, directas por disposición, indirectas y totales. La evolución de las emisiones totales se ilustra en la **Figura 26**, con una tasa de crecimiento anual del 2,3%. Según estas proyecciones, se prevé ascenderán a 86.882 tCO₂-eq para el año 2030, y continuarán su aumento hasta alcanzar 138.378 tCO₂-eq en 2050.

Tabla 24. Emisiones equivalentes de CO₂ para cadena de frío en alimentos-procesamiento

Sector		Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Alimentos (CIU 10)	CIU 101	2.097	450	15.499	18.046
	CIU 102	16	3	3.000	3.019
	CIU 103	3.180	637	5.268	9.084
	CIU 104	537	118	21.907	22.562
	CIU 105	0	0	10.792	10.792
	CIU 108	783	166	1.453	2.402
Bebidas (CIU 11)		133	29	7.942	8.104
Total		6.745	1.403	65.862	74.009

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-procesamiento



Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Inventario

Esta subcategoría abarca las actividades de empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes, todas pertenecientes al sector terciario (servicios). Las ventas, tanto mayoristas como minoristas, requieren de alta refrigeración para conservar alimentos,

mientras que hoteles y restaurantes adquieren estos productos para su preparación y posterior oferta como alimentos elaborados. Las tecnologías identificadas de la UTO son autocontenidos, sistemas centralizados y unidades condensadoras.

En Colombia, el empaque y almacenamiento, aunque poco implementados se proponen como soluciones clave para mitigar la pérdida del 33% de la producción alimentaria.

Por un lado, para los sectores de ventas, hoteles y restaurantes, se aplicó la metodología top-down, detallada en el **volumen 2**. Este enfoque parte de la demanda total de energía, que luego se fracciona por tecnologías y se divide por el consumo específico de cada una. Por otro lado, para los sectores de postcosecha y almacenamiento parte de las toneladas de alimento perdidos en Colombia a 2016 (frutas, verduras y tubérculos) y mediante una tasa de crecimiento de traen a 2023.

Posteriormente, mediante factores de conversión que relacionan el espacio requerido para alimentos, considerando una rotación de 10 días. A partir de este dato, se calculó el inventario, asumiendo cuartos fríos de 100 m³ cada uno, mediante una división del espacio total.

Demanda satisfecha

La **Tabla 25** muestra el inventario de producción correspondiente al año 2023, el cual sirve como punto de partida para la proyección representada en la **Figura 27**. Esta utiliza tasas de crecimiento para cada equipo: los autocontenidos se incrementan a un ritmo del 4,2% anual, los sistemas centralizados al 4,1%, y las unidades condensadoras al 4,5%. Según estas proyecciones, se anticipa que para el año 2030 habrá 69.722 autocontenidos, 7.065 sistemas centralizados y 2.136 unidades condensadoras. Estas cantidades se elevarán aún más hacia el año 2050, alcanzando 160.417 autocontenidos, 15.781 sistemas centralizados y 5.112 unidades condensadoras.

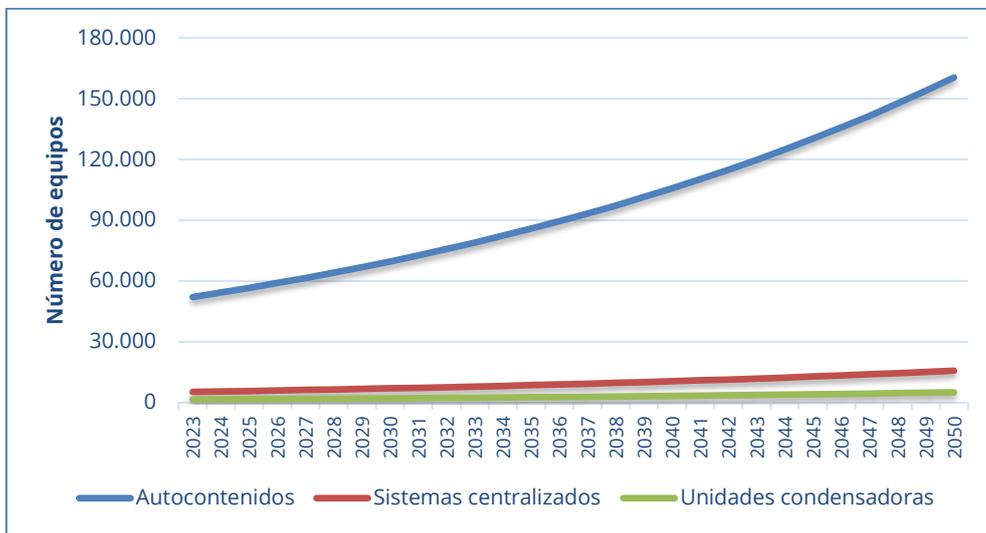
Tabla 25. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	Tipo de tienda	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
Comercio al por mayor (CIU 46)	HM	Autocontenido	---	0,1	3.328
		Sistema centralizado	---	9,4	205
		Unidad condensadora	---	---	0
	SG	Autocontenido	---	0,1	2.110
		Sistema centralizado	---	5,5	269
		Unidad condensadora	---	0,3	13
SM	Autocontenido	---	0,1	1.974	
	Sistema centralizado	---	4,1	266	
	Unidad condensadora	---	0,4	13	
Comercio al por menor (CIU 47)	SP	Autocontenido	---	0,2	19.241
		Sistema centralizado	---	3,2	3.469
		Unidad condensadora	---	0,5	142
	TC	Autocontenido	---	0,1	6.127

		Sistema centralizado	---	1,6	1.124
		Unidad condensadora	---	---	0
Alojamiento (CIU 55)	---	Autocontenido	R-22	0,5	69
			R-134 ^a	0,3	14.062
			R-404 ^a	0,4	653
			R-507 ^a	0,4	60
			R-290	0,3	2.250
			R-600 ^a	0,4	98
			R-744	0,4	782
Unidad condensadora	R-22	2,9	466		
	R-134 ^a	2,0	414		
	R-404 ^a	1,3	428		
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	---	Autocontenido	R-22	0,5	5
			R-134 ^a	0,3	1.055
			R-404 ^a	0,4	49
			R-507 ^a	0,4	4
			R-290	0,3	169
			R-600 ^a	0,4	7
			R-744	0,4	59
		Unidad condensadora	R-22	2,9	35
			R-134 ^a	2,0	31
			R-404 ^a	1,3	32

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

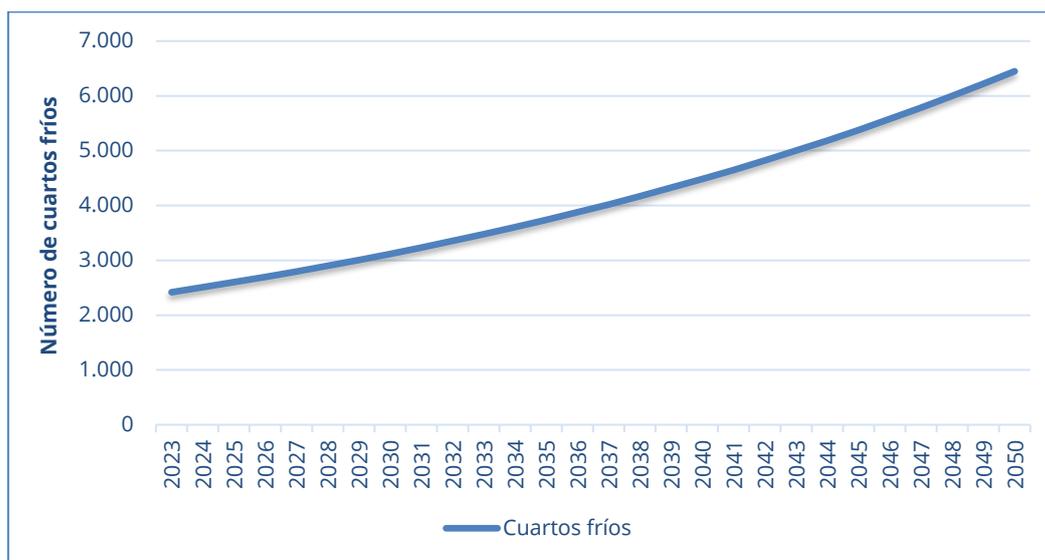
La **Tabla 26** muestra el inventario de cuartos fríos de postcosecha y almacenamiento para 2023. La **Figura 28** proyecta su crecimiento con una tasa anual del 3,7%. Se espera que haya 3.118 cuartos fríos en 2030 y 6.449 en 2050.

Tabla 26. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _t [TR]	Número de equipos
Postcosecha y almacenamiento	Cuartos fríos (unidad condensadora)	R-134 ^a	6,6	2.418

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Inventario no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

La estimación de la demanda energética asociada a la refrigeración se llevó a cabo utilizando los datos de consumo energético reportados en el SUI para el año 2023. Durante este proceso, se consideraron las proporciones de consumo específico correspondientes a cada uno de los sectores involucrados. Una vez identificado el consumo energético total por sector, se determinó la fracción atribuible a la refrigeración.

Adicionalmente, para calcular la demanda no satisfecha se utilizó una aplicación en línea para validar la potencia eléctrica requerida para un cuarto frío de 100 m³ en regiones con 29°C como temperatura ambiente. Con este dato se obtuvo la energía específica y asumiendo una operación continua durante todo el año de los cuartos fríos de postcosecha y almacenamiento, se determinó la energía anual para el 2023.

Demanda satisfecha

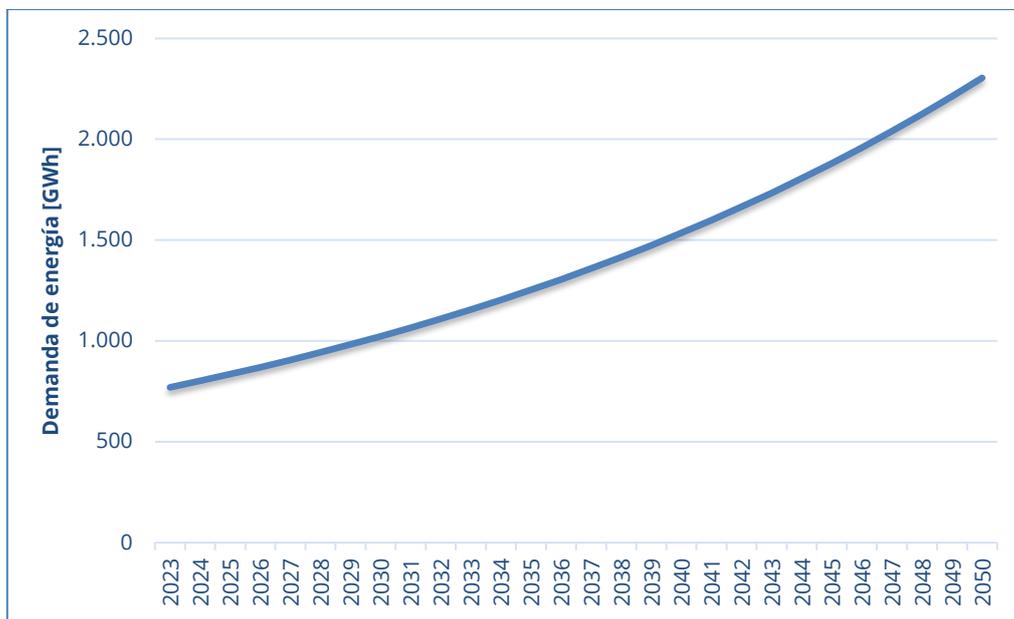
La demanda de energía eléctrica para refrigeración en estos sectores se presenta en detalle en la **Tabla 27** (2023). La **Figura 29** complementa esta información con una proyección basada en un crecimiento anual del 4,1%. Esta proyección indica que la demanda energética del sector ascenderá a 1.023 GWh en 2030, y continuará su incremento hasta alcanzar los 2.304 GWh en 2050.

Tabla 27. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Comercio al por mayor (CIU 46)	165
Comercio al por menor (CIU 47)	523
Alojamiento (CIU 55)	76
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	6
Total	770

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

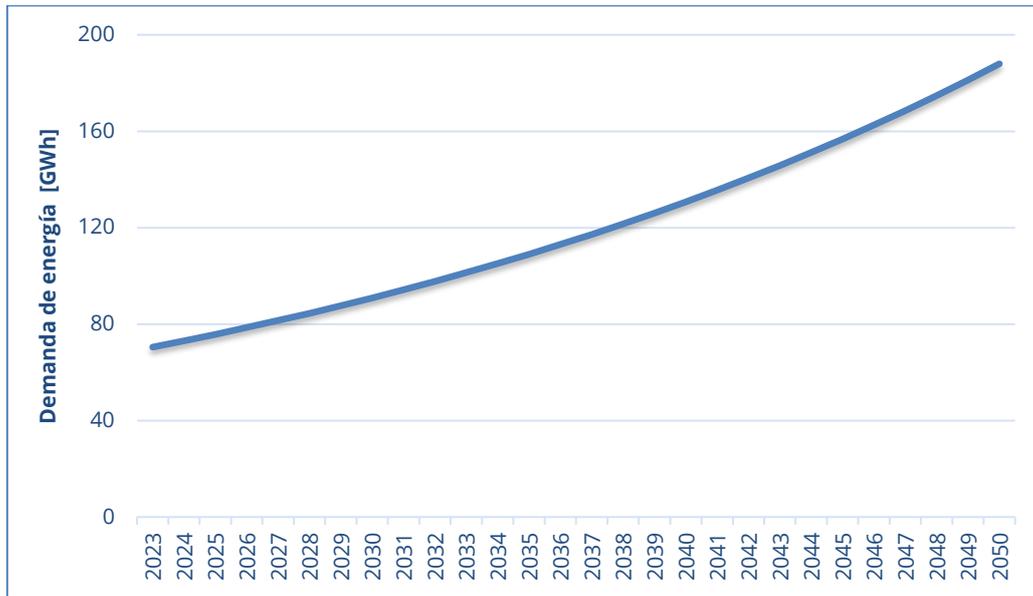
La **Tabla 28** detalla el consumo de electricidad para la demanda insatisfecha para abastecer los cuartos fríos de postcosecha y almacenamiento al 2023. Complementariamente, la **Figura 30** muestra la evolución prevista de este consumo, con una tasa de crecimiento anual del 3,7%. Según estas proyecciones, para el 2030 se espera que sea una demanda de 91 GWh y para el 2050 de 188 GWh.

Tabla 28. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Postcosecha y almacenamiento	70

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

La demanda de potencia térmica se calculó utilizando los valores promedio de toneladas de refrigeración específicas, multiplicados con el inventario previamente establecido. Estos datos, segregados por tecnología, permitieron determinar la demanda total de potencia. El resultado final, expresado en toneladas de refrigeración, se obtuvo sumando los valores correspondientes a cada tecnología.

Por otra parte, para cuantificar la demanda de potencia térmica no satisfecha (postcosecha y almacenamiento), se asumió una relación 1 kW/TR, con este factor se convirtió la potencia eléctrica reportada por la herramienta en línea para un cuarto frío de 100 m³.

Demanda satisfecha

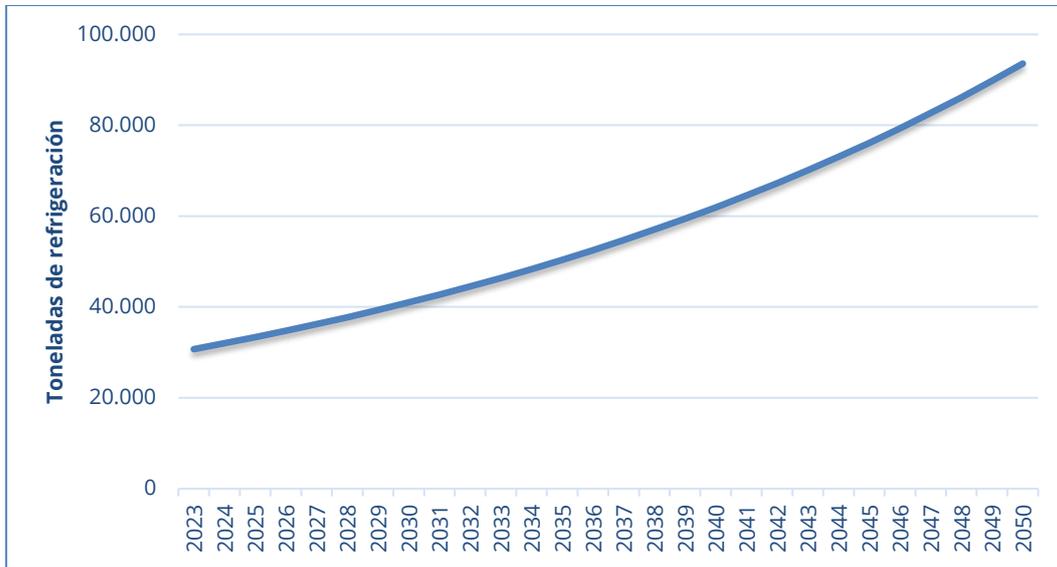
La **Tabla 29** muestra las potencias térmicas de ventas, hoteles y restaurantes en 2023. Además, la **Figura 31** complementa esta información con una proyección de la demanda basada en una tasa de crecimiento anual del 4,2%, estimándose que alcanzará 40.493 TR para 2030 y 93.570 TR para 2050.

Tabla 29. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Comercio al por mayor (CIU 46)	5.336
Comercio al por menor (CIU 47)	17.004
Alojamiento (CIU 55)	7.784
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	584
Total	30.708

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

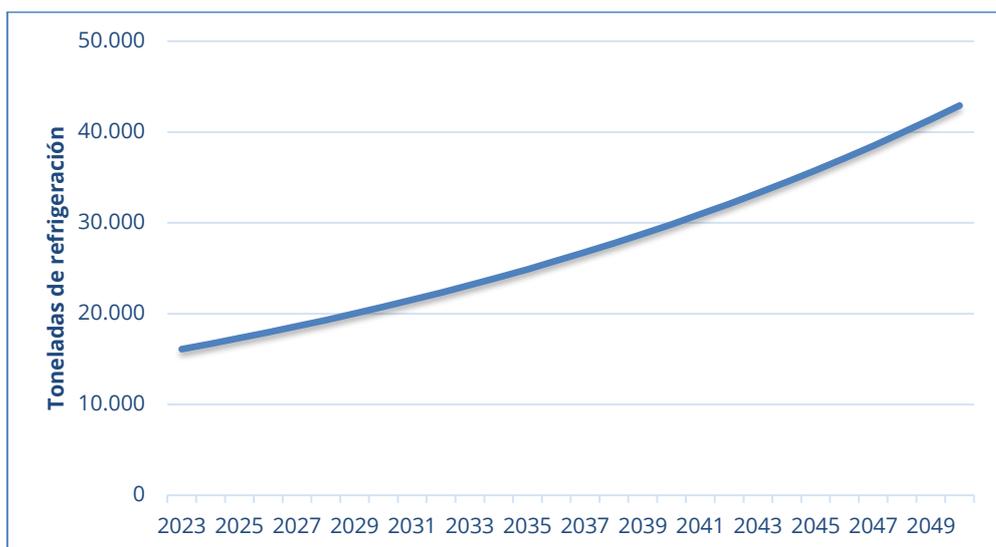
La potencia térmica no satisfecha para los cuartos fríos a 2023 se presenta en la **Tabla 30**. La **Figura 32** complementa esta información, ilustrando la proyección con una tasa de crecimiento anual del 3,7%. Donde, se prevé que la demanda energética alcanzará los 20.751 TR en 2030 y continuará creciendo hasta llegar a 42.916 TR para el año 2050.

Tabla 30. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Postcosecha y almacenamiento	16.091

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

La estimación de la cantidad de refrigerante se llevó a cabo siguiendo la metodología detallada en el **volumen 2**. Este proceso implicó dos pasos principales: primero, se calcularon las emisiones específicas por operación y disposición, utilizando la información proporcionada en los estudios de la UTO. Posteriormente, estas emisiones específicas promedio se multiplicaron por el inventario correspondiente para obtener las emisiones totales. Los refrigerantes reportados fueron R-22, R-134^a, R-404^a, R-507, R-290, R-600^a, R-717, R-744, R-744/R-404^a, y R-744/R507.

En complemento, para determinar la cantidad de refrigerante de los equipos no satisfechos de postcosecha y almacenamiento, se tomaron las especificaciones promedio de la unidad condensadora menos nociva (menor GWP) de las reportadas en el inventario de la UTO, este corresponde a la tecnología con R-134^a. De esta unidad condensadora se tomó la información requerida para pata totalizar las emisiones específicas de este equipo por operación y disposición. Luego, estas se multiplicaron con el inventario y se totalizó la cantidad de refrigerante.

Demanda satisfecha

La **Tabla 31** presenta las emisiones de refrigerantes de esta subcategoría. Asimismo, se complementa con la **Figura 33**, la cual muestra las proyecciones de estas emisiones con tasas de crecimiento anual del 4,1% para R-22, R-404^a, R-507, R-717, R-744/R-404^a y R-744/R-507; del 4,2% para R-290 y R-600^a; del 4,3% para R-134^a; y del 4,4% para R-744. Según estas proyecciones, se prevén las siguientes emisiones para:

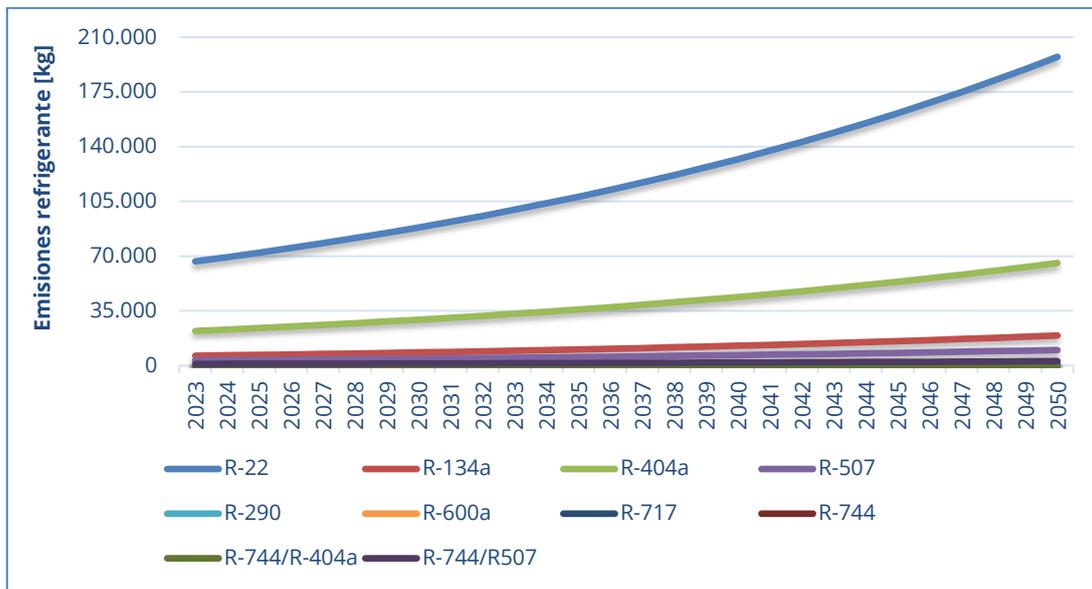
- 2030: 88.298 kg (R-22), 8.342 kg (R-134^a), 29.307 kg (R-404^a), 4.441 kg (R-507), 478 kg (R-290), 1,8 kg (R-600^a), 3,2 kg (R-717), 74 kg (R-744), 63 kg (R-744/R-404^a) y 1.267 kg (R-744/R-507).
- 2050: 197.428 kg (R-22), 19.196 kg (R-134^a), 65.585 kg (R-404^a), 9.921 kg (R-507), 1.083 kg (R-290), 4,1 kg (R-600^a), 7,1 kg (R-717), 176 kg (R-744), 141 kg (R-744/R-404^a) y 2.831 kg (R-744/R-507).

Tabla 31. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos-empaques, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	R-22 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]	R-507 [kg]	R-290 [kg]	R-600 ^a [kg]	R-717 [kg]	R-744 [kg]	R-744/R-404 ^a [kg]	R-744/R-507 [kg]
Comercio al por mayor (CIU 46)	25.966	583	5.120	1.445	62	1	0	2	0	957
Comercio al por menor (CIU 47)	39.835	3.333	16.474	1.895	240	0	2	6	48	0
Alojamiento (CIU 55)	768	2.157	478	10	53	0	---	43	---	---
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	58	162	36	1	4	0	---	3	---	---
Total	66.627	6.234	22.107	3.352	360	1	2	55	48	957

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-empaques, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

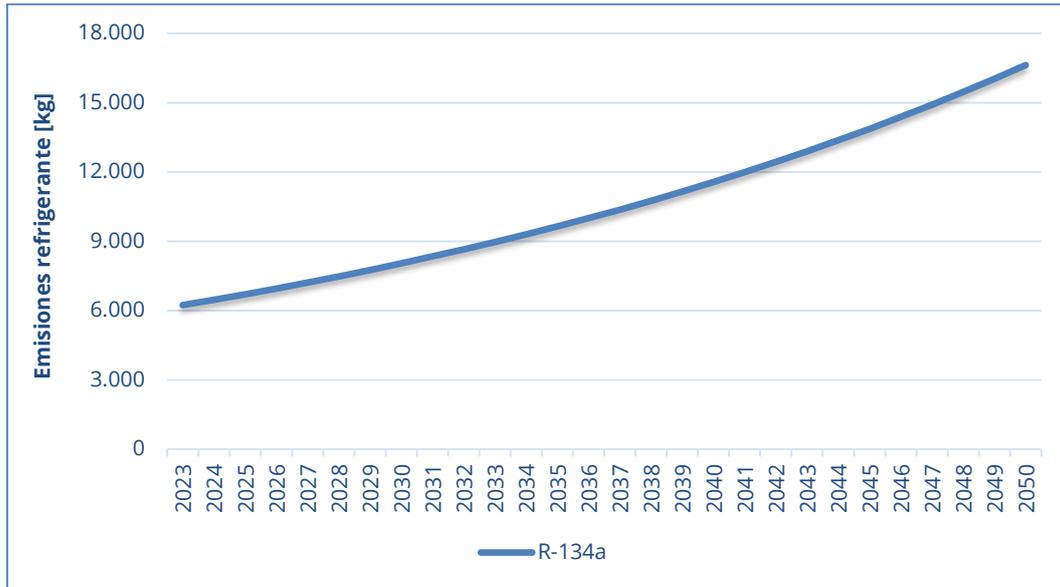
En la **Tabla 32** se presentan las emisiones derivadas de los equipos no satisfechos del inventario, correspondientes a R-134^a para el año 2023 en postcosecha y almacenamiento. Además, la proyección de estas se ilustra en la **Figura 34**, con una tasa de crecimiento anual del 3,7%, lo que representa 8.041 kg para el 2030 y 16.630 kg para el 2050.

Tabla 32. Cantidad de refrigerantes no satisfechos 2023 para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento

Sector	R-134 ^a [kg]
Postcosecha y almacenamiento	6.235

Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Después de identificar y clasificar los refrigerantes utilizados en estos sectores, se procedió a calcular sus emisiones. Este proceso incluyó tres componentes principales: las emisiones promedio específicas por disposición, las emisiones por operación y las emisiones indirectas derivadas del consumo energético durante la vida útil del equipo. Los resultados de estos cálculos presentan las emisiones específicas por cada tipo de refrigerante. Finalmente, utilizando esta información en conjunto con el inventario previamente establecido, se totalizaron las emisiones equivalentes de CO₂.

Demanda satisfecha

En la **Tabla 33** presenta las emisiones del 2023, categorizadas en directas por operación, directas por disposición, indirectas y totales para ventas, hoteles y restaurantes. Adicionalmente, en la **Figura 35** se proyecta que las emisiones totales crecerán a una tasa anual del 4,1%, alcanzando 417.483 tCO₂-eq para el año 2030, y continuarán aumentando hasta llegar a 936.389 tCO₂-eq en 2050.

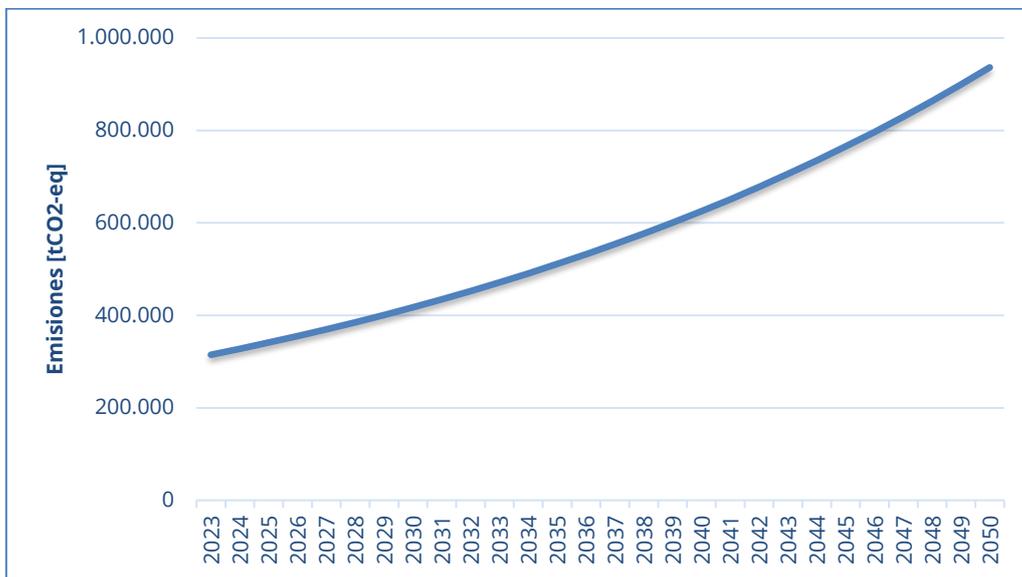
Tabla 33. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos-empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes

Sector	Emisiones directas operación	Emisiones directas disposición	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]

	[tCO ₂ -eq]	[tCO ₂ -eq]		
Comercio al por mayor (CIU 46)	65.051	8.776	18.438	92.264
Comercio al por menor (CIU 47)	122.068	25.719	58.623	206.411
Alojamiento (CIU 55)	4.412	1.972	8.514	14.898
Actividades de servicios de comidas y bebidas (CIU 56)	330	148	638	1.116
Total	191.861	36.615	86.213	314.690

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

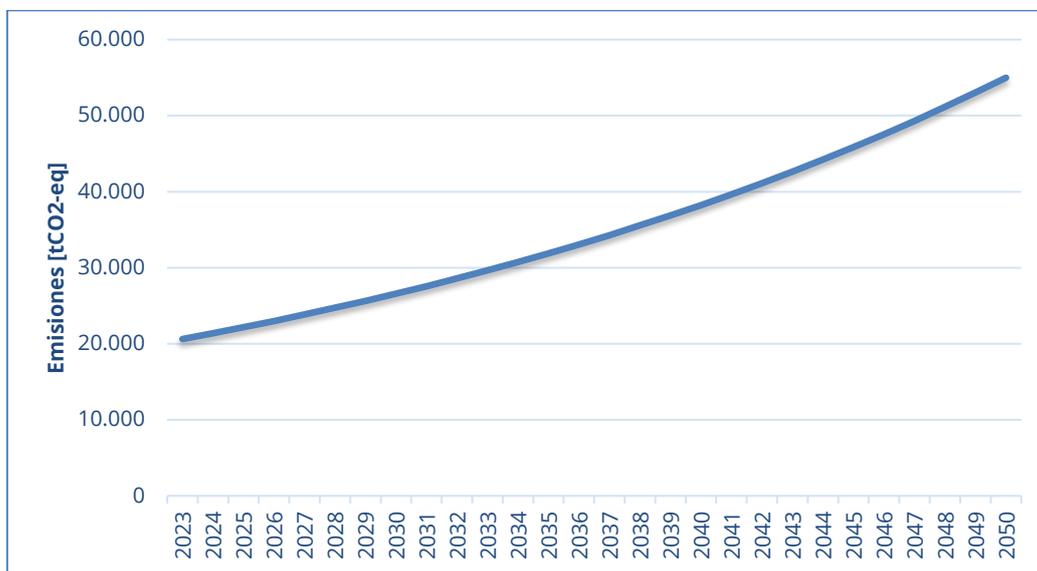
Las emisiones equivalentes de CO₂ (directas por operación, directas por disposición e indirectas) asociadas a esta demanda insatisfecha de postcosecha y almacenamiento se a 2023 se disponen en la **Tabla 34**. Mientras que, la **Figura 36** muestra las proyecciones de las emisiones totales, con una tasa de crecimiento del 3,7%, representan 26.586 tCO₂-eq para el 2030 y 54.984 tCO₂-eq para el 2050.

Tabla 34. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos- postcosecha y almacenamiento

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Postcosecha y almacenamiento	7.621	1.296	11.700	20.616

Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos-postcosecha y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

2.1.4. Administración pública, defensa y educación

Inventario

La subcategoría en estudio comprende los sectores de administración pública, defensa y educación. En estos sectores, el consumo de refrigeración se concentra principalmente en la conservación de alimentos y bebidas destinadas a su posterior preparación y consumo. Para estimar el inventario correspondiente, se aplicó una metodología top-down, utilizando como base la demanda energética previamente calculada.

A partir de esta demanda energética discriminada por sectores, se procedió a fraccionar la cantidad de energía correspondiente a cada tecnología de refrigeración (autocontenidos, y unidades condensadoras). Este proceso se realizó mediante la división del consumo energético específico de cada tecnología y considerando su porcentaje de participación en el consumo total.

Demanda satisfecha

El inventario de administración pública, defensa y educación en 2023 se presenta en la **Tabla 35**. Según la proyección mostrada en la **Figura 37**, con un crecimiento anual estimado del 5,4% para los autocontenidos y del 7% para las unidades condensadoras, se prevé que en 2030 habrá 25.656 sistemas autocontenidos y 278 unidades condensadoras. Para 2050, estas cifras se proyectarán en 113.555 sistemas autocontenidos y 1.727 unidades condensadoras.

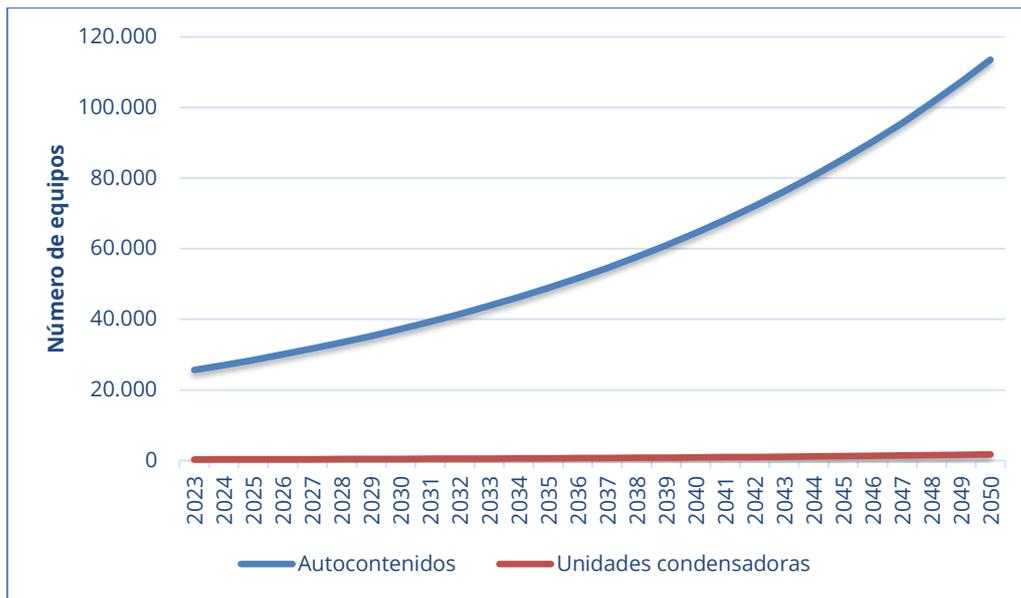
Tabla 35. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
--------	------------	--------------	--------------------------	-------------------

Administración pública y defensa (CIU 84)	Autocontenido	R-22	0,5	45
		R-134 ^a	0,3	9.047
		R-404 ^a	0,4	420
		R-507 ^a	0,4	38
		R-290	0,3	1.447
		R-600 ^a	0,4	63
		R-744	0,4	503
Unidad condensadora	R-22	2,9	99	
	R-134 ^a	2,0	88	
	R-404 ^a	1,3	91	
Educación (CIU 85)	Autocontenido	R-22	0,5	54
		R-134 ^a	0,3	11.026
		R-404 ^a	0,4	512
		R-507 ^a	0,4	47
		R-290	0,3	1.764
		R-600 ^a	0,4	77
		R-744	0,4	613

Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

Para definir la demanda de energía eléctrica, se utilizaron las demandas reportadas en el SUI. A partir de estos datos, se fraccionó de manera independiente la porción correspondiente a los dos sectores de interés. Posteriormente, utilizando el porcentaje de refrigeración demandado por cada sector, se cuantificó la demanda específica de refrigeración para cada uno de ellos.

Demanda satisfecha

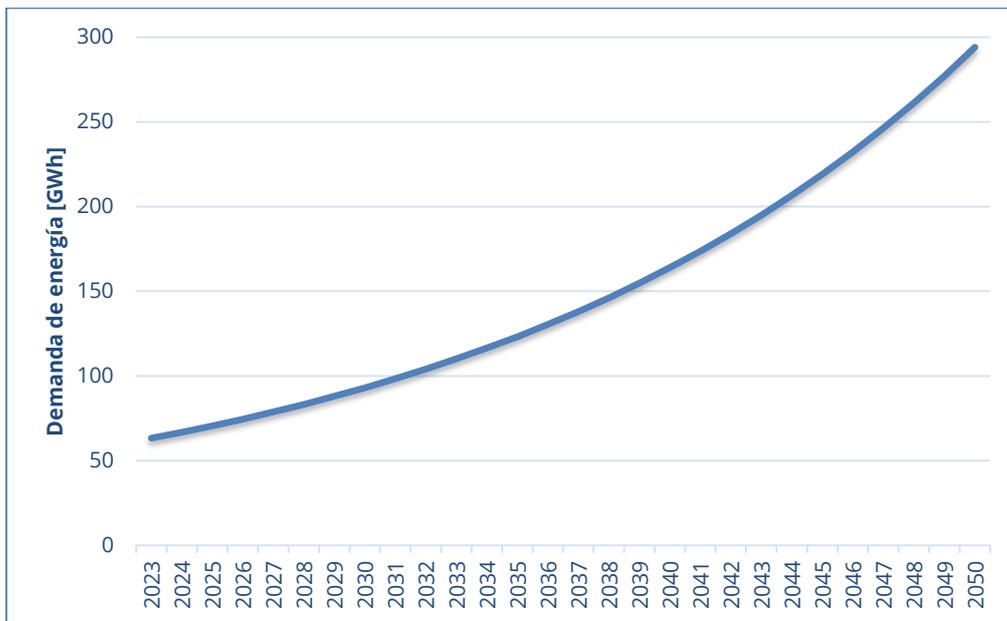
La **Tabla 36** detalla la demanda de energía eléctrica para refrigeración en la subcategoría de administración pública, defensa y educación en 2023. Además, la **Figura 38** muestra una proyección del consumo eléctrico basada en una tasa de crecimiento anual del 5,9%. Según esta proyección, se prevé que la demanda energética del sector alcance los 93 GWh en 2030 y se triplique hasta 294 GWh para 2050.

Tabla 36. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Administración pública y defensa (CIU 84)	33
Educación (CIU 85)	30
Total	63

Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

Siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**, se multiplicaron las toneladas de refrigeración específicas promedio de cada tecnología por el inventario correspondiente. Posteriormente, se sumó la potencia térmica total para cada tecnología y sector. En este caso particular, es importante destacar que las unidades con la máxima capacidad de refrigeración comprenden condensadores de 2,9 y 0,5 TR. Ambos tipos de condensadores corresponden a sistemas autocontenidos que emplean el refrigerante R-22.

Demanda satisfecha

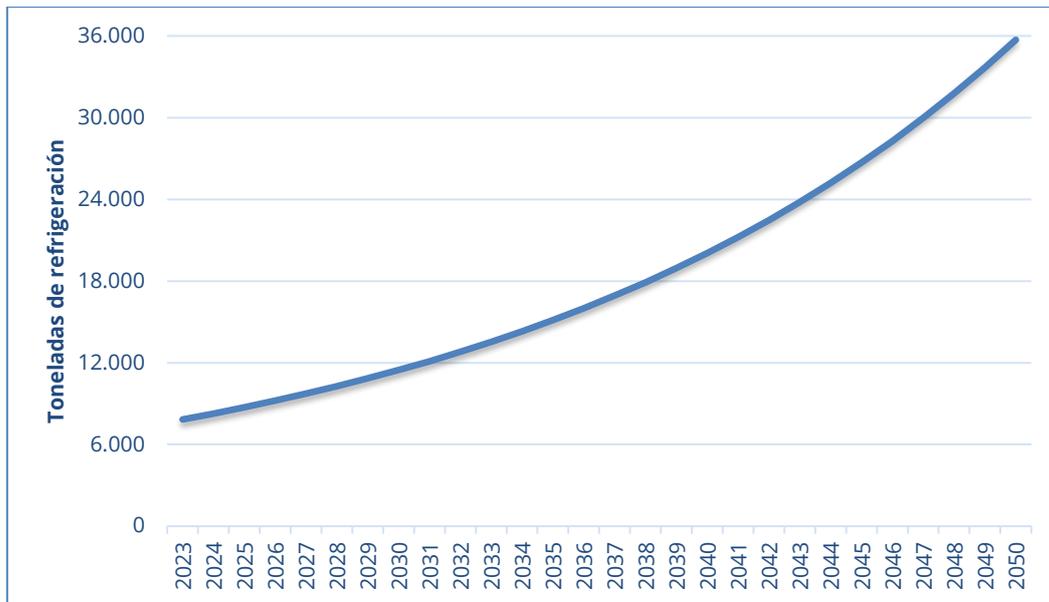
La potencia térmica instalada en 2023 para administración pública, defensa y salud se presenta en la **Tabla 37**. Adicionalmente, la **Figura 39** muestra una proyección de la demanda basada en una tasa de crecimiento anual del 5,8%, estimándose que alcanzará 11.465 TR y 35.716 TR para 2030 y 2050, respectivamente.

Tabla 37. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Administración pública y defensa (CIIU 84)	3.847
Educación (CIIU 85)	3.991
Total	7.838

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

El cálculo de las emisiones específicas promedio por tecnología se realizó utilizando como base el inventario previamente establecido y siguiendo la metodología detallada en el **volumen 2**. Este proceso se fundamentó en la información proporcionada por la UTO, que incluye datos del inventario general y un estudio específico de tiendas. A partir de esta información, se cuantificaron las emisiones específicas asociadas a dos aspectos principales: la operación de los equipos y su disposición. Donde, los refrigerantes identificados corresponden al R-22, R-134^a, R-404^a, R-507^a, R-290, R-600^a y R-744.

Demanda satisfecha

La **Tabla 38** sintetiza las emisiones de refrigerantes de administración pública, defensa y educación a 2023. Además, la **Figura 40** presenta las proyecciones de estas emisiones con tasas de crecimiento anual del 6,9% para R-22; 5,9% para R-134^a; 6,5% para R-404^a; y 5,7% para R-507^a, R-290, R-600^a, R-744. Según estas proyecciones, se prevén las siguientes emisiones para:

2030: 286 kg (R-22), 2.621 kg (R-134^a), 241 kg (R-404^a), 22 kg (R-507^a), 111 kg (R-290), 0,8 kg (R-600^a) y 89 kg (R-744).

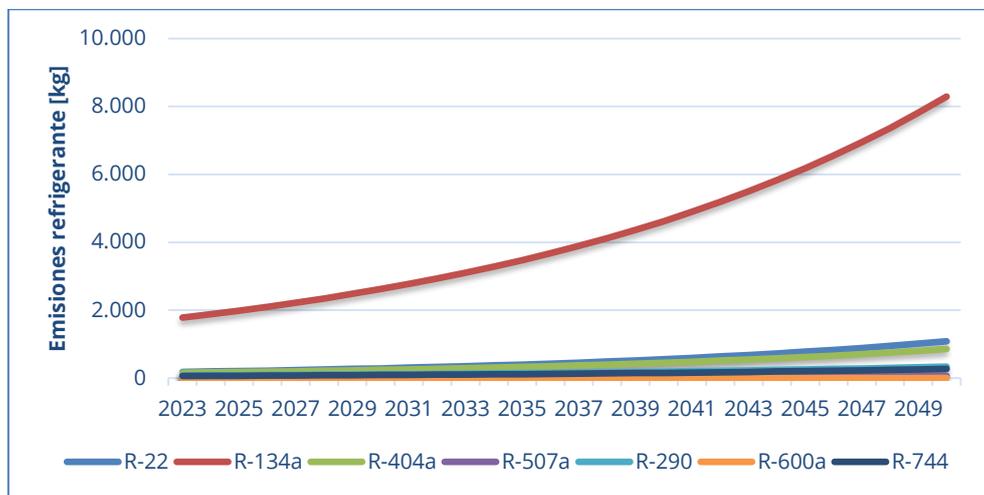
2050: 1.083 kg (R-22), 8.291 kg (R-134^a), 856 kg (R-404^a), 66 kg (R-507^a), 337 kg (R-290), 2,3 kg (R-600^a) y 271 kg (R-744).

Tabla 38. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación

Sector	R-22 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]	R-507 ^a [kg]	R-290 [kg]	R-600 ^a [kg]	R-744 [kg]
Administración pública y defensa (CIU 84)	169	928	121	7	34	0	28
Educación (CIU 85)	11	854	35	8	42	0	34
Total	180	1.781	156	15	76	1	61

Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

La cuantificación de las emisiones se basó en las mismas fuentes de consulta utilizadas para calcular la cantidad de refrigerante emitido a la atmósfera. Siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**, se determinaron las emisiones específicas correspondientes a tres categorías: directas por disposición, directas por operación e indirectas por consumo de energía. Posteriormente, estas emisiones específicas se multiplicaron por la cantidad de equipos registrados en el inventario

Demanda satisfecha

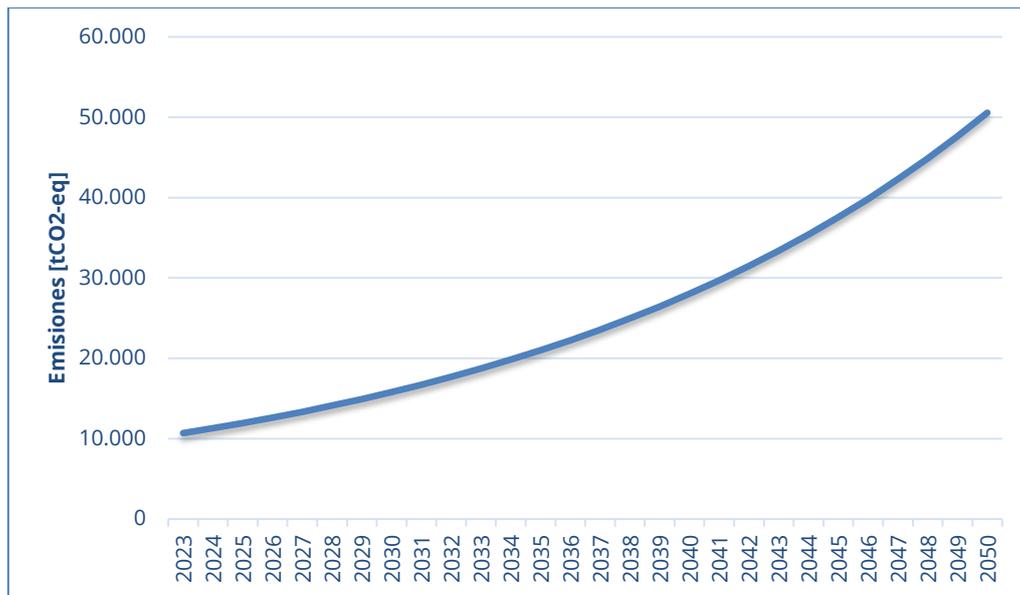
Las emisiones equivalentes de CO₂ al 2023 se presentan en la **Tabla 39**. Asimismo, en la **Figura 41** se proyecta que las emisiones totales crecerán a una tasa anual del 5,9%, llegando a 15.801 tCO₂-eq para el año 2030 y a 50.555 tCO₂-eq en 2050.

Tabla 39. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Administración pública y defensa (CIU 84)	1.148	981	3.680	5.809
Educación (CIU 85)	460	1.023	3.404	4.887
Total	1.608	2.004	7.084	10.695

Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos- administración pública, defensa y educación



Fuente: Elaboración propia

2.1.5. Refrigeración doméstica

Inventario

La refrigeración doméstica abarca las tecnologías utilizadas en las viviendas del país, principalmente neveras de diversos tamaños y consumos. Para esta subcategoría, se implementó una metodología bottom-up, partiendo del inventario conocido para cuantificar la demanda energética de estos equipos.

El inventario se elaboró con datos del DANE, lo que permitió segregar las neveras por departamento, estrato y tamaño (pequeñas, medianas y grandes), estableciendo un total nacional. Además, se cuantificaron las neveras de menor consumo (etiqueta B) vendidas entre 2018 y 2023 (nuevas). La diferencia entre el total reportado por el DANE y las ventas recientes se clasificó como neveras antiguas. Con esta información, se calcularon los porcentajes y totales de neveras antiguas y nuevas.

Adicionalmente, para calcular el inventario de neveras no satisfechas en este sector, se utilizaron los porcentajes de tenencia reportados por el DANE en su ECV 2023. Con esta información, se definió el porcentaje de neveras faltantes en el país, y al aplicar este porcentaje al número total de viviendas, se estimó el número de neveras ausentes en Colombia.

Demanda satisfecha

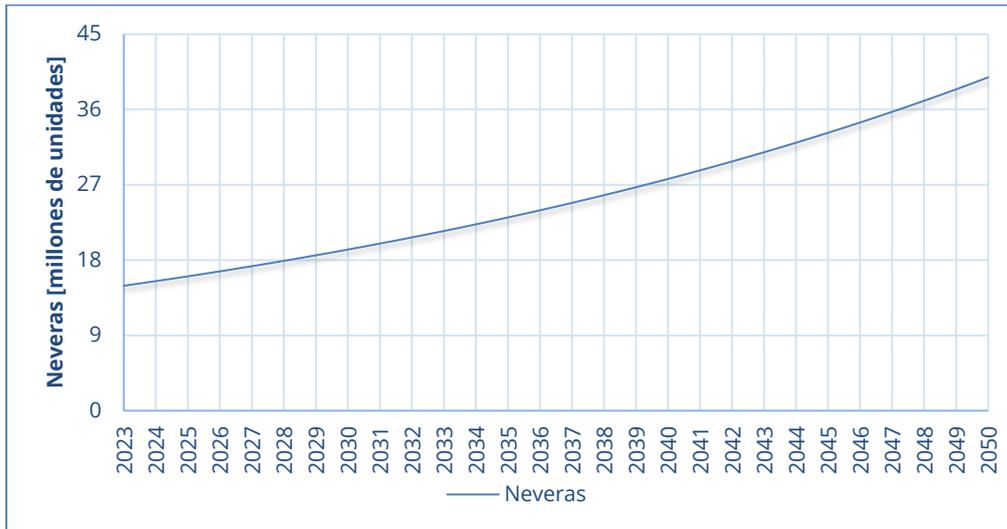
La **Tabla 40** define los equipos de refrigeración doméstica en 2023. La **Figura 42** muestra su proyección, con un aumento anual del 3,7%. Esta indica que habrá 19 millones de neveras en 2030 y 40 millones en 2050.

Tabla 40. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Tecnología	Capacidad [litros]	Categoría DANE	Número de equipos [millones]
Refrigeración doméstica	Neveras antiguas	213	Pequeña	3,3
		297	Mediana	5,8
		628	Grande	1,1
	Neveras etiqueta B (nuevas)	213	Pequeña	1,5
		297	Mediana	2,6
		628	Grande	0,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

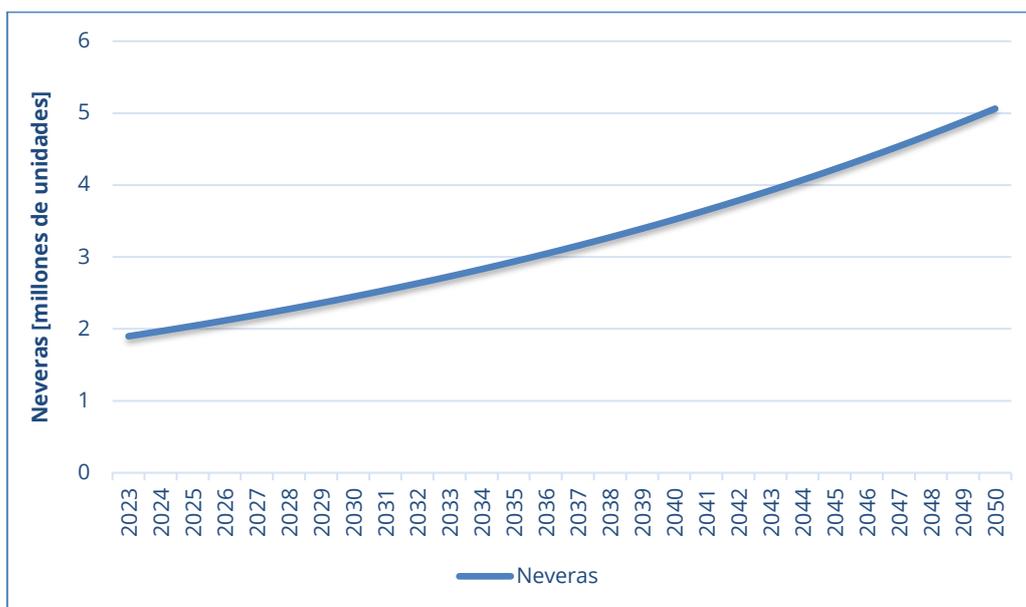
La **Tabla 41** presenta el número de neveras con demanda insatisfecha a 2023. Complementariamente, en la **Figura 43** se proyectan estas cifras. Cabe mencionar que para ello se consideró una tasa de crecimiento anual de 3,7%, basada en el crecimiento anual del número de viviendas en el país. Se prevé que el número de neveras no abastecidas sea de 2,4 millones para 2030 y de 5,1 millones para 2050

Tabla 41. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _t [TR]	Número de equipos [millones]
Refrigeración doméstica	Neveras etiqueta B	R-600 ^a	0,057	1,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Inventario no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

A partir del inventario y del consumo específico representativo de cada tipo de nevera, se obtuvo la energía consumida por cada tecnología. Posteriormente, estos datos se sumaron, obteniendo así la demanda total de energía (ver **volumen 2**). Las neveras catalogadas como existentes se discriminaron según su antigüedad, que definió su consumo. Esta antigüedad se calculó como el promedio reportado por el DANE en su Encuesta de Calidad de Vida (ECV), segmentado por departamento y estrato.

Por otro lado, las neveras nuevas se representaron mediante modelos con etiqueta B disponibles actualmente en el mercado. Los consumos de estas neveras se consultaron según su tamaño (pequeñas, medianas y grandes) a través del proveedor Éxito. A partir de estos datos, se definieron los consumos unitarios para climas templados y cálidos, aplicando un ajuste leve pero representativo para estos climas, asumiendo que los valores de consumo específicos reportados por Éxito corresponden a un clima frío.

Demanda satisfecha

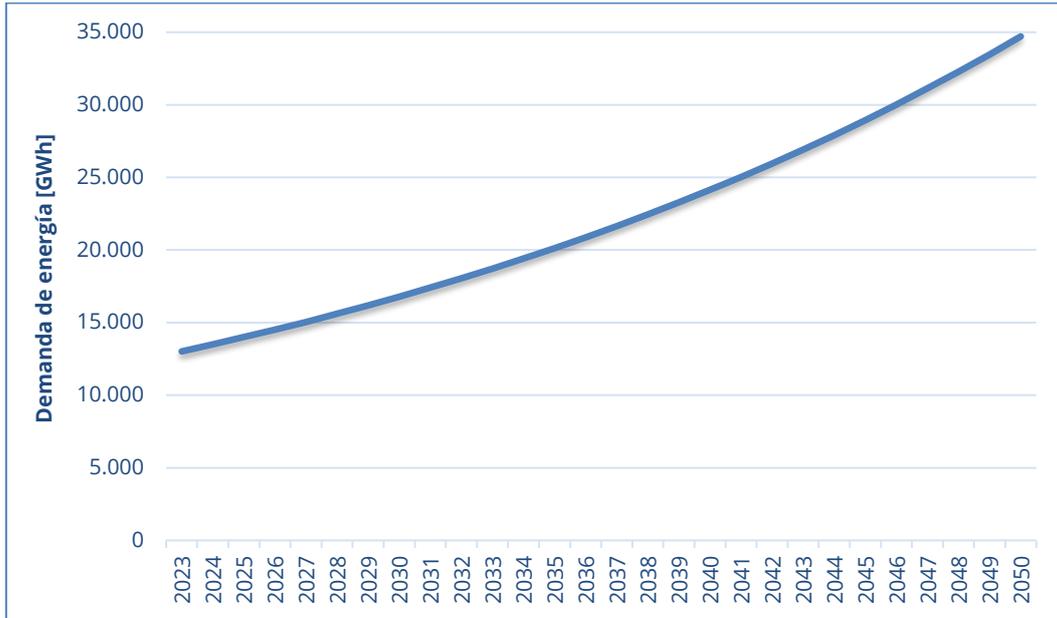
El consumo de energía eléctrica para el 2023 en refrigeración en el área residencial se presenta en la **Tabla 42**. La **Figura 44** ilustra la proyección de este consumo, considerando un incremento anual del 3,7%. De acuerdo con estas estimaciones, se anticipa que la demanda energética llegará a 16.783 GWh para el año 2030. Siguiendo esta tendencia, se espera que el consumo continúe aumentando hasta alcanzar los 34.710 GWh en 2050.

Tabla 42. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Refrigeración doméstica	13.015

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

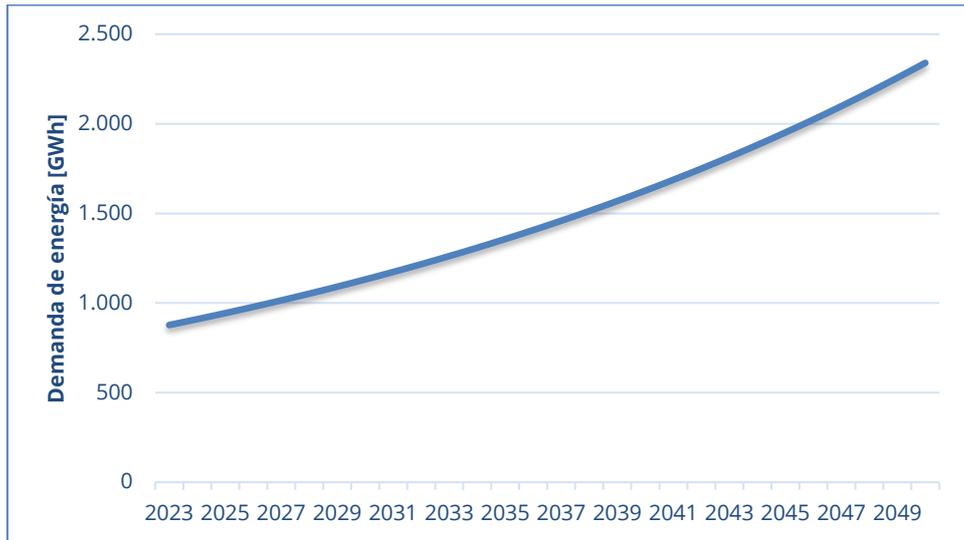
La **Tabla 43** muestra la demanda de energía para las neveras no abastecidas en el sector residencial al 2023. La **Figura 45** indica cómo crecerá este consumo, aumentando a una tasa anual de 3,7%. Se espera que llegue a 1.131GWh en 2030 y 2.340 GWh en 2050.

Tabla 43. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Refrigeración doméstica	877

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

Siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**, se considerará que las neveras equipadas con refrigerantes R-134^a y R-600^a tienen la misma capacidad térmica promedio de 0.6 toneladas de refrigeración (TR). Este valor se considera unitario para todos los tipos de neveras analizadas. Para cuantificar el total de toneladas de refrigeración, se utiliza el inventario previamente calculado. El proceso consistió en multiplicar el valor unitario de 0.6 TR por la cantidad de neveras de cada tipo, y luego sumar estos resultados para obtener el total de TR por tecnología.

Demanda satisfecha

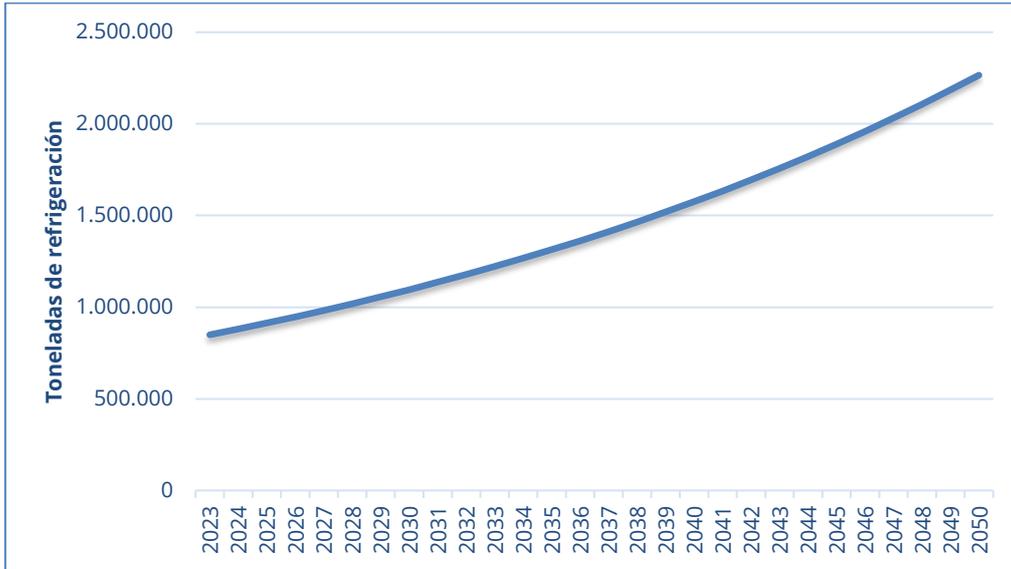
La **Tabla 44** detalla la potencia térmica instalada en 2023 para refrigeración doméstica. Como complemento, la **Figura 46** ilustra una proyección del crecimiento de esta demanda, asumiendo un incremento anual del 3,7%. Según estas estimaciones, se prevé que la demanda de refrigeración en estos sectores llegará a 1.095.440 TR en 2030, y 2.265.498 TR para el año 2050.

Tabla 44. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Refrigeración doméstica	849.449

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

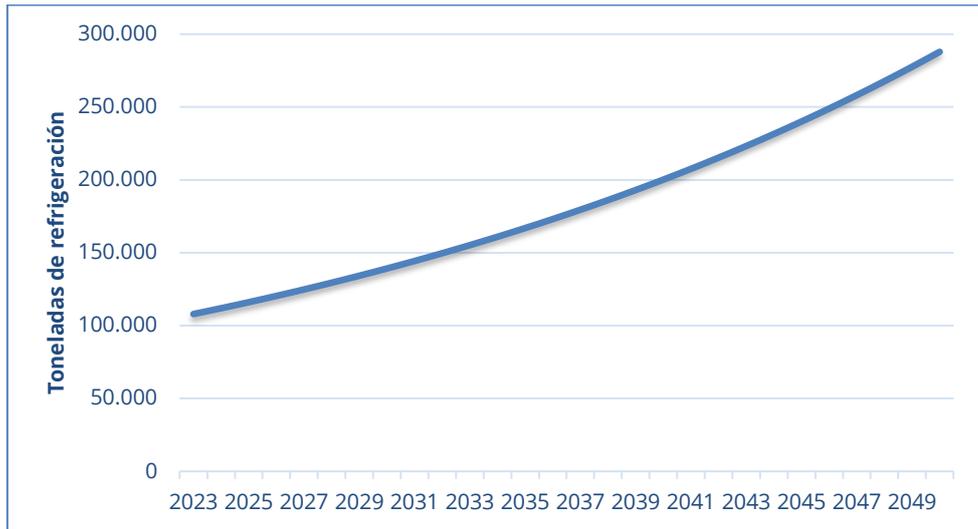
La **Tabla 45** muestra la potencia térmica de las neveras no satisfechas a 2023 para refrigeración doméstica. La **Figura 47** indica cómo crecerá esta necesidad, aumentando un 3,7% cada año. Se espera que ascienda a 139.201 TR en 2030 y 287.884 TR en 2050.

Tabla 45. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Refrigeración doméstica	107.942

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

Los refrigerantes reportados por la UTO para el sector residencial se limitan a R-134^a y R-600^a, asociados a las tecnologías descritas en el inventario, que incluyen la carga de refrigerante correspondiente. Además, la UTO, en colaboración con el estudio de tiendas realizado por CAEM, proporciona variables claves que permiten calcular las emisiones específicas. Para obtener la cantidad total de estos refrigerantes, se multiplican las emisiones específicas por disposición y operación promedio por tecnología con los datos del inventario.

Demanda satisfecha

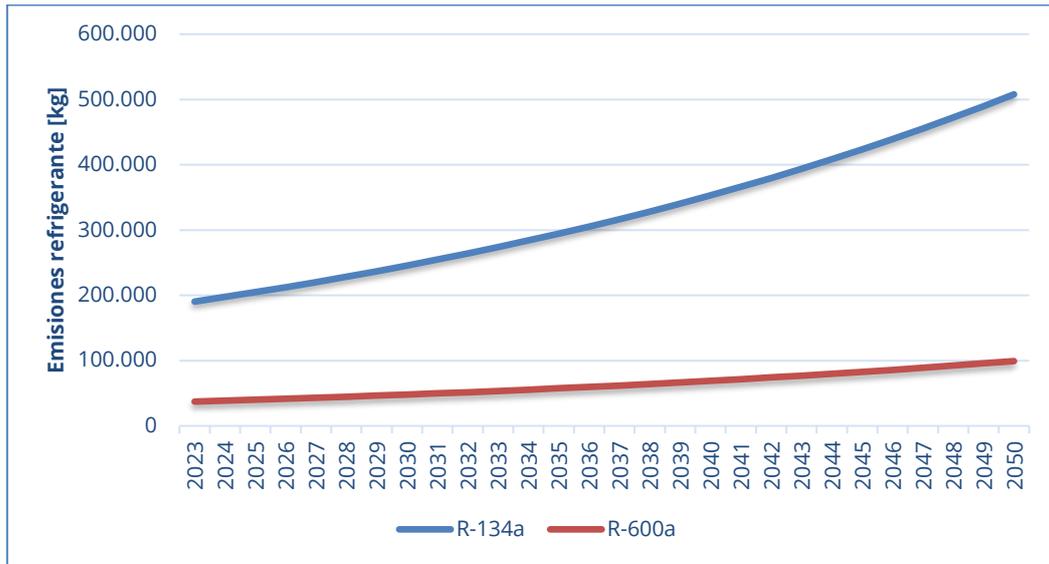
Las emisiones de refrigerantes en 2023 para la refrigeración doméstica se encuentran en la **Tabla 46**, mientras que sus proyecciones están en la **Figura 48**. Para R-134^a y R-600^a, la tasa de crecimiento anual es del 3,7%. Por una parte, para el R-134^a se prevé alcanzar 245.566 kg en 2030 y 507.859 kg en 2050. Por otra parte, para el R-600^a se estima 47.968 kg en 2030 y 99.204 kg en 2050.

Tabla 46. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	R-134 ^a [kg]	R-600 ^a [kg]
Refrigeración doméstica	190.422	37.197

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

La **Tabla 47** muestra la demanda de refrigerante R-600a de las neveras no abastecidas a 2023. La **Figura 49**

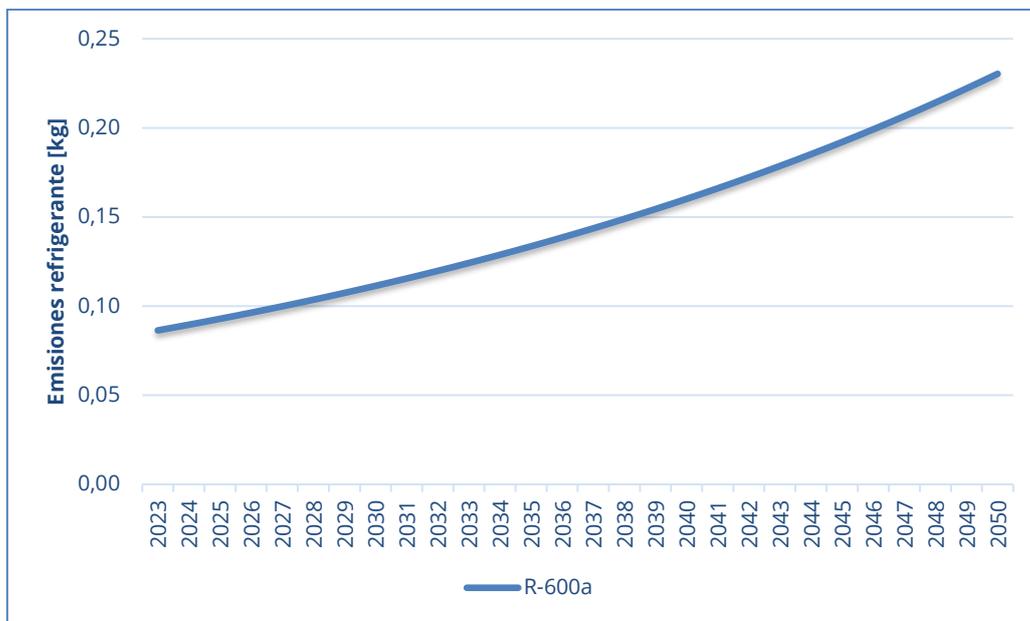
Figura 49 presenta cómo crecerán estas emisiones, aumentando un 3,7% cada año. Se espera que lleguen a 0,11 kg en 2030 y 0,23 kg en 2050. Cabe mencionar que, la tecnología con R-600^a fue seleccionada debido a su menor impacto ambiental (GWP) de las opciones disponibles en el inventario de la UTO.

Tabla 47. Cantidad de refrigerantes no satisfechos 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	R-600 ^a [kg]
Refrigeración doméstica	0,09

Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Para calcular las emisiones equivalentes de CO₂, se sigue un proceso en dos etapas. Primero, se cuantifican las emisiones promedio específicas para cada tecnología, categorizadas en emisiones directas por operación, emisiones por disposición y emisiones indirectas. Luego, estas emisiones específicas se multiplican individualmente por el inventario de cada tecnología, actualizado al año 2023. Finalmente, se suman los resultados para obtener el total de emisiones.

Demanda satisfecha

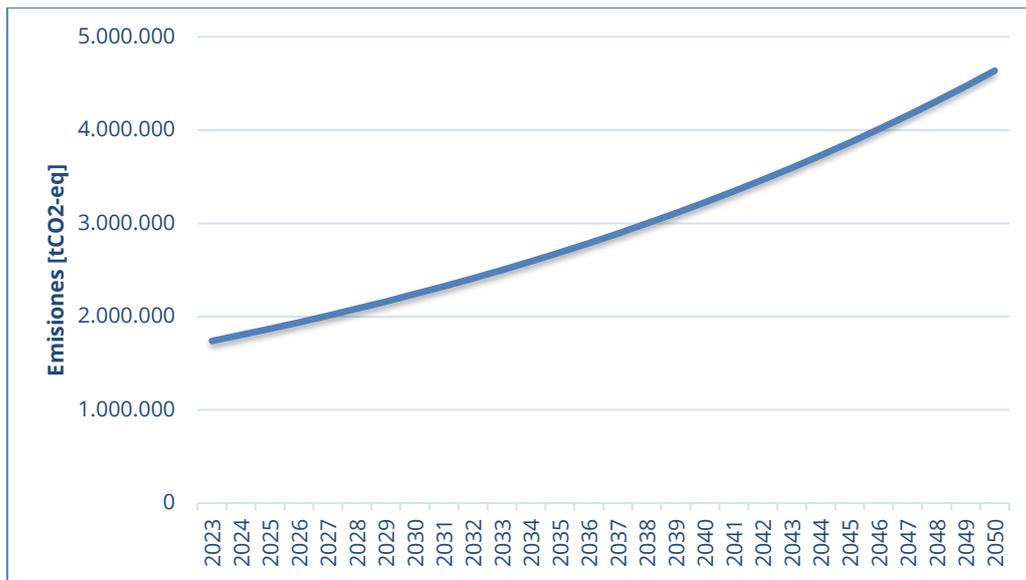
La **Tabla 48** muestra las emisiones de CO₂ equivalente calculadas para el año 2023 en el sector de refrigeración doméstica. Complementariamente, la **Figura 50** ilustra la proyección de estas emisiones totales, asumiendo un crecimiento anual del 3,7%. Según estas estimaciones, se anticipa que las emisiones alcanzarán 2.242.188 tCO₂-eq y 4.637.107 tCO₂-eq para 2023 y 2050.

Tabla 48. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- refrigeración doméstica

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	52.378	220.074	1.466.232	1.738.684

Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

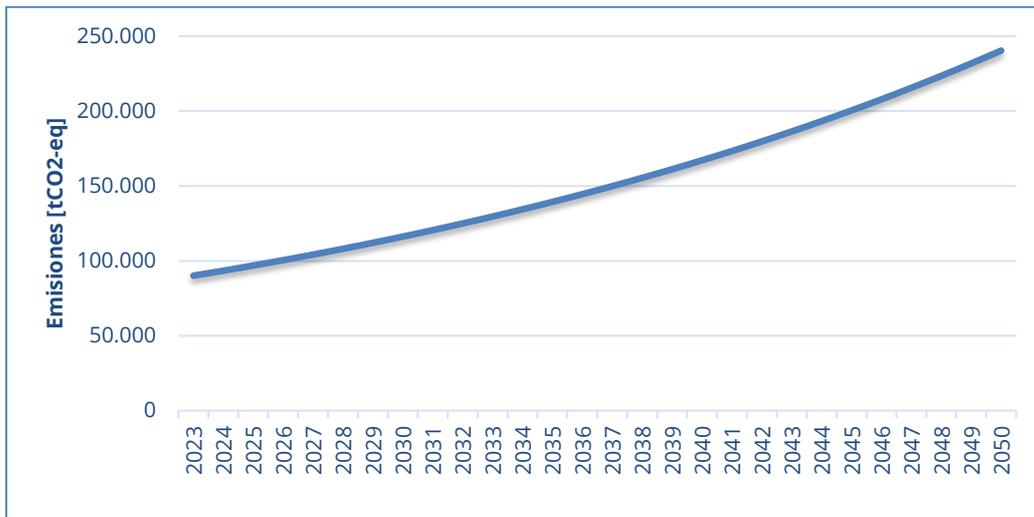
La **Tabla 49** muestra las emisiones de CO₂ equivalente para el sector residencial en 2023 debido a neveras no abastecidos. Estas incluyen emisiones directas por operación, directas por disposición e indirectas. La **Figura 51** indica cómo crecerán estas emisiones totales, aumentando un 3,7% cada año. Se esperan 116.243 tCO₂-eq en 2030 y 240.404 tCO₂-eq en 2050.

Tabla 49. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	11	48	90.080	90.139

Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos-refrigeración doméstica



Fuente: Elaboración propia

2.1.6. Transporte refrigerado

Inventario

El transporte refrigerado comprende diversas modalidades dentro de la cadena de frío de alimentos, a etapas clave desde la producción hasta el procesamiento, el traslado a puntos de venta, y finalmente, la distribución a consumidores finales en viviendas, hoteles o restaurantes. Para el análisis de este sector, se tomó el inventario proyectado para el 2023 por CAEM para la UTO. Donde, se identificaron tecnologías de unidades móviles y contenedores refrigerados.

En complemento, para considerar el inventario no satisfecho, se analizaron las pérdidas de alimentos, específicamente frutas, verduras, tubérculos y raíces. Se utilizaron datos del Ministerio de Transporte sobre la capacidad de carga de un vehículo (34 toneladas) y se estimó un total de 260 viajes anuales por vehículo (días hábiles). Con esta información, se calculó la capacidad anual de transporte de alimentos por vehículo, asumiendo un recorrido diario de 360 km en 12 horas de operación. El inventario se calcula dividiendo el total de alimentos perdidos entre la capacidad de transporte anual por vehículo.

Demanda satisfecha

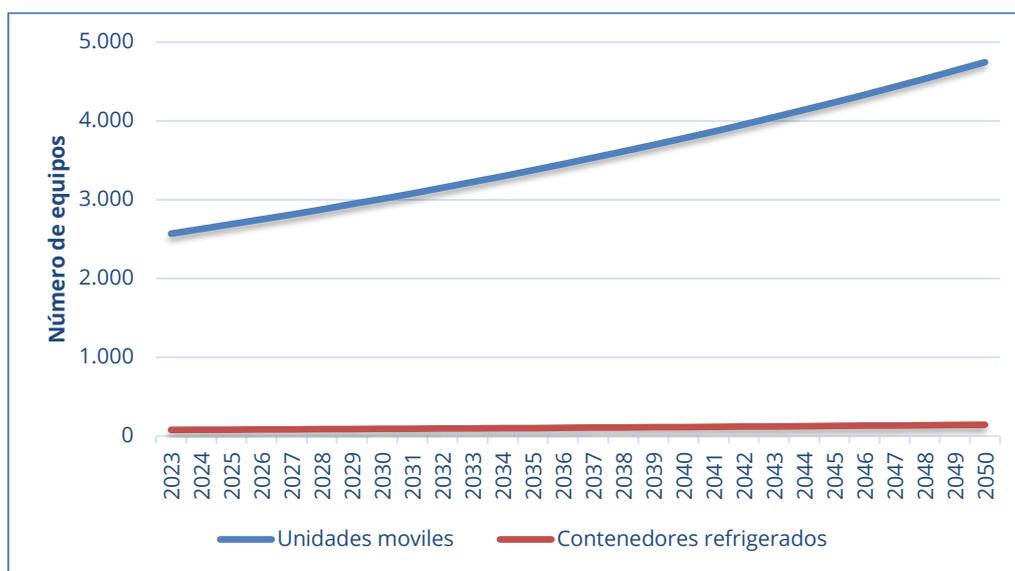
La **Tabla 50** presenta el inventario de 2023 para unidades móviles y unidades condensadoras en transporte refrigerado. La **Figura 52** proyecta su crecimiento con una tasa anual del 2,3% para ambos equipos. Se estima que para 2030 habrá 3.012 unidades móviles y 90 unidades condensadoras, aumentando a 4.747 y 142 respectivamente en 2050.

Tabla 50. Inventario 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
Transporte refrigerado	Unidades móviles	R-404 ^a	1,4	2.569
	Contenedor refrigerado	R-134 ^a	2,9	77

Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Inventario proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

El inventario insatisfecho en 2023 para el sector de transporte refrigerado se presenta en la **Tabla 51**. Asimismo, la proyección de estas unidades móviles se puede observar en la **Figura 53**, con una tasa de crecimiento anual del 3,7%. Esto representa 373 unidades para 2030 y 772 para 2050.

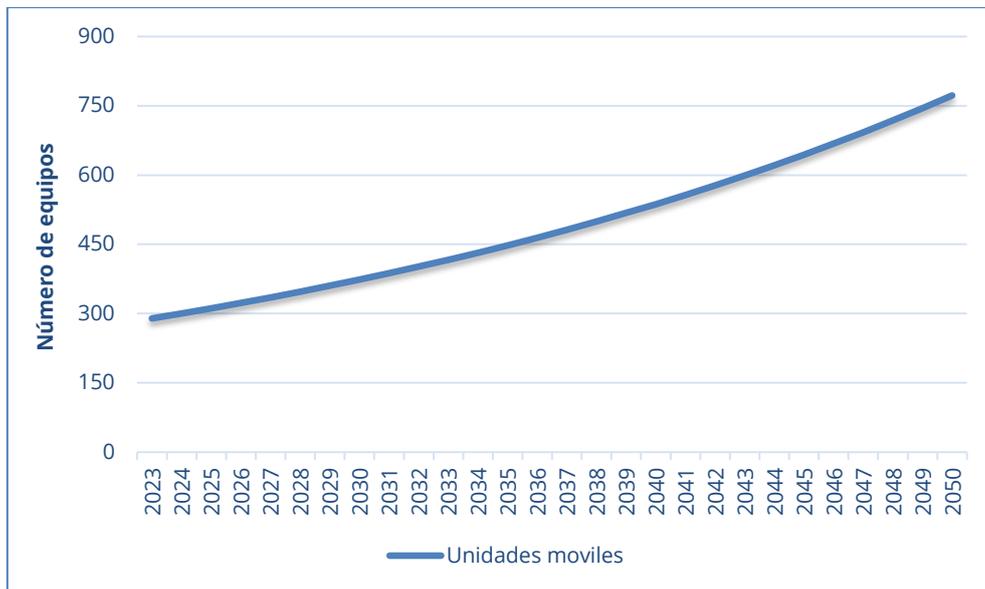
Tabla 51. Inventario no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos

Transporte refrigerado	Unidades móviles	R-404 ^a	1,4	290
------------------------	------------------	--------------------	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Inventario proyectado no satisfecho para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (combustible)

Partiendo del inventario, se procedió a calcular la demanda de energía eléctrica según la metodología *bottom-up* detallada en el **volumen 2**. En este proceso, el número de equipos del inventario se multiplica por el consumo específico de cada uno de ellos. Posteriormente, la energía consumida por cada tecnología se suma para obtener la demanda total.

Asimismo, este proceso se aplicó para la demanda energética no satisfecha, aunque la tecnología considerada fue la de unidades móviles, por ser la más común en el inventario de la UTO.

Demanda satisfecha

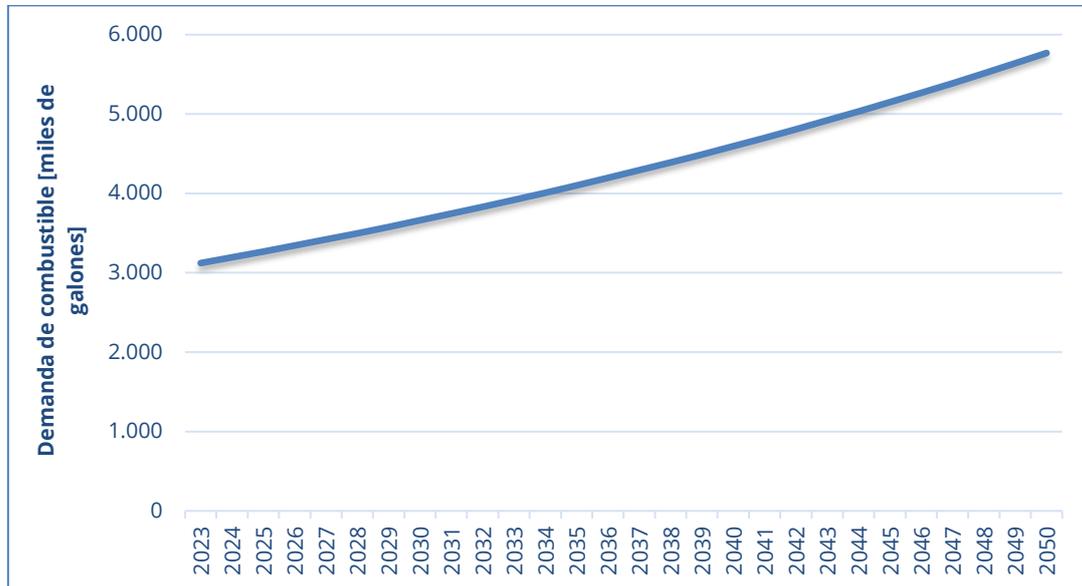
La demanda de combustible del transporte refrigerado se presenta en la **Tabla 52** para el año 2023. La **Figura 54** muestra la proyección de este consumo, considerando un aumento anual del 2,3%. Según estas estimaciones, se prevé que la demanda en estos sectores alcanzará los 3.661 miles de galones para 2030 y 5.768 miles de galones para 2050, respectivamente.

Tabla 52. Demanda energética 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Demanda de combustible [miles de gal]
Transporte refrigerado	3.122

Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

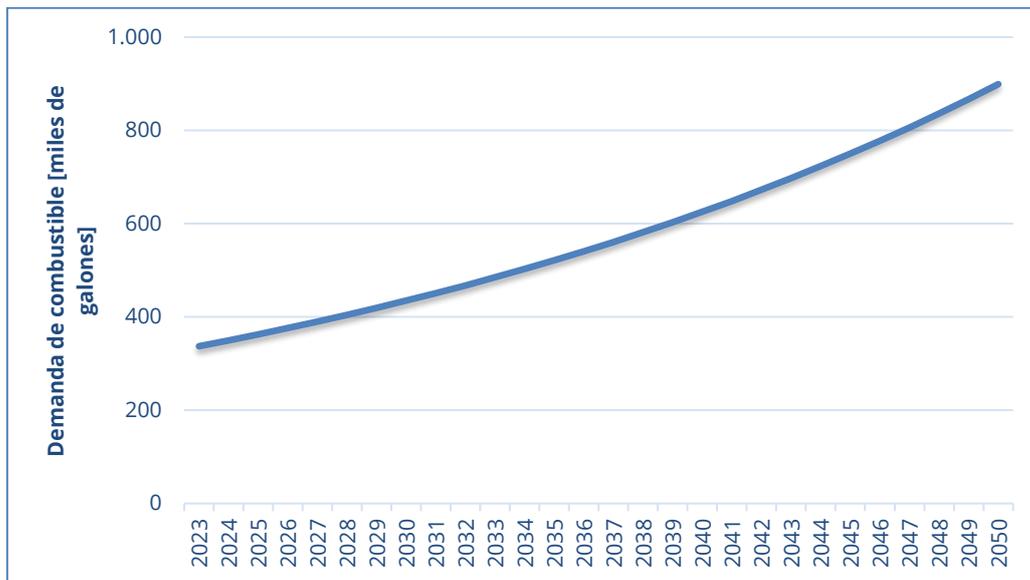
La demanda de combustible asociada a las unidades móviles en 2023 se presenta en la **Tabla 53**. Además, en la **Figura 55**, esta demanda se proyecta con una tasa de crecimiento del 3,7%, lo que representa 435 mil galones para 2030 y 899 mil galones para 2050, respectivamente.

Tabla 53. Demanda energética no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Demanda de combustible [miles de gal]
Transporte refrigerado	337

Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Demanda de energía eléctrica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

Según la metodología descrita en el **volumen 2**, se determinaron las toneladas de refrigeración (TR) para diversos sistemas. En unidades móviles, se requieren 1,4 TR, mientras que los contenedores de refrigeración demandan 2,9 TR. Cabe destacar que estos valores corresponden a equipos individuales de vehículos de refrigeración. Por lo tanto, para calcular la demanda total de potencia de refrigeración, es esencial considerar el inventario.

Se multiplican las potencias por tecnología y, posteriormente, se suman para determinar el total demandado.

Es importante destacar que, para la demanda de potencia térmica del inventario no satisfecho, se utilizaron las especificaciones promedio del inventario de la UTO para unidades móviles, cuya tecnología es la más común en el transporte refrigerado.

Demanda satisfecha

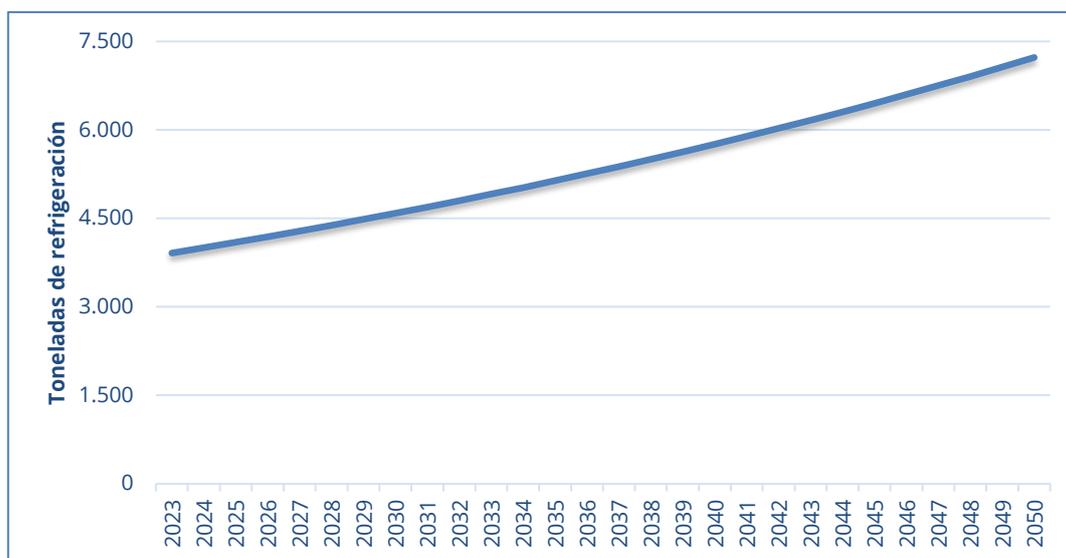
La potencia térmica prevista para el transporte refrigerado en 2023 se presenta en la **Tabla 54**. Por otro lado, la **Figura 56** muestra la proyección del crecimiento de esta demanda, con una tasa de incremento anual del 2,3%. Se espera que alcance 4.587 TR y 7.228 TR para 2030 y 2050, respectivamente.

Tabla 54. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Transporte refrigerado	3.912

Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

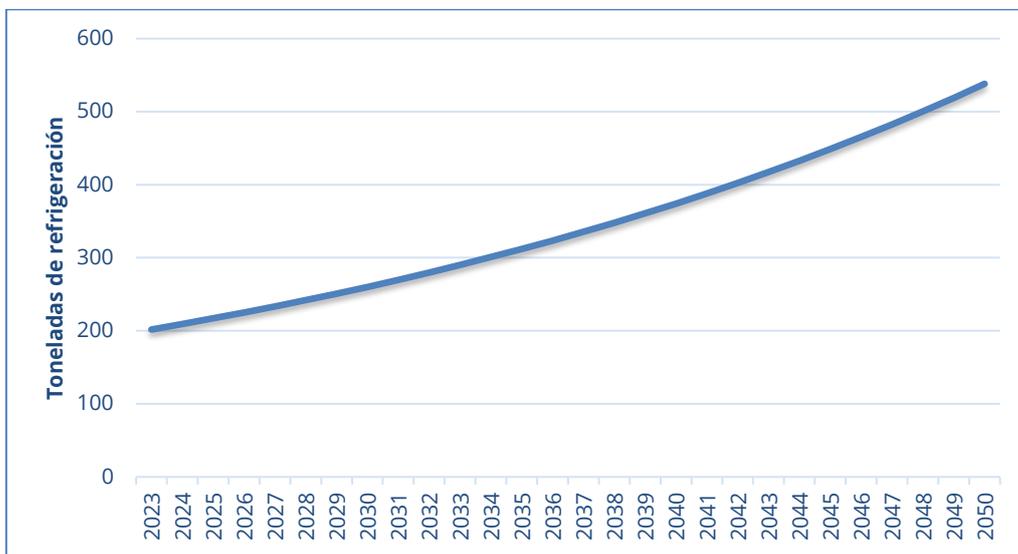
La demanda térmica asociada al número de unidades móviles insatisfechas para 2023 se muestra en la **Tabla 55**. Adicionalmente, con una tasa de crecimiento anual del 3,7%, esta demanda se proyecta en la **Figura 57**, con 260 TR en el 2030 y 538 TR en el 2050.

Tabla 55. Demanda de potencia térmica no satisfecha 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Transporte refrigerado	202

Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Demanda de potencia térmica no satisfecha proyectada para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

La cuantificación del refrigerante emitido se realizó según el método detallado en el **volumen 2**. Este procedimiento considera las emisiones promedio de R-134^a y R-404^a, refrigerantes asociados a las tecnologías de transporte refrigerado. Para totalizar la cantidad de cada uno de estos refrigerantes, se aplicaron las emisiones específicas, tanto de

operación como disposición, al inventario de equipos de cada tecnología y finalmente se totalizo mediante una suma.

Aunque, para cuantificar la cantidad de refrigerante del inventario no satisfecho, se consideraron las unidades móviles que utilizan R-404^a. Es importante mencionar que, aunque el inventario de la UTO proporciona información técnica sobre unidades móviles con R-134^a, este también explica que, mediante entrevistas, se consideró la salida de esta tecnología en el año 2020.

Demanda satisfecha

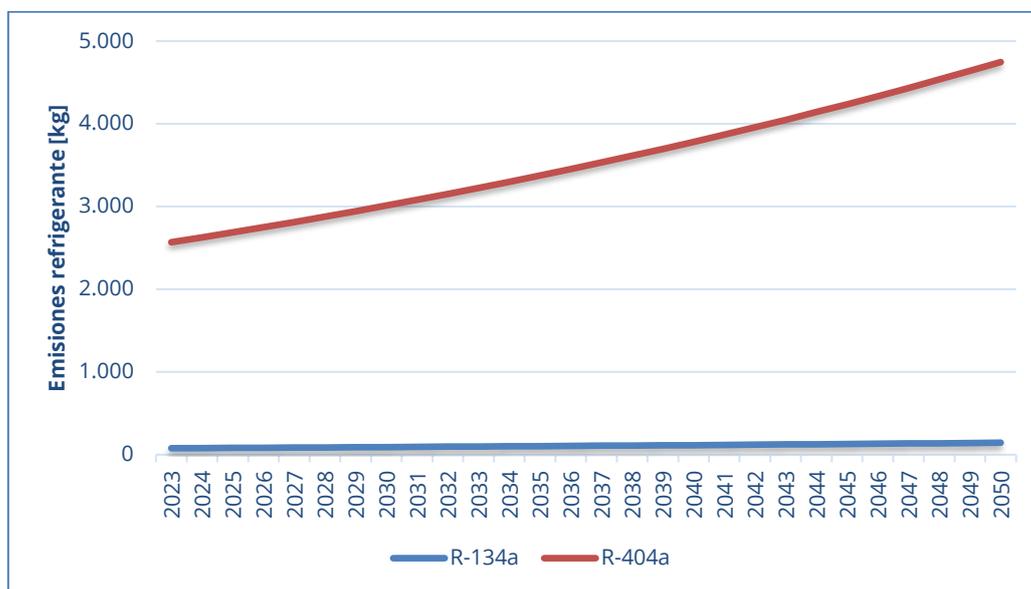
La **Tabla 56** presenta las emisiones de refrigerantes en el sector de transporte refrigerado para el año 2023, mientras que la **Figura 58** muestra sus proyecciones a futuro. Tanto para el R-134^a como para el R-404^a, se prevé una tasa de crecimiento anual del 2,3%. En el caso del R-134^a, se proyecta que las emisiones alcancen 92 kg en 2030 y aumenten hasta 145 kg en 2050. Por su parte, para el R-404^a se estima que las emisiones lleguen a 3.012 kg en 2030 y se incrementen a 4.746 kg para el año 2050.

Tabla 56. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]
Transporte refrigerado	79	2.569

Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

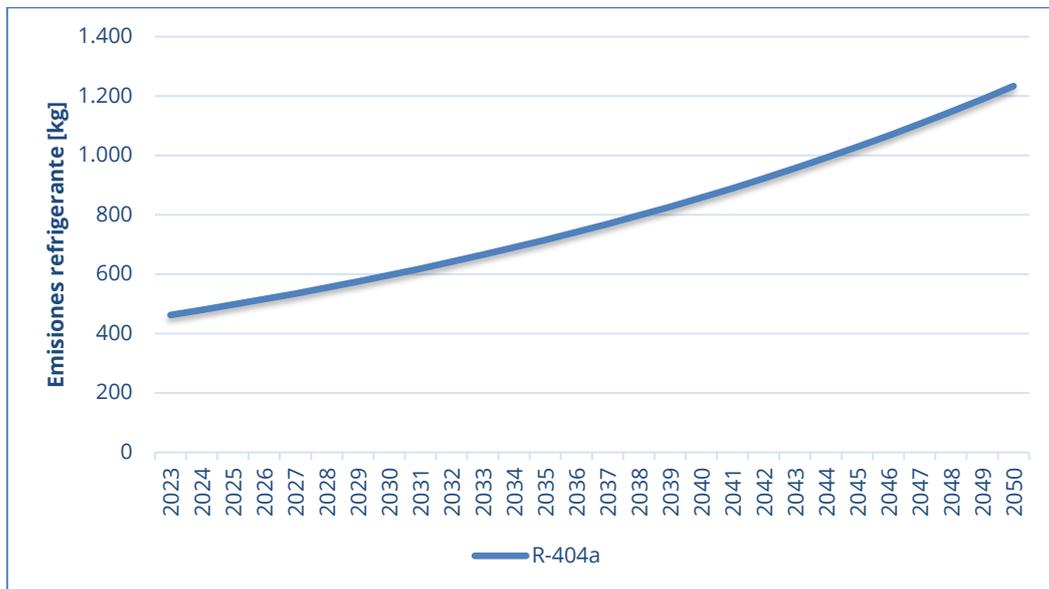
La cantidad de refrigerante de las unidades móviles insatisfechas se presenta en la **Tabla 57** para el año 2023. Complementariamente, la **Figura 59** ilustra la proyección de este refrigerante con una tasa de crecimiento anual del 3,7%, lo que indica 597 kg y 1.234 kg de R-404^a para 2030 y 2050, respectivamente.

Tabla 57. Cantidad de refrigerantes no satisfecho 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	R-404 ^a [kg]
Transporte refrigerado	463

Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Cantidad de refrigerante no satisfecho proyectado para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

Las emisiones específicas promedio por tecnología se presentan a continuación siguiendo la metodología detallada en el **volumen 2**. Este enfoque cuantifica tres tipos de emisiones: directas por operación, directas por disposición de equipos e indirectas por consumo de

energía. Para calcular el total de cada tipo de emisión, se multiplican las emisiones específicas por el número de unidades en el inventario de cada tecnología.

Demanda satisfecha

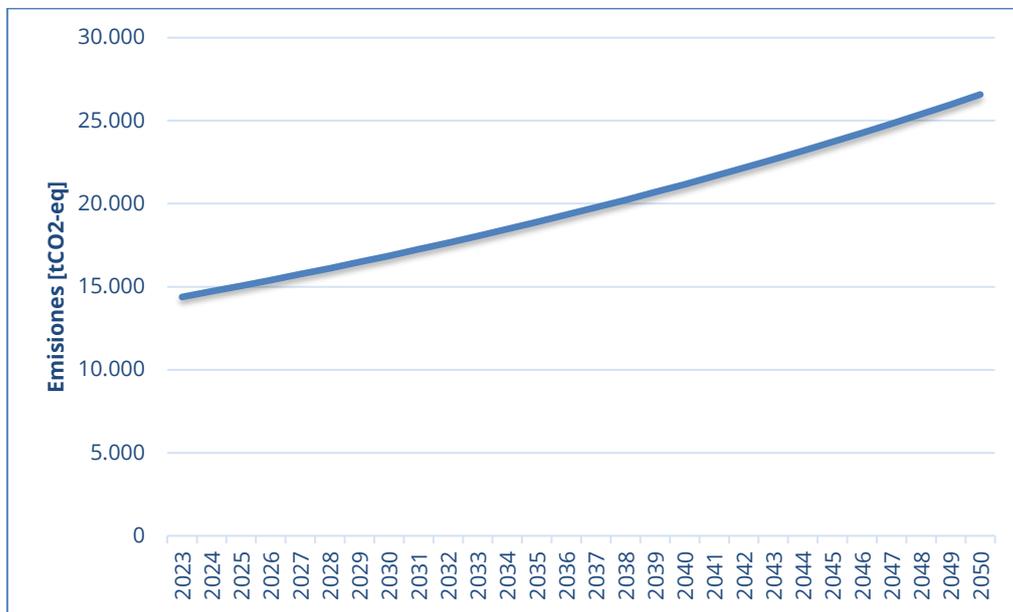
Las emisiones de CO₂ equivalente estimadas para transporte refrigerado en 2023 se presentan en la **Tabla 58**. La **Figura 60**, por su parte, ofrece una visualización de proyección de estas emisiones totales, a una tasa de crecimiento anual del 2,3%. De acuerdo con estas previsiones, se espera que las emisiones en este sector asciendan a 16.865 tCO₂-eq en 2023, y 26.576 tCO₂-eq para el año 2050.

Tabla 58. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	8.641	1.546	4.196	14.383

Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en alimentos-transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

Demanda no satisfecha

Las emisiones equivalentes de CO₂ debidas al refrigerante R-404^a para 2023, debidas a los equipos no satisfechos, se presentan en la **Tabla 59**; así como sus proyecciones en la **Figura**

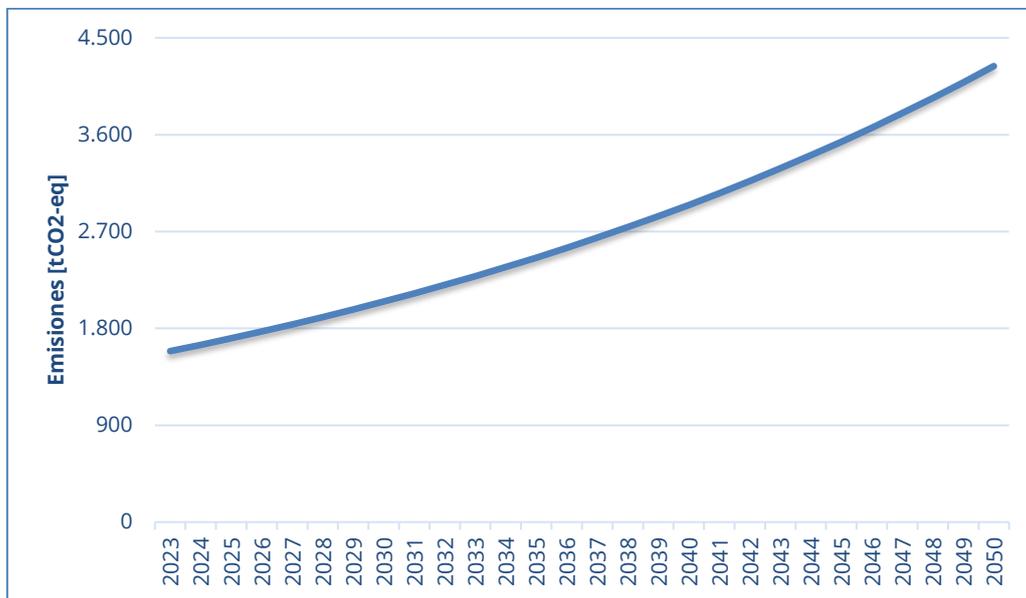
61, con una tasa de crecimiento anual del 3,7%, lo que se reflejará en 2.049 tCO₂-eq para 2030 y 4.238 tCO₂-eq para 2050.

Tabla 59. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas 2023 para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Transporte refrigerado	971	165	453	1.589

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Emisiones equivalentes de CO₂ no satisfechas proyectadas para cadena de frío en alimentos- transporte refrigerado



Fuente: Elaboración propia

2.2. Cadena de frío en salud

Inventario

La cadena de frío en el sector salud abarca la refrigeración de medicamentos, vacunas, alimentos, entre otros. Para analizar esta categoría, se aplicó la metodología top-down descrita en el **volumen 2**. El proceso inició con la determinación del consumo energético destinado a refrigeración. Luego, se calculó el inventario de equipos dividiendo este por el consumo específico de cada tipo de equipo autocontenido.

Demanda satisfecha

*La cadena de frío en salud cuenta con tecnologías autocontenidas en 2023, según la **Tabla 60**. La*

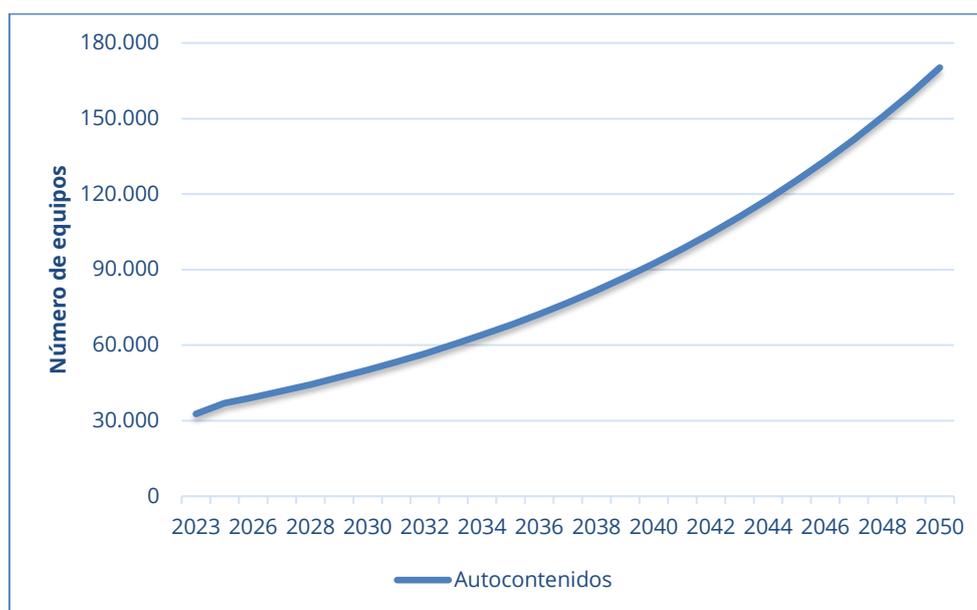
Figura 62 ilustra su evolución futura, proyectando un crecimiento anual del 6,3%. Bajo este escenario, se prevé que el número de sistemas alcancé los 50.159 en 2030, y llegué hasta 170.221 unidades para el año 2050.

Tabla 60. Inventario 2023 para cadena de frío en salud

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	Autocontenido	R-22	0,5	126
		R-134 ^a	0,3	25.587
		R-404 ^a	0,4	1.189
		R-507 ^a	0,4	108
		R-290	0,3	4.093
		R-600 ^a	0,4	178
		R-744	0,4	1.424

Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Inventario proyectado para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

La demanda energética se determinó utilizando datos del SUI de 2023, de los cuales se extrajo la demanda específica del sector salud, basada en su porcentaje de participación previamente conocido. Luego, se identificó la parte de esta demanda asociada exclusivamente a refrigeración, utilizando el porcentaje correspondiente. La metodología detallada de este proceso se describe en el **volumen 2**, donde se ofrece una explicación más exhaustiva del procedimiento empleado.

Demanda satisfecha

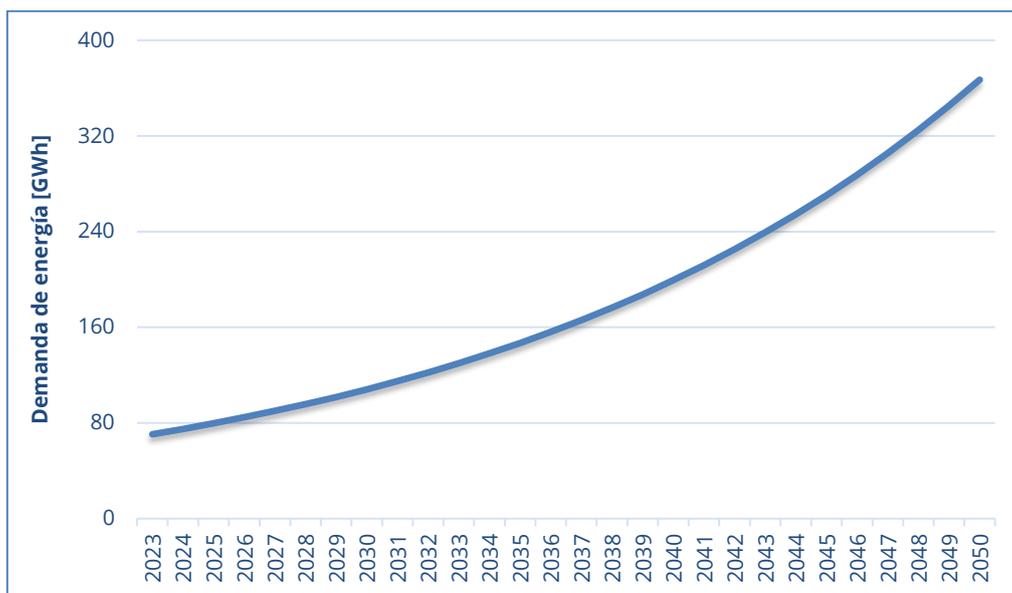
La **Tabla 61** muestra el uso de electricidad para refrigeración en la cadena de frío en salud al 2023. La evolución de este consumo se visualiza en la **Figura 63**, con una tasa crecimiento anual del 6,3%. Los cálculos indican que el requerimiento energético en estos sectores alcanzará 108 GWh en 2030. De mantenerse esta progresión, se prevé que llegará a 367 GWh en 2050.

Tabla 61. Demanda energética 2023 para cadena de frío en salud

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	71

Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Demanda de energía eléctrica proyectada para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

La demanda de potencia energética se calculó considerando los consumos específicos de los equipos autocontenidos, tal como se describe en la metodología de **volumen 2**. Según el inventario elaborado por CAEM y proporcionado por la UTO, las toneladas de refrigeración específicas promedio varían entre 0,3 y 0,5 TR. Para definir la demanda de potencia térmica total en el sector salud, se multiplicaron estas toneladas de refrigeración por el inventario correspondiente y luego se sumaron los resultados para obtener el total.

Demanda satisfecha

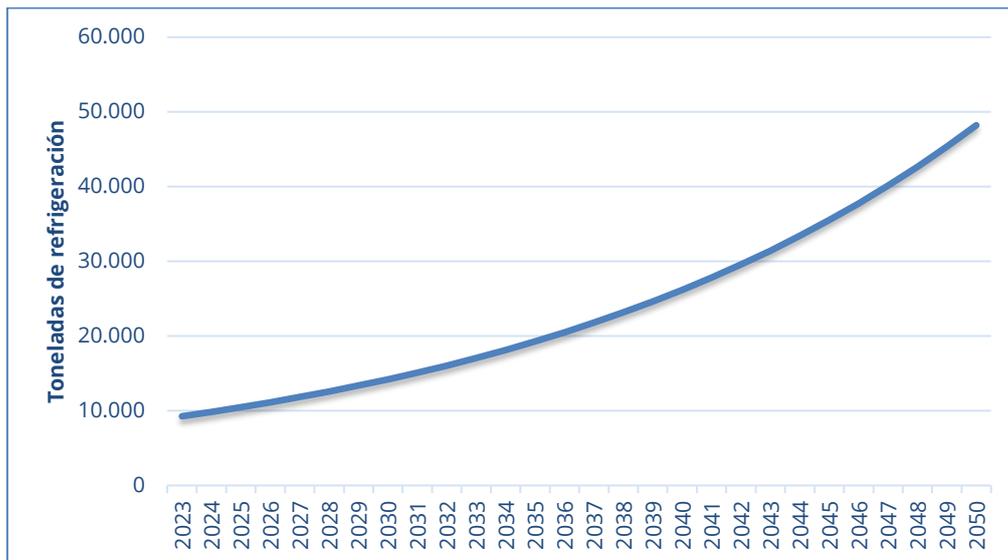
La **Tabla 62** expone la potencia térmica estimada para la cadena de frío en salud en 2023. Además, la **Figura 64** ilustra la evolución proyectada de esta demanda, considerando un aumento anual del 6,3%. Según estas previsiones, se anticipa que la demanda de refrigeración en este sector llegará a 14.205 TR en 2030, y continuará su expansión hasta alcanzar 48.208 TR para el año 2050.

Tabla 62. Demanda de potencia térmica 2023 para cadena de frío en salud

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	9.262

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Demanda de potencia térmica proyectada para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

En el sector salud, los refrigerantes asociados a tecnologías autocontenidas incluyen R-22, R-134^a, R-404^a, R-507^a, R-290, R-600^a y R-744. El proceso de cuantificación de emisiones se realizó en dos etapas: primero, se determinaron las emisiones promedio específicas para cada refrigerante; luego, se calculó el total de emisiones multiplicando estas emisiones específicas, tanto por disposición como por operación, por el número de equipos registrados en el inventario.

Demanda satisfecha

La **Tabla 63** presenta un resumen de las emisiones de refrigerantes en la cadena de frío en salud para el año 2023. Las proyecciones de estas emisiones se ilustran en la **Figura 65**, considerando una tasa de crecimiento anual del 6,3% para todos los refrigerantes.

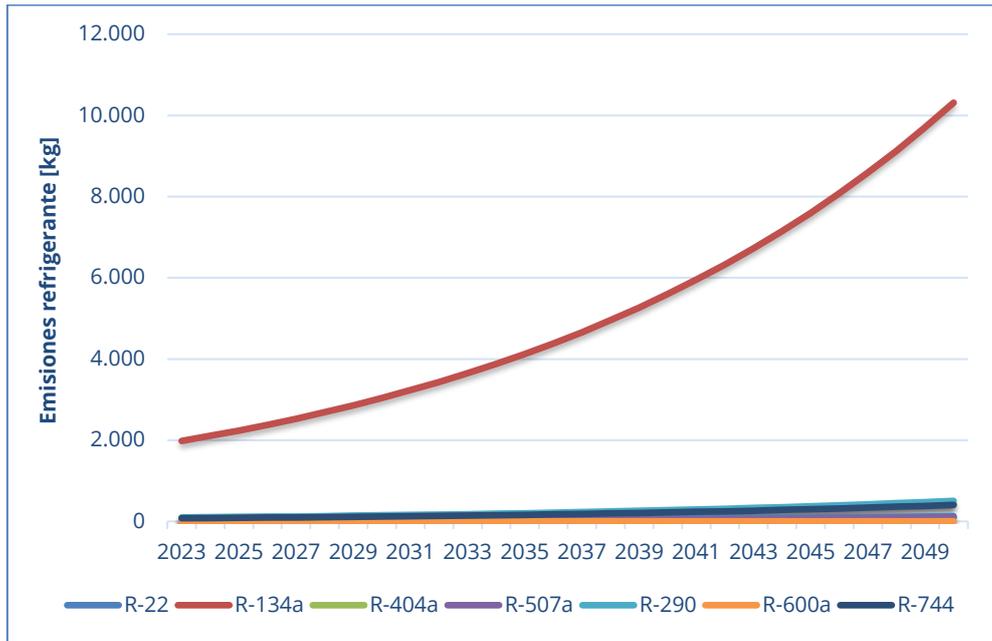
Según estas proyecciones, para el año 2030 se estiman las siguientes emisiones: 38 kg de R-22, 3.039 kg de R-134^a, 125 kg de R-404^a, 29 kg de R-507^a, 149 kg de R-290, 1 kg de R-600^a y 120 kg de R-744. Continuando con esta tendencia, para el año 2050 se prevén emisiones de 129 kg de R-22, 10.313 kg de R-134^a, 425 kg de R-404^a, 98 kg de R-507^a, 506 kg de R-290, 3,5 kg de R-600^a y 407 kg de R-744.

Tabla 63. Cantidad de refrigerantes 2023 para cadena de frío en salud

Sector	R-22 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]	R-507 ^a [kg]	R-290 [kg]	R-600 ^a [kg]	R-744 [kg]
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	25	1.982	82	19	97	1	78

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Cantidad de refrigerante proyectado para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

La cuantificación de emisiones para los refrigerantes mencionados se realizó en equivalentes de CO₂, considerando tanto las emisiones por disposición como por operación. Este cálculo incorporó los valores de GWP de cada refrigerante. Además, se incluyeron las emisiones indirectas resultantes del consumo energético de los equipos. Siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**, estas emisiones se combinaron con el número de equipos inventariados para obtener el total de emisiones equivalentes.

Demanda satisfecha

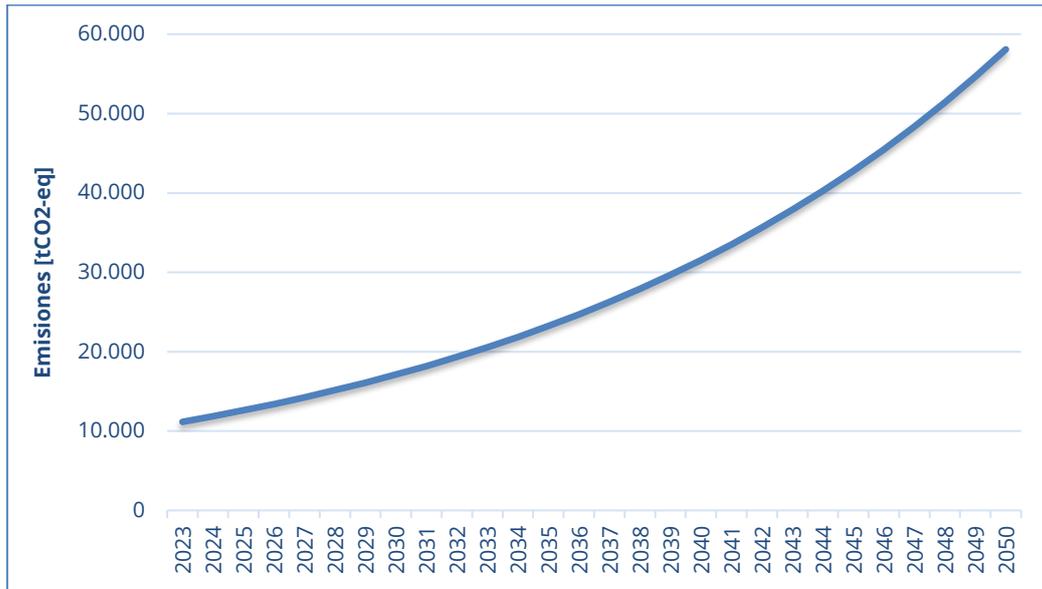
Las emisiones de CO₂ equivalente por equipos de refrigeración en el sector de salud para 2023 se encuentran en la **Tabla 64**. Por otro lado, la **Figura 66** proyecta las emisiones totales con una tasa de crecimiento anual del 6,3%, lo que aumentará las emisiones a 17.118 tCO₂-eq en 2030 y 58.092 tCO₂-eq para el año 2050.

Tabla 64. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para cadena de frío en salud

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Actividades de atención de la salud humana (CIU 86)	888	2.374	7.900	11.161

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para cadena de frío en salud



Fuente: Elaboración propia

2.3. Procesos industriales

Inventario

Los procesos industriales analizados abarcan sectores con demanda significativa de refrigeración, excluyendo alimentos y bebidas. Estos incluyen: textiles, fabricación de productos químicos y farmacéuticos, plásticos y caucho, y productos informáticos. Para su análisis, se implementó la metodología top-down detallada en el **volumen 2**, que parte del consumo energético para determinar el inventario. El proceso implica fraccionar la energía de refrigeración de cada sector entre unidades condensadoras y/o chillers, según corresponda, y luego dividirla por el consumo específico de cada tecnología.

Demanda satisfecha

El inventario de procesos industriales para 2023, se detallada en la **Tabla 65**. La **Figura 67** proyecta su crecimiento, aplicando una tasa anual del 1,9% y 2,1% para chillers y unidades condensadoras, respectivamente. Siguiendo esta tendencia, se anticipa que para 2030 habrá 340 chillers y 753 unidades condensadoras. Hacia 2050, estas cifras se elevarán a 498 y 1.134 unidades respectivamente.

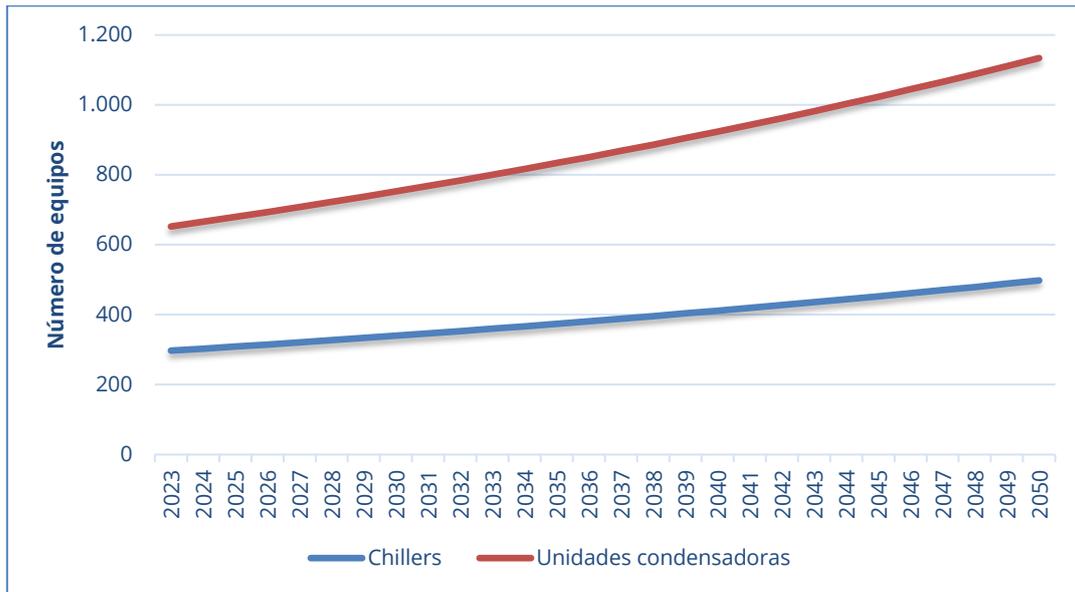
Tabla 65. Inventario 2023 para procesos industriales

Sector	Tecnología	Refrigerante	TRE _i [TR]	Número de equipos
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	Unidad condensadora	R-22	2,9	1
		R-134 ^a	2,0	8
		R-404 ^a	1,3	6
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	Chiller	R-22	17	9
		R-123	549	20
		R-134 ^a	229	3
	Unidad condensadora	R-22	2,9	50
		R-134 ^a	2,0	337
		R-404 ^a	1,3	250
Fabricación de productos de	Chiller	R-22	17	75
		R-123	549	157

caucho y de plástico (CIU 22)		R-134 ^a	229	25
Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	Chiller	R-22	17	2
		R-123	549	5
		R-134 ^a	229	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Inventario proyectado para procesos industriales



Fuente: Elaboración propia

Demanda energética (eléctrica)

Los valores de demanda de refrigeración para estos sectores se sumaron para obtener un total consolidado. Cada sector, de manera individual, fue evaluado en función de su porción de consumo de energía eléctrica y refrigeración, lo que permitió calcular la demanda de refrigeración utilizando los datos históricos de 2023 provenientes de la plataforma SUI. Este proceso se realizó siguiendo la metodología descrita en el **volumen 2**.

Demanda satisfecha

La **Tabla 66** detalla el uso de electricidad para refrigeración en la categoría de procesos industriales para 2023. La evolución de este consumo se presenta en la **Figura 68**, a una tasa de crecimiento anual del 2%. Los cálculos sugieren que la demanda energética en estos sectores alcanzará los 107 GWh y 158 GWh para 2030 y 2050.

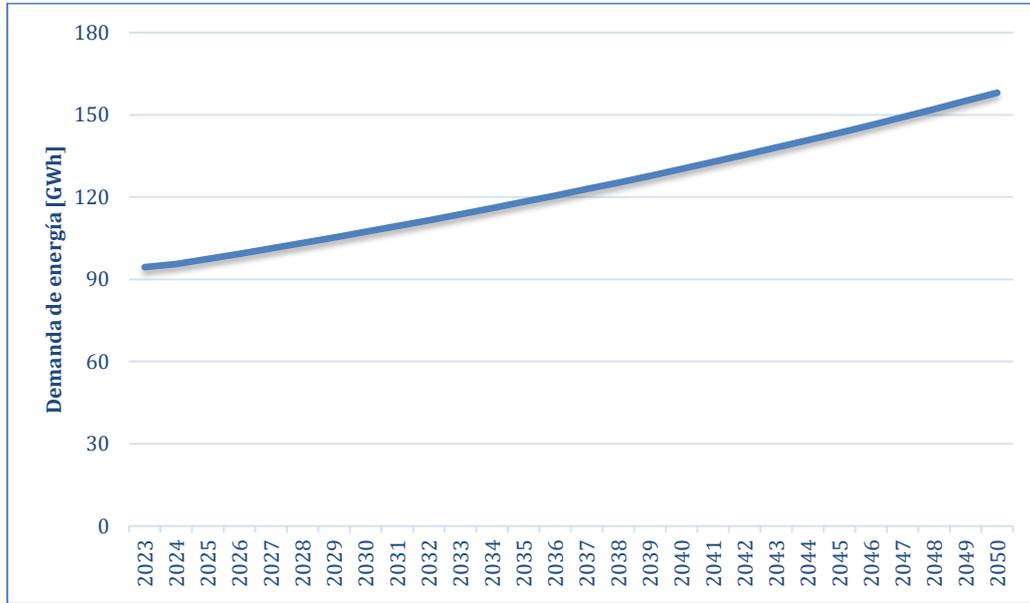
Tabla 66. Demanda energética 2023 para procesos industriales

Sector	Demanda de energía [GWh/año]
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	0,41
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	25
Fabricación de productos de caucho y de plástico (CIU 22)	66

Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	2,2
Total	94

Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Demanda de energía eléctrica proyectada para procesos industriales



Fuente: Elaboración propia

Demanda de potencia térmica

La determinación de la demanda de potencia de refrigeración se basa en dos elementos clave: el inventario previamente establecido y las toneladas de refrigeración específicas promedio calculadas para chillers y unidades condensadoras, como se detalla en el **volumen 2**. El análisis se desarrolla en tres etapas: primero, se calcula la demanda por tecnología; segundo, se extiende este cálculo a cada sector industrial; y finalmente, se suman los resultados para obtener la demanda total de potencia térmica requerida en los procesos industriales.

Demanda satisfecha

La potencia térmica calculada para los procesos industriales en el año 2023 se detalla en la **Tabla 67**. En paralelo, la **Figura 69** ofrece una visualización del desarrollo esperado de esta demanda, con una tasa de crecimiento anual del 1,9%. Conforme a estas proyecciones, se estiman 124.827 TR hacia 2030, y 182.950 TR hacia 2050.

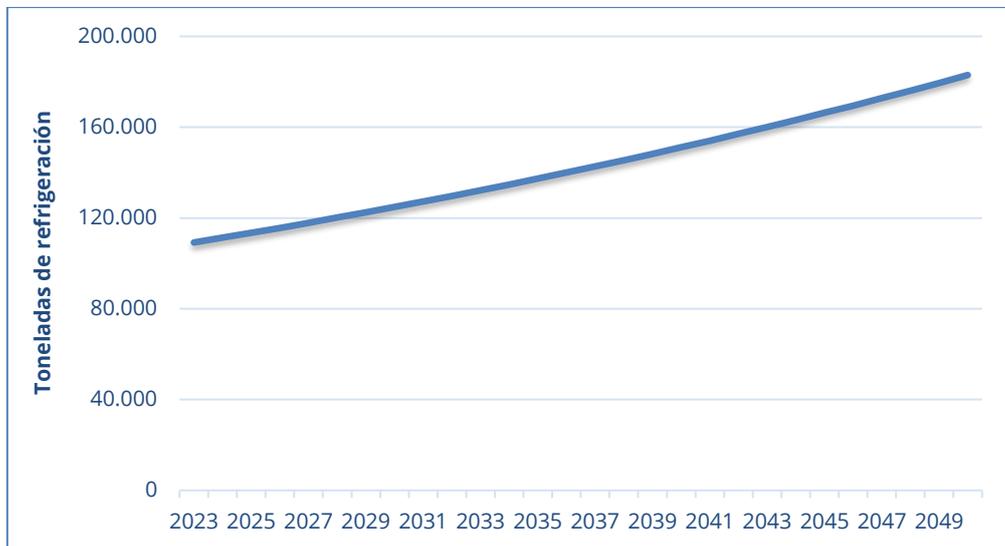
Tabla 67. Demanda de potencia térmica 2023 para procesos industriales

Sector	Demanda de potencia térmica [TR]
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	27
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	12.940
Fabricación de productos de caucho y de plástico (CIU 22)	93.193
Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	3.040

Total	109.200
-------	---------

Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Demanda de potencia térmica proyectada para procesos industriales



Fuente: Elaboración propia

Cantidad de refrigerante

La cuantificación de emisiones de refrigerantes se realizó según la metodología detallada en el **volumen 2**. El proceso se llevó a cabo en tres etapas: primero, se cuantificaron las emisiones específicas por tecnología; luego, se calcularon las emisiones totales, sumando las de operación y disposición para cada tecnología; y finalmente, se obtuvo el total acumulado de los refrigerantes evaluados, incluyendo R-22, R-123, R-134^a y R-404^a.

Demanda satisfecha

El resumen de los refrigerantes emitidos en el año 2023 por los diferentes sectores de procesos industriales se presenta en la **Tabla 68**. Además, sus proyecciones se ilustran en la **Figura 70**, con una tasa de crecimiento anual del 2% para R-22 y R-134^a; 1,9% para R-123; y 2,1% para R-404^a.

2030: 226 kg (R-22), 7.026 kg (R-123), 1.978 kg (R-134^a) y 299 kg (R-404^a).

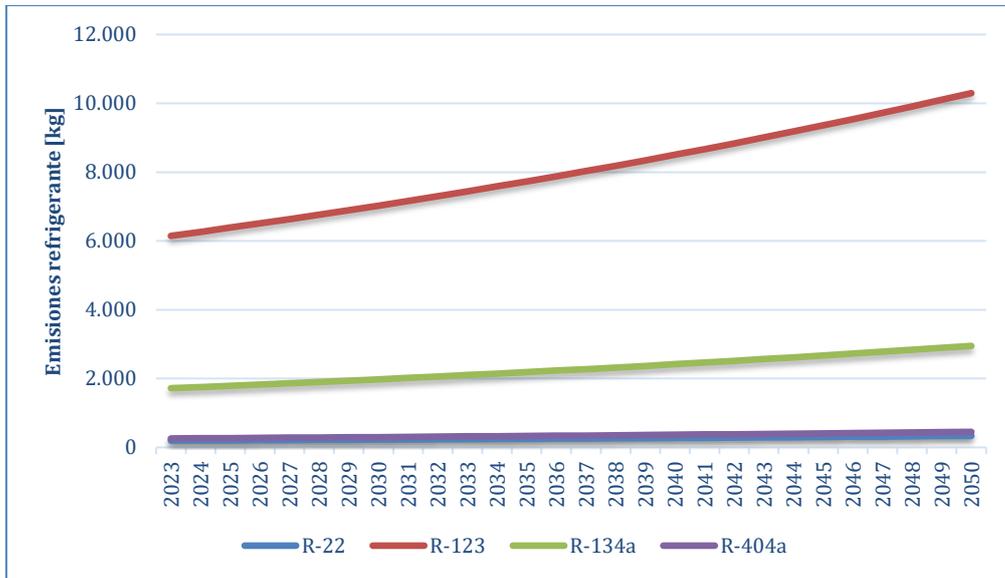
2050: 335 kg (R-22), 10.295 kg (R-123), 2.949 kg (R-134^a) y 450 kg (R-404^a).

Tabla 68. Cantidad de refrigerantes 2023 para procesos industriales

Sector	R-22 [kg]	R-123 [kg]	R-134 ^a [kg]	R-404 ^a [kg]
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	2	0	21	6
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	93	675	958	253
Fabricación de productos de caucho y de plástico (CIU 22)	99	5.299	739	0
Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	3	173	24	0
Total	197	6.147	1.720	259

Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Cantidad de refrigerante proyectado para procesos industriales



Fuente: Elaboración propia

Emisiones equivalentes de CO₂

La determinación de las emisiones, como complemento a la cuantificación de refrigerantes, se realizó siguiendo la metodología establecida en el **volumen 2** y utilizando las emisiones específicas calculadas. La cuantificación se llevó a cabo en tres pasos: primero, se calcularon las emisiones específicas por tecnología; luego, se multiplicaron por el número de unidades por tecnología; y finalmente, se definieron las emisiones totales, incluyendo las asociadas a la disposición, operación e indirectas por consumo energético

Demanda satisfecha

La **Tabla 69** muestra cuánto CO₂ equivalente producen los equipos de refrigeración en procesos industriales en 2023. La **Figura 71** indica cómo crecerán estas emisiones, aumentando un 2% cada año. Se espera que lleguen a 17.953 tCO₂-eq en 2030 y a 26.560 tCO₂-eq en 2050.

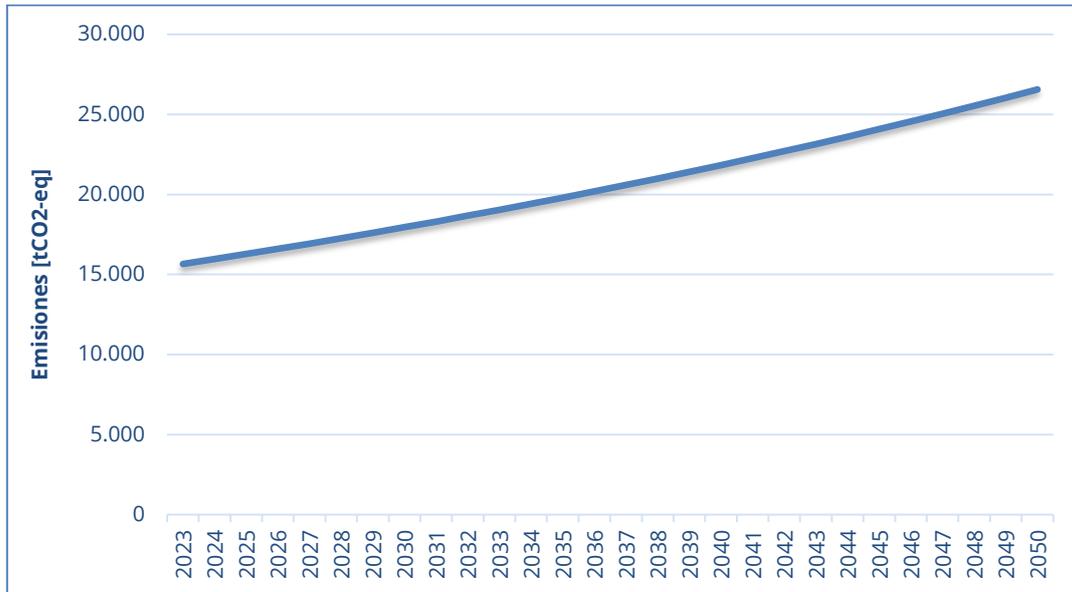
Tabla 69. Emisiones equivalentes de CO₂ 2023 para procesos industriales

Sector	Emisiones directas operación [tCO ₂ -eq]	Emisiones directas disposición [tCO ₂ -eq]	Emisiones indirectas [tCO ₂ -eq]	Emisiones totales [tCO ₂ -eq]
Fabricación de otros productos textiles (CIU 139)	49	8	46	103
Fabricación de sustancias y productos químicos (CIU 20)	2.154	428	2.809	5.391
Fabricación de productos de caucho y de plástico (CIU 22)	970	673	7.401	9.044

Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (CIU 26)	32	22	1.065	1.119
Total	3.204	1.132	11.321	15.657

Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Emisiones equivalentes de CO₂ proyectadas para procesos industriales



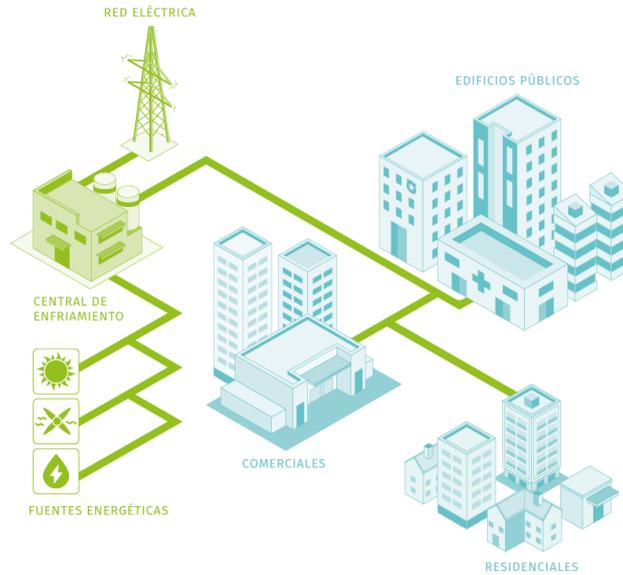
Fuente: Elaboración propia

3. Distritos térmicos

Los distritos térmicos se definen como sistemas de infraestructura urbana, los cuales están diseñados para la generación y distribución eficiente de la energía térmica ya sea en forma de calor o frío, a múltiples edificios o en una zona determinada. El objetivo principal es optimizar el consumo energético, que conlleve a una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La promoción de distritos térmicos es una opción tecnológica para el desarrollo sostenible de la climatización sin sacrificar el confort. Además, tienen el potencial de generar ahorros entre el 30% y 50% del consumo de energía primaria (Ministerio de Minas y Energía, 2016). Estas alternativas producen calor y frío de manera centralizada, y distribuyen la energía mediante redes, a múltiples usuarios; residenciales, comerciales e industriales, promoviendo la implementación de tecnologías que sustituyen el uso de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) y que al mismo tiempo generan un alto impacto ambiental (Ministerio de Ambiente, 2019).

Figura 72. Distritos térmicos



Fuente: Ministerio de Ambiente (2019)

La implementación de distritos térmicos tiene dos beneficios ambientales: I) eliminación del uso de las SAO en sistemas de acondicionamiento convencionales y II) reducción en el consumo de electricidad o gas para producir energía térmica, con menores emisiones de CO₂.

3.1. Distritos térmicos en Colombia

3.1.1. Marco regulatorio para distritos térmicos

En Colombia los distritos térmicos surgen como una solución para optimizar el uso de recursos energéticos principalmente en el sector de climatización y refrigeración en edificaciones residenciales, comerciales e industriales. La implementación de estos distritos esta reglamentada principalmente por la Ley 2169 de 2021, la cual establece el desarrollo bajo en carbono del país y resiliencia climática (SUIN, 2021).

Así mismo, se han diseñado diferentes leyes, decretos y resoluciones que facilitan la implementación de estas medidas en Colombia, teniendo en cuenta su contribución a la mitigación del cambio climático y reducción de emisiones. Dicha normatividad se presenta a continuación:



Tabla 70. Marco regulatorio para distritos térmicos

Marco Normativo	Alcance	Descripción
-----------------	---------	-------------

<p>Ley 697 de 2001</p>	<p>Fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas, además de declarar el uso racional y eficiente de la energía como asunto de interés social entre otros, aprovechando de forma óptima la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas.</p>	<p>Lay Ley promueve el desarrollo de energías alternativas teniendo en cuenta los siguientes puntos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso eficiente de la energía: busca que tanto el sector público como privado adopten medidas para optimizar el consumo de energía, con el fin de reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad. • Fuentes no convencionales de energía: Promueve el desarrollo y la utilización de energías renovables. • Incentivos: Establece los mecanismos e incentivos para las empresas y personas que adopten tecnologías y prácticas energéticamente eficientes o que inviertan en fuentes de energía renovables.
<p>Resolución 5 de 2010</p>	<p>Determinan los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración, además de la regulación de esta actividad.</p>	<p>Define el concepto de cogeneración y cogenerador y define que los excedentes de cogeneración en la autogeneración pueden ser comercializados. Además, establece que los Cogeneradores Nuevos deberán certificar un REE superior al mínimo exigido, así como la producción mínima de energía eléctrica y térmica. Por otro lado, los Cogeneradores Existentes deberán certificar el REE de su proceso y el cumplimiento de la producción mínima de energía eléctrica y térmica, dentro de los seis meses siguientes a la fecha en que la CREG expida la resolución adoptando el procedimiento de pruebas y auditoría que se refiere esta resolución.</p>
<p>Ley 1715 de 2014</p>	<p>Se regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.</p>	<p>Tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.</p>
<p>Decreto Único Ambiental 1076 de 2015</p>	<p>Régimen asociado al licenciamiento ambiental para diferentes actividades.</p>	<p>Indican las actividades sujetas a licencia. Los proyectos de Distritos Térmicos no están sujetos a procesos de licenciamiento ambiental, aunque se debe considerar las características de diseño.</p>
<p>Resolución 585 de 2017</p>	<p>Establecer el procedimiento para evaluar y emitir</p>	<p>Por la cual se establece el procedimiento para conceptuar sobre los proyectos de eficiencia energética/gestión eficiente de energía que se</p>

	conceptos sobre proyectos evaluados para certificar el beneficio ambiental para proyectos de eficiencia energética con el fin de acceder al beneficio tributario establecido en el Decreto 1625 de 2016 de Minambiente.	presenten para acceder al beneficio tributario de exclusión del IVA. Distrito Térmico como proyecto de eficiencia energética susceptible de ser excluido de IVA, según del Decreto 1625 de 2016.
Resolución 030 de 2018	Se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional.	Aplica a los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transistores nacionales.
Ley 2099 de 2021	La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético de la Nación.	Tiene por objeto modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y, en general dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible. Por otro lado, dicha Ley busca promover la gestión eficiente de la energía y sistemas de medición inteligente, que comprenden tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.
Ley 2407 de 2024	Promueve la adopción de medidas para promover el uso racional y eficiente de energía, lineamientos para los planes de eficiencia energética de las entidades públicas y construcciones sostenibles.	La Ley define los Planes de Gestión Eficiente de Energía (PGEE), los cuales definen la base de partida en términos de consumo energético, así como proyectan los planes y acciones para la optimización del consumo de energéticos.

Fuente: Elaborado a partir de (ONUD, 2023)

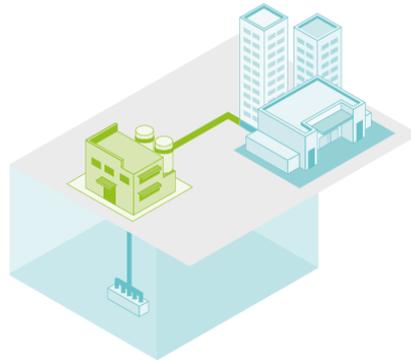
3.1.2. Distritos térmicos viables en Colombia

En Colombia se evidencian cuatro arquitecturas viables para la implementación de distritos térmicos:

Aguas marinas o fluviales

Esta arquitectura aprovecha los cuerpos de agua profundas, la cuales cuentan con temperaturas de aproximadamente 4°C. además, este sistema bombea el agua para aprovechar su energía térmica como fuente para el distrito térmico.

Figura 73. Arquitectura de distritos térmicos con agua marina o fluvial



Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

Refrigeración con energía renovables

Para la arquitectura de distritos térmicos para refrigeración a partir de energías renovables se utilizan chillers eléctricos por compresión de vapor los cuales pueden abastecerse a partir de energía eólica, solar fotovoltaica, calor residual u otra fuente no convencional de energía renovable.

Figura 74. Arquitectura de distritos térmicos de refrigeración con energías renovables

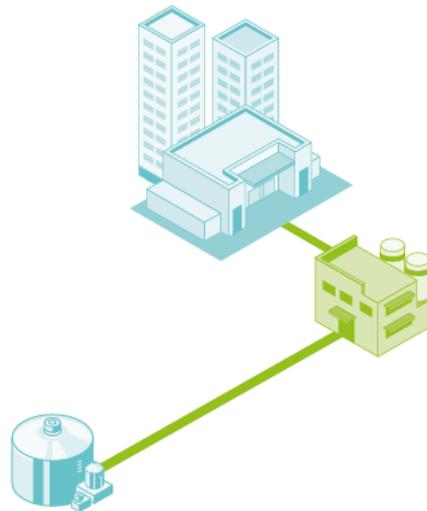


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

Cogeneración con gas o energía solar

En cuanto a los distritos térmicos que funcionan a partir de cogeneración con gas, este consiste en chillers eléctricos por compresión de vapor y por absorción, los cuales se abastecen a partir de una turbina que genera energía eléctrica utilizando gas natural o biogás.

Figura 75. Arquitectura de distritos térmicos de cogeneración con gas o energía solar

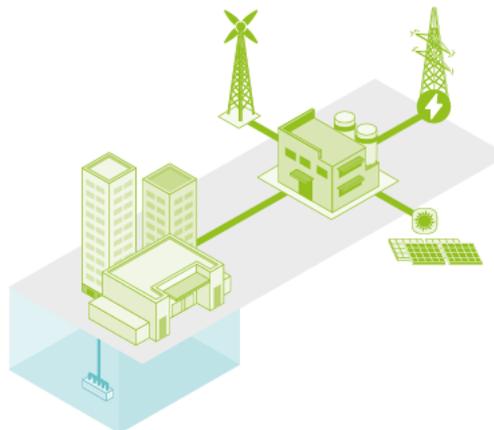


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

Mixto

Finalmente, Colombia tiene el potencial de implementar distritos térmicos mixtos, los cuales cuentan con una central térmica, la cual se abastece a partir de diversas fuentes de energía renovable, combinando las otras tres tipologías (Cogeneración con gas o energía solar, refrigeración con energías renovables, aguas marinas o fluviales).

Figura 76. Arquitectura de distritos térmicos mixtos

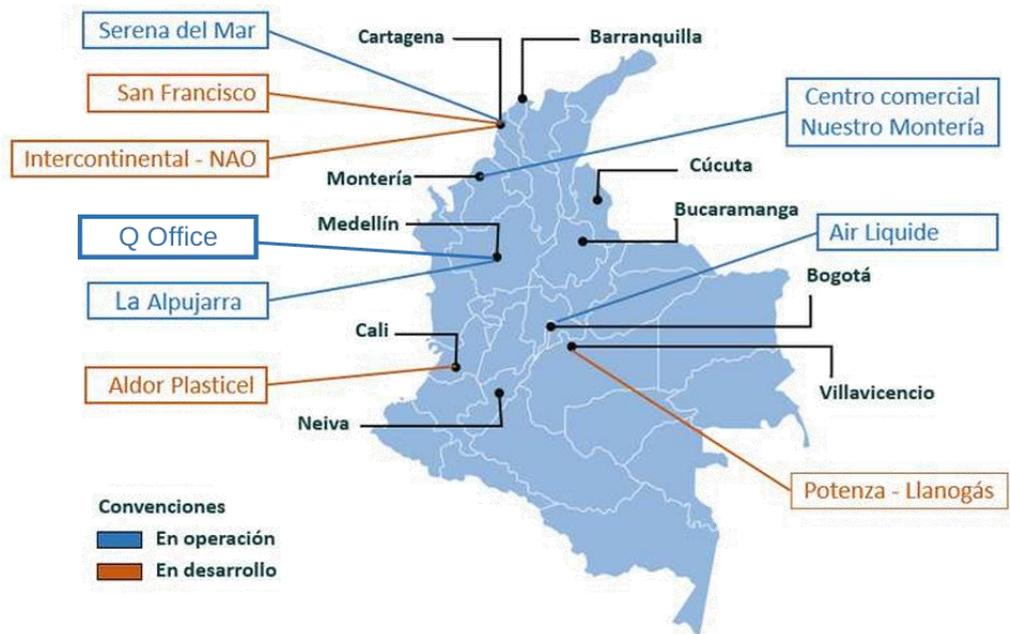


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2019)

3.1.3. Distritos térmicos en operación y desarrollo en Colombia

La figura a continuación presenta los distritos térmicos que a 2022 se encuentran en operación y desarrollo en Colombia.

Figura 77. Distritos térmicos en funcionamiento y en desarrollo en Colombia



Fuente: (ACAIRE & CIDARE, 2022)

Distritos térmicos en operación en Colombia

Medellín

Distrito térmico la Alpujarra

En la ciudad de Medellín, en 2016 entró en operación el distrito térmico de La Alpujarra, el cual brinda servicio de agua helada para acondicionamiento de aire en edificios públicos de la zona. Dicho distrito térmico cuenta con una capacidad instalada de 3600 TR, además, cuenta con tres chillers eléctricos y un chiller de absorción los cuales utilizan refrigerantes naturales para su funcionamiento; así mismo, cuenta con cogeneración a partir de gas natural, recuperación de calor y se complementa con suministro de electricidad de la red (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico fue diseñado por BT Consultores y es operado por Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Distrito térmico Q Office

El distrito térmico Q Office entro en operación en 2019 en Medellín, como un distrito térmico intramural con una capacidad instalada de 480 TR.

El proyecto está compuesto por dos chillers eléctricos cada uno de 290 TR de capacidad, condensados por agua, además, el proyecto cuenta con un sistema de control variable de acuerdo con la demanda de frio de las oficinas que componen el edificio. El sistema incluye además el monitoreo de cada uno de los clientes de manera independiente.

Como fuente de energía, el distrito térmico funciona a partir de energía eléctrica suministrada y operada por Aire Verde Ingeniería SAS. El distrito térmico funciona para el edificio Q Office propiedad horizontal (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico fue diseñado, construido y es operado por Aire Verde Ingeniería SAS.

Cartagena

Distrito térmico Serena del Mar

En la ciudad de Cartagena en 2018 entró en operación el distrito térmico del hospital, y en 2019 entró en operación el distrito térmico del hospital y el edificio comercial el cual es un distrito térmico urbano con una capacidad instalada de 1704 TR y funciona a partir de 2 chiller electromagnéticos con una eficiencia de 0.5 kW/TR. Los chiller operan en serie de 0,8 kW/TR de toda la planta.

El funcionamiento del distrito térmico se realiza a partir de trigeneración con gas, la cual incluye agua fría, agua caliente y energía eléctrica. Además, cuenta con microturbinas que funcionan a partir de gases calientes de absorción y energía eléctrica suministrada a partir del operador de red local (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico fue evaluado, estructurado y diseñado por BT Consultores en conjunto con Celsia, además la planta generadora es operada por Celsia cuya distribución está a cargo de CNC del Mar.

Montería

Distrito térmico centro comercial Nuestro Montería

En Montería en 2017 entró en operación el distrito térmico Centro Comercial Nuestro Montería el cual consiste en un distrito térmico intramural.

El distrito térmico cuenta con una capacidad instalada de 1410 TR, el cual funciona a partir de una microturbina a gas acompañada de dos chillers eléctrico / magnético, además de un chiller de absorción, tres torres de enfriamiento, once unidades manejadoras de aire y once unidades recuperadoras de calor.

El distrito térmico de Montería cuenta con cogeneración con gas natural, acompañada de energía eléctrica y agua helada y suministro de electricidad por parte del operador de red local (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico es evaluado y estructurado por Celsia, así como su interventoría y seguimiento, la construcción de este está a cargo de Servipáramo.

La **Figura 78** a continuación presenta los distritos térmicos que se encuentran actualmente en operación en Colombia.

Figura 78. Distritos térmicos en operación en Colombia

Distrito térmico La Alpujarra



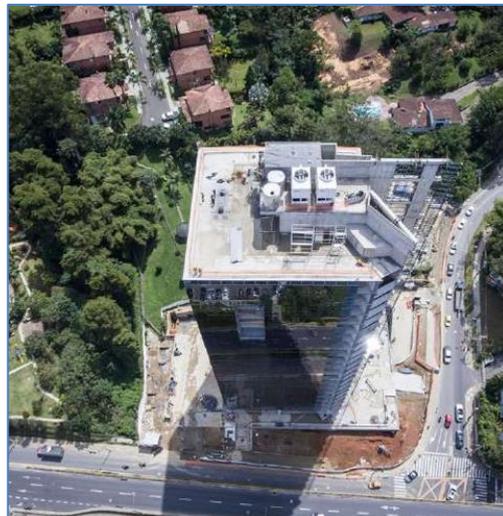
Distrito térmico Serena del Mar



Distrito térmico centro comercial Nuetro Montería



Distrito termico Centro Comercial Q Office



Fuente: (ACAIRE & CIDARE, 2022)

Distritos térmicos en desarrollo en Colombia

Cartagena

Distrito térmico San Francisco

El distrito térmico San Francisco es un distrito térmico urbano ubicado en Getsemaní, Cartagena. este proyecto cuenta con una capacidad instalada de 1158 TR. Este distrito térmico está diseñado para satisfacer las necesidades de enfriamiento de diversas edificaciones en la zona.

En términos de especificaciones técnicas, el distrito térmico opera mediante cinco microturbinas de generación eléctrica, que en conjunto producen aproximadamente 863,84 kW. Además, está equipado con una planta de agua helada y un chiller de absorción, lo que le permite ofrecer un sistema de refrigeración eficiente. La eficiencia promedio de la planta

es notable, alcanzando un coeficiente de rendimiento de 0.59 kW/TR, además, las fuentes de energía empleadas en este distrito incluyen la cogeneración a partir de gas natural y el uso de agua de mar para la refrigeración (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico fue diseñado por BT Consultores, además fue construido por Servipáramo y operado por Celsia.

Distrito térmico Intercontinental – NAO

Este proyecto es un distrito térmico intramural, con una capacidad proyectada de 1245 TR. Este distrito cuenta con un proyecto de producción centralizada de agua fría para suministrar el servicio a hoteles y al sector comercial (ACAIRE & CIDARE, 2022).

El distrito térmico es diseñado por EON Eficiencia Energética Estratégica, apoyado por inversión privada y por Proyectos Distritos Térmicos en Colombia – Fase II.

Además, los clientes que se verán beneficiados por dicho distrito son Hotel Intercontinental, Centro Comercial NAO y FEDCO.

Villavicencio

Distrito térmico Potenza

El distrito térmico Potenza es un distrito térmico intramural el cual se caracteriza por el uso de agua subterránea para el sistema de condensación, este distrito se ubica en la ciudad de Villavicencio. El distrito térmico cuenta con una capacidad proyectada de 344 TR y un almacenamiento térmico de 1000TR/h, el sistema de almacenamiento de centra en tanques de agua helada, por medio de los cuales el agua se enfría durante los periodos de baja demanda. Durante los periodos de alta demanda el agua fría se utiliza para proporcionar refrigeración, reduciendo la necesidad de operar equipos de refrigeración en tiempo real (ACAIRE & CIDARE, 2022).

En cuanto a las especificaciones técnicas, el proyecto cuenta con una planta de agua helada compuesta por dos microturbinas de 200 kW cada una, además de un chiller de absorción de 184 TR y dos chillers eléctricos de 80 TR cada uno. Por otro lado, las fuentes de energía empleadas en este distrito incluyen la geotermia y el uso de gas natural.

Este distrito está diseñado para funcionar en la torre A y torre B del centro empresarial y de negocios potencia, incluyendo una futura conexión a las edificaciones vecinas (ACAIRE & CIDARE, 2022).

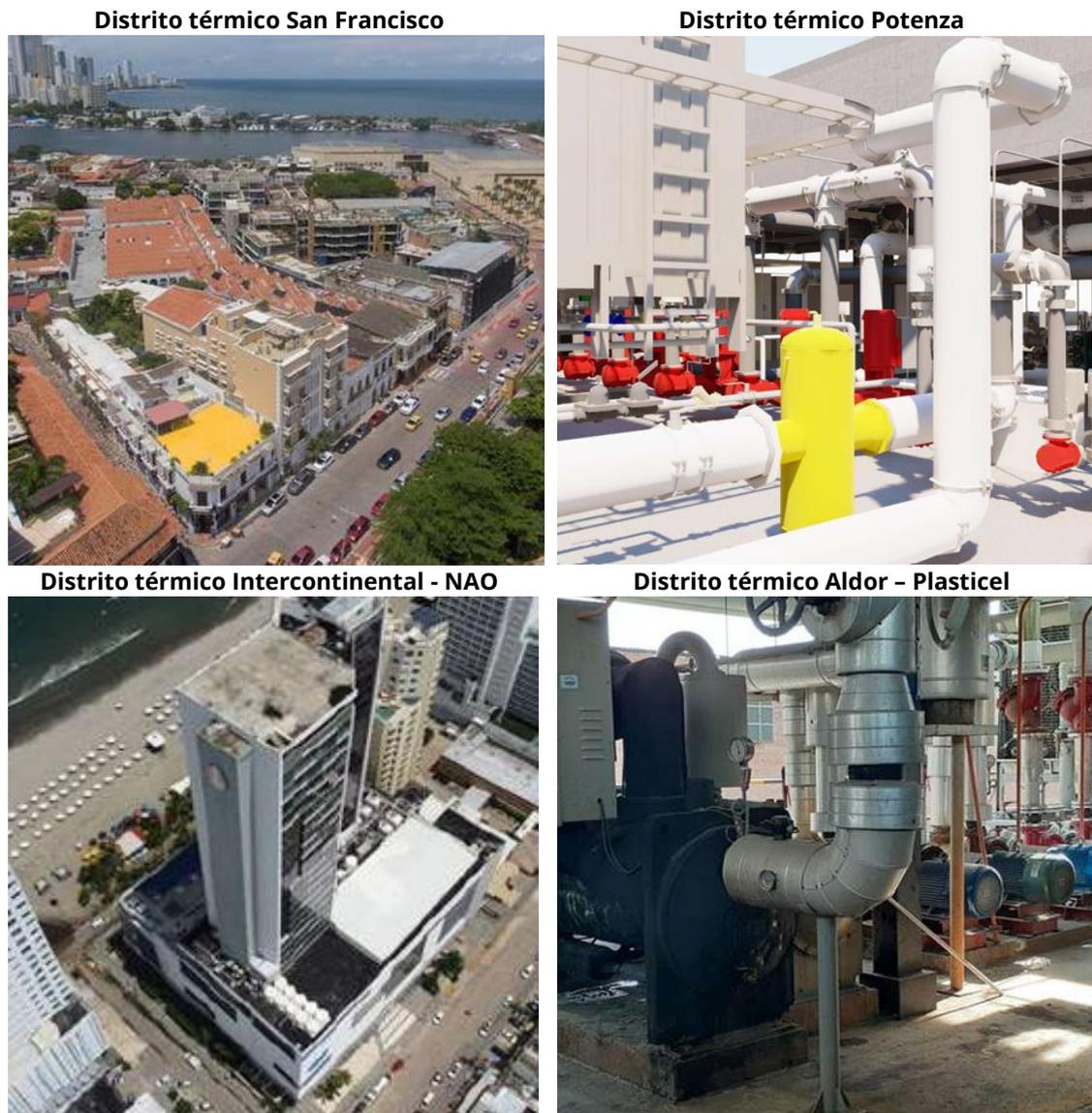
Cali

Distrito térmico Aldor – Plasticel

El proyecto se encuentra en fase de diseño, está proyectado como un distrito térmico industrial en la zona industrial al norte de Cali. Dicho proyecto cuenta con una capacidad proyectada de 1200 TR, por medio del cual se pretende suministrar el servicio a dos industrias (ACAIRE & CIDARE, 2022).

La **Figura 79** a continuación ilustra los distritos térmicos en Colombia, los cuales se encuentran actualmente en operación o dase de diseño.

Figura 79. Distritos térmicos en desarrollo en Colombia.



Fuente: (ACAIRE & CIDARE, 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior, los distritos térmicos en Colombia representan una innovación significativa en el manejo eficiente de la energía, principalmente en el uso de refrigeración y climatización. Estos sistemas aprovechan el uso de fuentes de energía más limpias y sostenibles como el frío natural o tecnologías de cogeneración.

Además, la implementación de estos sistemas contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el ahorro energético, y la disminución de costos operativos a largo plazo.

La **Tabla 71** a continuación presenta el total de toneladas de refrigeración que suman los distritos térmicos en operación actualmente, así como las toneladas de refrigeración de los distritos térmicos en desarrollo.

Tabla 71. Toneladas de refrigeración de los distritos térmicos en operación y en desarrollo

Distritos térmicos en operación	Distritos térmicos en desarrollo
---------------------------------	----------------------------------

Distrito térmico	Capacidad instalada (TR)	Distrito térmico	Capacidad instalada (TR)
Distrito térmico La Alpujarra	3.600	Distrito térmico Intercontinental - NAO	1.245
Distrito térmico centro comercial Nuetro Montería	1.704	Distrito térmico Aldor – Plasticel	1.200
Distrito térmico Centro Comercial Q Office	1.410	Distrito térmico San Francisco	1.158
Distrito térmico Serena del Mar	480	Distrito térmico Potenza	344
Total Toneladas refrigerantes	7.194	Total Toneladas refrigerantes	3.947

Fuente:Elaborado a partir de (ACAIRE & CIDARE, 2022)

4. Referencias

- ACAIRE & CIDARE. (2022). *Conozca los distritos termicos en Colombia*. Obtenido de Proyecto Distritos Térmicos en Colombia Fase II
- Ministerio de Minas y Energía. (2016). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022*. Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética: https://www.hbcorp.co/wp-content/uploads/2017/09/PAI_PROURE_2017-2022-Final.pdf
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Distritos Térmicos*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/11/Gui%C3%ACa-metodolo%C3%ACgica-VF_2020.pdf
- ONUD. (2023). *Caracterización de fuentes de emisiones directas e indirectas de GEI de los sistemas de aire acondicionado y sistemas térmicos en el sector industrial y terciario, en diez ciudades colombianas*. Obtenido de https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2023/12/Informe-inventario-de-emisiones-GEI_2.pdf
- SMARTGRIDSINFO. (s.f.). *Cómo Ecuador modernizó su red de distribución de energía con una plataforma Ecostruxure ADMS*. Recuperado el 15 de noviembre de 2023, de <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/comunicacion-como-ecuador-modernizo-red-distribucion-energia-plataforma-ecostruxure-adms>
- SUIN. (2021). *Ley 2169 de 2021*. Obtenido de Sistema Único de Información Normativa: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747>